

AUSGABE 22  
AUGUST 2023

RUPERTO CAROLA  
FORSCHUNGSMAGAZIN



UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG  
ZUKUNFT  
SEIT 1386



SCHWACH

STARK

# LIEBE LESERINNEN UND LESER DER RUPERTO CAROLA,

insbesondere auch in der Wissenschaft gilt, dass „stark“ und „schwach“ keine absolut gültigen, sondern relative Begriffe sind: Was in einem Kontext oder System als Stärke gilt, kann in anderen Zusammenhängen zur Schwäche werden und umgekehrt. Wissenschaft zeigt uns aber auch, dass für viele Prozesse des Lebens wie auch der Koexistenz ein Zusammenspiel von starken und schwachen Elementen notwendig ist, um zur richtigen Balance, zu Erfolgen oder auch zur erwünschten Resilienz zu finden. Und immer wieder sehen wir, dass viele für sich genommen schwache Strukturen gebündelt große Stärke entfalten können.

Mit diesen Fragen und Prozessen beschäftigt sich die aktuelle Ausgabe unseres Forschungsmagazins RUPERTO CAROLA zum Schwerpunktthema SCHWACH & STARK. In den Beiträgen aus vielen Disziplinen unserer Universität geht es unter anderem um schwache und starke Staaten und Demokratien, aber auch um ebensolche Herzen, es geht um molekulare Balanceakte, die künstliches Leben schaffen, um robuste biologische Systeme, es geht um Geschlechterstereotype und deren Auswirkungen sowie um die Frage, wie wir Schulen schaffen können, aus denen alle Kinder und Jugendlichen gestärkt hervorgehen.

Diese 22. Ausgabe der RUPERTO CAROLA ist die letzte, die ich Ihnen als Rektor der Universität Heidelberg vorstelle. Ab Oktober wird meine Kollegin Prof. Dr. Frauke Melchior an der Spitze unserer Universität stehen und damit auch unser Forschungsmagazin herausgeben. Ich möchte dem Wissenschaftlichen Beirat, der Redaktion, aber auch allen Kolleginnen und Kollegen, die mit den Berichten aus ihrer Forschung dieses vielfach ausgezeichnete Flaggschiff unserer Wissenschaftskommunikation ermöglichen, danken. Ich bin sicher, die RUPERTO CAROLA wird Ihnen weiterhin eindrucksvoll zeigen, wie stark die Forschung an der Universität Heidelberg Zukunft mitgestaltet!



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



KAPITEL

EXPERTEN IM GESPRÄCH  
**DAS NÖTIGE GLEICHGEWICHT  
DIE ÜBERLEGENHEIT DES IMPERFEKTEN**  
IM GESPRÄCH MIT CHRISTINE SELHUBER-UNKEL & THOMAS PFEIFFER

**6**

RECHTSWISSENSCHAFT  
**LOHNENDES WAGNIS  
DER STARKE UND DER SCHWACHE STAAT**  
HANNO KUBE

**16**

WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN  
**SCHRECKGESPENST INFLATION  
DIE PROGNOSEN DER EUROPÄISCHEN ZENTRALBANK**  
CHRISTIAN CONRAD & ZENO ENDERS

**24**

ENTWICKLUNGSÖKONOMIE  
**KREDITE FÜR DIE SCHWACHEN?  
ARMUTSBEKÄMPFUNG DURCH MIKROFINANZIERUNG**  
STEFAN KLONNER

**32**

KAPITEL

SYNTHETISCHE BIOLOGIE  
**MOLEKULARER BALANCEAKT  
SYNTHETISCHE BIOLOGIE SCHAFFT KÜNSTLICHES LEBEN**  
KERSTIN GÖPFRICH

**42**

ZELL- UND ENTWICKLUNGSBIOLOGIE  
**EINKALKULIERTE SCHWÄCHE  
ROBUSTE SYSTEME DES LEBENS**  
ALEXIS MAIZEL

**50**

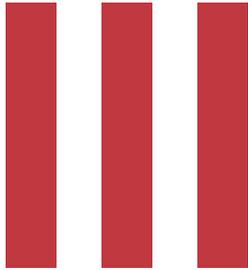
MOLEKULARE BIOMECHANIK  
**SOLLBRUCHSTELLEN  
PROTEINE AUF DER STRECKBANK**  
FRAUKE GRÄTER

**58**

EXPERIMENTELLE KARDIOLOGIE  
**SCHWACHE HERZEN – STARKE HERZEN  
DER KRANKHEIT AUF DEN GRUND GEHEN**  
JOHANNES BACKS

**66**

KAPITEL



SINOLOGIE  
MADE IN CHINA  
WELTMACHT ZWISCHEN ANSPRUCH UND WIRKLICHKEIT  
ANJA D. SENZ

**76**

BILDUNGSWISSENSCHAFT  
GEGEN DEN MATTHÄUS-EFFEKT  
PERSPEKTIVWECHSEL FÜR CHANCENGERECHTIGKEIT  
ANNE SLIWKA

**84**

GENDERFORSCHUNG  
WEIBLICH MÄNNLICH  
STEREOTYPE ZUSCHREIBUNGEN ÜBERWINDEN  
MONIKA SIEVERDING

**94**

POLITIKWISSENSCHAFT  
AM WENIGSTEN SCHLECHT?  
LEISTUNG, QUALITÄT UND RESILIENZ DEMOKRATISCHER SYSTEME  
AUREL CROISSANT

**102**

IMPRESSUM

**111**

KAPITEL



SPORTWISSENSCHAFT  
ZWISCHEN PRÄVENTION UND REHABILITATION  
MUSKELTRAINING FÜR KOPF UND HERZ  
PHILIPP WANNER & SIMON STEIB

**114**

THEORETICAL PHYSICS  
MICROSCOPIC LAWS OF NATURE  
PREDICTING THE PROPERTIES OF COMPLEX SYSTEMS  
MAURITS W. HAVERKORT

**122**

ORGANISCHE CHEMIE  
KÄFIGE FÜR TREIBHAUSGASE BAUEN  
NEUE MATERIALIEN MIT SCHWACHEN WECHSELWIRKUNGEN  
MICHAEL MASTALERZ

**130**

COMPUTER ENGINEERING  
SOFTER, SMARTER, STRONGER  
FROM EXOSKELETONS TO EXOSUITS  
LORENZO MASIA

**138**



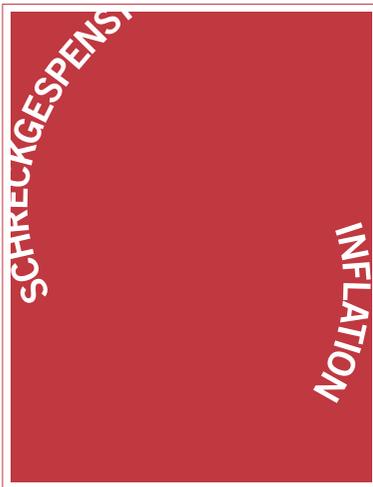
EXPERTEN IM GESPRÄCH  
**DAS NÖTIGE GLEICHGEWICHT  
DIE ÜBERLEGENHEIT DES IMPERFECTEN**  
IM GESPRÄCH MIT CHRISTINE SELHUBER-UNKEL & THOMAS PFEIFFER

**6**



RECHTSWISSENSCHAFT  
**LOHNENDES WAGNIS  
DER STARKE UND DER SCHWACHE STAAT**  
HANNO KUBE

**16**



WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN  
**SCHRECKGESPENST INFLATION  
DIE PROGNOSEN DER EUROPÄISCHEN ZENTRALBANK**  
CHRISTIAN CONRAD & ZENO ENDERS

**24**



ENTWICKLUNGSÖKONOMIE  
**KREDITE FÜR DIE SCHWACHEN?  
ARMUTSBEKÄMPFUNG DURCH MIKROFINANZIERUNG**  
STEFAN KLONNER

**32**

# KAPITEL



**DAS  
NÖTIGE**

**GLEICHGEWICHT**

DAS NÖTIGE GLEICHGEWICHT

# DIE ÜBERLEGENHEIT DES IMPERFEKTEN

IM GESPRÄCH MIT CHRISTINE SELHUBER-UNKEL & THOMAS PFEIFFER

**Die Physikerin Christine Selhuber-Unkel und der Rechtswissenschaftler Thomas Pfeiffer sprechen über das nötige Gleichgewicht von starken und schwachen Elementen, über lebensinspirierte Systeme und über die Stärken und Schwächen des deutschen Wissenschaftssystems.**

# W

Was verbinden Sie beide mit dem Begriffspaar „stark & schwach“?

**Prof. Selhuber-Unkel:** Als Physikerin assoziiere ich damit als Erstes Kraft – wenn jemand oder etwas starke Kraft ausüben kann, ist das ein starker Mensch oder ein starkes System. Es sind aber relative Begriffe, weil sie mit Erfahrung zusammenhängen – ein Kind findet anderes stark als ein Erwachsener. Das ist auch bei vielen Systemen so. Gerade in meinem Arbeitsgebiet, der Materialwissenschaft, sind stark und schwach sehr relative Begriffe: Denn ein starkes Material kann eines sein, das sich sehr stark dehnen lässt, oder auch eines, das sehr viel Kompression aushält – in manchen Systemen aber würde man ein Material, das sich weit dehnen lässt, ohne zu brechen oder zu reißen, als schwaches Material bezeichnen. In meinem Labor ist es ein starkes Material. Für uns sind stark und schwach also „weiche“ Begriffe, die ganz unterschiedlich interpretiert werden können.

# „In Deutschland organisieren wir das Rechtsleben nach dem Prinzip, dass vieles möglichst klar geregelt sein und Willkür möglichst zurückgedrängt werden soll.“



Thomas Pfeiffer

**Prof. Pfeiffer:** Mit dem Schlagwort „Kraft“ kann auch ich beginnen – denn ganz grundsätzlich würde ohne Rechtsstaat das gelten, was man gemeinhin als „Recht des Stärkeren“ bezeichnet. Das ist aber kein Recht, sondern nur Machtentfaltung des Stärkeren, die nicht durch das Recht kontrolliert wird. In meinen Arbeitsgebieten spielt die Frage, ob es stärkere und schwächere Teilnehmer des Rechtsverkehrs und auch Schutzbedürfnisse besonderer Art gibt, eine große Rolle. Im Zivilrecht kann man in dieser Hinsicht an ganz unterschiedliche Gruppen wie Arbeitnehmer, Verbraucher oder Wohnraummieter denken – salopp formuliert: die „Schwachmatiker“ des Vertragsrechts. Eine interessante Frage der jüngeren Zeit geht dahin, ob man innerhalb dieser Gruppen noch weiter unterscheiden muss zwischen „gewöhnlichen“ und „verletzlichen“ Verbrauchern, also Sprachunkundigen, Behinderten, Älteren und Gebrechlichen, völlig Unerfahrenen.

**Prof. Selhuber-Unkel:** Wir Materialwissenschaftler brauchen beim Bau von Materialien oder Systemen sowohl stärkere als auch schwächere Komponenten. Es gibt Systeme, bei denen man eine Sollbruchstelle benötigt, um einen Prozess auszulösen – zum Beispiel wird ein Sensor aktiviert, weil etwas bricht. Auf der anderen Seite würden beispielsweise viele Maschinen nicht funktionieren, wenn wir nur superstabile Elemente hätten und keine beweglichen, weichen zur Kraftübertragung. Viele technische, aber auch biologische Prozesse benötigen also ein Wechselspiel zwischen starken und schwachen Elementen. Ein wichtiger Teil der Dynamik im Körper basiert darauf, dass es schwache Bindungen zwischen Proteinen gibt, denn wenn alle Bindungen sehr stark wären und nicht wieder loslassen würden, dann könnten wir uns nicht bewegen oder wachsen.

**Prof. Pfeiffer:** Das ist in Staat und Gesellschaft zum Teil auch so. Ich will es anhand einer Überzeichnung erklären: Einem bekannten Aphorismus nach ist ein totalitärer Staat dadurch gekennzeichnet, dass alles, was nicht verboten ist, vorgeschrieben wird. Der freiheitliche Staat und die freiheitliche Gesellschaft leben davon, dass es Bereiche gibt, die gerade nicht geregelt sind, so dass jeder tatsächlich und auch rechtlich tun und lassen kann, was er möchte. Darin, dass dort keine starken Vorgaben gemacht werden, liegt dann paradoxerweise eine Stärke. Damit ein System funktioniert, brauchen wir in bestimmten Bereichen starke, harte Regeln – beispielsweise ist Mord verboten und muss bestraft werden, wenn er nachweisbar ist –, aber zugleich brauchen wir Bereiche, die keine Regeln haben oder nur einen Rahmen, innerhalb dessen sich alle frei bewegen können.

Ihre Professur beschäftigt sich auch mit Rechtsvergleichung – wann ist ein Rechtssystem stark oder schwach und wie stellt es sich in Deutschland dar?

**Prof. Pfeiffer:** Dafür gibt es verschiedene Kriterien, vor allem die Frage, ob das Recht stark in dem Sinne ist, dass es auch wirklich gilt. Ein einfaches Beispiel dafür wäre die Frage, ob im Straßenverkehr rote und grüne Ampeln nur als Vorschlag angesehen werden, an den man sich nicht halten muss, wie das in manchen Ländern Praxis ist – dann ist das Recht auf der Durchsetzungsseite schwach. In Deutschland organisieren wir das Rechtsleben nach dem Prinzip, dass vieles möglichst klar geregelt sein und Willkür möglichst zurückgedrängt werden soll. Unsere Regeln sind nicht perfekt, aber ziemlich vorhersehbar. Die angloamerikanische Rechtsordnung denkt anders – dort sagt man: Die beste Garantie dafür, dass alles vernünftig und angemessen gehandhabt wird, liegt nicht in möglichst vielen oder möglichst detaillierten Regeln, sondern darin, dass man an entscheidende Positionen Leute wählt, die einen guten Blick dafür haben, was vernünftig und angemessen ist. Das ist von der Detailtiefe her vielleicht ein schwächerer Ansatz, der aber andererseits alles durchdringt. Der große Nachteil ist die deutlich geringere Vorhersehbarkeit.

**Prof. Selhuber-Unkel:** „Durchsetzungsstärke“ ist in den Ingenieurwissenschaften auch sehr wichtig, allerdings ist sie kein definierter Parameter. Wir legen manche Parameter in Relation zueinander fest und vergleichen zum Beispiel die Härte von Materialien gerne mit der eines Diamanten, der das härteste Material darstellt; für die „Durchsetzungsstärke“ würde zum Beispiel als einer von mehreren Parametern getestet, welches Material ein anderes Material bearbeiten kann. Unsere Forschung beschäftigt sich viel mit dem Einfluss mechanischer und struktureller Eigenschaften auf lebende Systeme, diese Systeme müssen wir mechanisch charakterisieren, und wir müssen messen und verstehen, welche Kräfte sie aushalten.



Christine Selhuber-Unkel

**„Wir Materialwissenschaftler brauchen beim Bau von Materialien oder Systemen sowohl stärkere als auch schwächere Komponenten.“**

# „In der Materialwissenschaft sind stark und schwach sehr relative Begriffe.“

Christine Selhuber-Unkel

Ein Beitrag dieser Ausgabe stellt die These auf, dass Suboptimalität die Robustheit biologischer Systeme begünstigen könnte, dass also nicht Perfektion stark macht, sondern die Annäherung daran. Halten Sie das auch für Ihre Bereiche für plausibel?

**Prof. Pfeiffer:** Es gibt praktisch keine perfekten Gesetze. Das liegt daran, dass hinter jeder Maßnahme eine Fülle unterschiedlicher Interessen steht, die zum Ausgleich gebracht werden müssen. Deswegen beruhen viele Gesetze auf einer großen Zahl von Kompromissen, so dass sie imperfekt sind. Aber das ist notwendig, damit sie überhaupt funktionieren. Recht entwickelt sich auf zwei unterschiedliche Weisen – vereinfacht gesagt „top-down“ und „bottom-up“ – und beide stehen immer in Konkurrenz und wirken aufeinander ein. Man kann das sehr schön beim Europarecht sehen: Da gibt es einmal die europäischen Institutionen, die eine Angelegenheit europaweit harmonisieren oder gar gänzlich vereinheitlichen wollen – ein Top-down-Prozess. Dann können sich aber auch aus dem grenzüberschreitenden Handels-, Wirtschafts- und Personenverkehr Dinge von selbst angleichen und bestimmte Praktiken entstehen – ein Bottom-up-Prozess. Es gibt nie nur das eine oder das andere – und immer, wenn man zu viel von einem hat, entsteht ein Problem.

**Prof. Selhuber-Unkel:** Das ist ein spannender Faktor, denn auch in der Materialwissenschaft erfüllen rein homogene Materialien meistens nicht ihre Funktion. Auch in der Biologie gibt es Elemente, die sich sehr stark dehnen lassen, und solche, die Druck aushalten, was sehr diverse Systeme mit heterogenen Elementen liefert. Lassen Sie mich das am Beispiel Stahlbeton verdeutlichen: Der Beton an sich ist sehr kompressionsstabil, aber den Stahl braucht man für die Zugstabilität. Kein Wolkenkratzer würde ohne diese Balance stabil stehen können. Heterogenität führt also sicher auch in unserem Bereich in einem gewissen Maß zu Robustheit.

In Ihrer Arbeit sprechen Sie von „lebensinspirierten“ Systemen. Hat das auch etwas mit stark und schwach zu tun?

**Prof. Selhuber-Unkel:** Das hat insofern etwas damit zu tun, als lebensinspirierte Systeme im Vergleich zu bioinspirierten Systemen eine Dynamik miteinbeziehen. Ein bioinspiriertes System kann ein „Geckofuß“ sein, der durch seine Mikrostruktur überall haftet, oder eine „Haifischhaut“, mit der man schnell schwimmen kann – dabei geht es um einen reinen Strukturaspekt, den man technisch nachbilden kann, ohne für seine Funktion Energie zu benötigen. Bei lebensinspirierten Systemen geht es dagegen um Nichtgleichgewichtssysteme, das heißt, man muss Energie aufwenden, damit sie funktionieren. In meiner Forschung können das zum Beispiel lebende Zellen sein, die ein System antreiben. Muskelzellen sind ein sehr gutes Beispiel: Sie kontrahieren und können ihre Kräfte auf die Umgebung übertragen, wenn man ihnen die entsprechenden Nährstoffe gibt. Dadurch kann man versuchen, Materialstrukturen zu bewegen – das ist lebensinspiriert.

Auch in unserem Körper ist nichts statisch: Wenn Immunzellen sich aus den Blutgefäßen ins Gewebe bewegen, um an ihrem Ziel eine Entzündung zu bekämpfen, ist das ein energieverbrauchender Prozess. Lebensinspirierte Systeme verbrauchen ebenso Energie, und wir brauchen starke und schwache Elemente, damit wir ein dynamisches System erhalten. Wenn wir beispielsweise eine künstliche Immunzelle bauen würden, dann benötigt diese, um an den Ort einer Entzündung zu kommen, eine gewisse Stärke, um äußeren Kräften zu widerstehen, aber auch eine gewisse Schwäche, damit sie sich durch Engstellen des Gewebes zwängen kann. Also müssen wir eine Balance zwischen beiden Aspekten finden. Eine mechanische Schwäche ist dann eine Stärke für das Gesamtsystem.



**PROF. DR. CHRISTINE SELHUBER-UNKEL** ist seit 2020 Professorin für Molecular Systems Engineering am Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials (IMSEAM) der Fakultät für Ingenieurwissenschaften. Dort forscht sie an der interdisziplinären Schnittstelle von Chemie, Physik, Materialwissenschaft und Biologie. Nach einem Physikstudium in Heidelberg und Uppsala (Schweden) wurde sie 2006 in Heidelberg in Physik promoviert und arbeitete anschließend als Postdoktorandin am Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen (Dänemark). 2010 wurde Christine Selhuber-Unkel Juniorprofessorin am Institut für Materialwissenschaft der Universität Kiel und leitete eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe; 2011 wurde sie zur Professorin für „Biokompatible Nanomaterialien“ ernannt. 2013 wurde sie mit einem Starting Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) ausgezeichnet, aktuell wird ihre Forschung zu neuartigen strukturierten Materialien, deren Funktionen durch Systeme von molekularen Bausteinen kontrolliert werden, mit einem ERC Consolidator Grant in Höhe von rund 2,4 Millionen Euro gefördert.

Kontakt: selhuber@uni-heidelberg.de

# DEAR READERS OF RUPERTO CAROLA,

Particularly in academic circles, “strong” and “weak” are regarded as relative, not absolute terms. What appears to be strength in one context or system can become weakness in others, and vice versa. In addition, however, research shows us that for many life processes, and also for coexistence, an interplay of strong and weak elements is necessary to achieve the right balance, successes or the desired resilience. And again and again we see that many individually weak structures can, when combined, develop great strength.

The current edition of our research magazine RUPERTO CAROLA takes up these questions and processes with its focal theme WEAK & STRONG. The contributions from many disciplines of our university are about weak and strong states and democracies, but also apply the comparison to hearts; they deal with molecular balancing acts that create artificial life and with robust biological systems; other topics are gender stereotyping and its impacts, as well as the question of how we can create schools which, by the time they leave, have empowered all the children and young people.

This 22nd edition of RUPERTO CAROLA is the last one that I will introduce as Rector of Heidelberg University. As of October, my colleague Prof. Dr Frauke Melchior will preside over our university and likewise publish our research magazine. My thanks go to the academic advisory board, the editorial team, and also all colleagues who have contributed reports from their research to this multiple award-winning flagship of our science communication. I am certain that RUPERTO CAROLA will continue to bear impressive witness to the way research at Heidelberg University helps to shape the future.

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



**PROF. DR. DR. H.C. THOMAS PFEIFFER** ist Direktor des Instituts für Ausländisches und Internationales Privat- und Wirtschaftsrecht der Universität Heidelberg. Er studierte Rechts- und Politikwissenschaften in Frankfurt am Main, wo er auch promoviert und habilitiert wurde. 1994 wurde er auf eine Professur an die Universität Bielefeld berufen, von 1996 bis 2002 war er im weiteren Hauptamt Richter am Oberlandesgericht Hamm. Seit März 2002 ist Thomas Pfeiffer Inhaber des Lehrstuhls für Bürgerliches Recht, Internationales Privatrecht, Rechtsvergleichung und Internationales Verfahrensrecht in Heidelberg. Er hatte bereits zahlreiche Gastprofessuren an internationalen Forschungseinrichtungen inne, darunter die Georgetown University in Washington D.C. (USA) und die Universität Leuven (Belgien).

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

### Was ist das Stärkste Ihrer molekularen Systeme?

**Prof. Selhuber-Unkel:** Ich halte photoschaltbare Moleküle, für die es 2016 einen Nobelpreis gab, für ein sehr beeindruckendes und damit starkes System! Viele dieser Moleküle sind im Normalzustand ausgestreckt und haben ein Gelenk, um das sie sich bewegen, wenn man Licht einstrahlt. Solche Moleküle lassen wir in unseren Projekten Proteine in der Zellmembran greifen und ziehen dann an diesen. In unserem Fall sind diese photoschaltbaren Moleküle Azobenzole. Diese sind nicht nur in unserem biophysikalischen Projekt starke Moleküle; gerade in der Materialwissenschaft sind solche schaltbaren Moleküle wichtig, um robotische Systeme zur Funktion zu bringen, beispielsweise, um auf der Mikroebene Bewegungen ausführen zu können.

**Prof. Pfeiffer:** Sind diese Systeme stark, weil sie den Automatismus haben, dass sie sich bei UV-Licht bewegen, oder sind sie stark, weil sie durch diesen Automatismus eine starke Kraft entfalten oder weil sozusagen die aggregierte Kraft der vielen Moleküle zu einer großen Stärke führt?

**Prof. Selhuber-Unkel:** Das ist ein guter und passender Punkt! Das einzelne Molekül ist sehr schwach und die Bewegung erfolgt wirklich nur im Nanometermaßstab; aber es gibt Daten, die zeigen, dass sie insgesamt relativ stark sind – die Stärke kommt tatsächlich durch das System. Durch die Gesamtheit kann man die Bewegung auf einer größeren Skala umsetzen. Das heißt, man kann auch aus vielen schwachen Molekülen ein starkes System bauen.

**Prof. Pfeiffer:** Das ist wie bei der Marktwirtschaft! Unser Wirtschaftssystem ist deshalb stark, weil die aggregierte individuelle Entscheidung der zentralen Planung weit überlegen ist, denn sie ermöglicht mehr Informationsverarbeitung und ist in der Gesamtsicht klüger. Darin liegt die Kunst – einen Rahmen zu schaffen, innerhalb dessen aggregierte individuelle Entscheidungen möglich und wirksam sind.

### Ist das Wissenschaftssystem in Deutschland ein starkes System?

**Prof. Pfeiffer:** Es hat Stärken und Schwächen. Seine Stärke ist die hohe Qualität in der Breite, denn wir haben eine vergleichsweise große Zahl an Universitäten und Wissenschaftseinrichtungen auf international hohem Niveau. Auf der anderen Seite haben wir strukturelle Probleme, die im internationalen Vergleich Nachteile und Schwächen sind. So haben wir keine Universitäten mit einem Milliardenvermögen eigener Mittel wie die führenden US-Universitäten. Manchmal würde ich mir auch mehr Differenzierung wünschen, die das Tor zu mancher Stärke noch mehr öffnen würde. Die Hoffnung, dass die Exzellenzinitiative das herbeiführt, hat sich nur zum Teil erfüllt. Ein weiteres Merkmal unseres Systems ist, dass wir den Bildungszugang nicht über Studiengebühren mit

wirtschaftlichen Extrembelastungen für den Nachwuchs verknüpfen – das kann man als Stärke oder als Schwäche sehen. Eine Stärke und Schwäche zugleich ist unsere Selbstverwaltung: Deren große Stärke besteht darin, dass wir anders als Länder wie die USA oder Großbritannien nicht stark unter der Kuratel der zentralen Universitätsorgane stehen, sondern freier sind. Auf der anderen Seite zieht die Selbstverwaltung aber natürlich Arbeitskraft aus der Wissenschaft.

**Prof. Selhuber-Unkel:** Das Thema hat viele Facetten, aber insgesamt denke ich, dass wir gut mit unserem System fahren. Wir profitieren davon, dass relativ viel Geld im System steckt und die Wissenschaft vergleichsweise gut gefördert wird. Im Ausland habe ich Wissenschaftssysteme kennengelernt, in denen sich Professoren die Hälfte ihres Gehalts aus Drittmitteln finanzieren müssen. Es gibt bei uns weniger Stellen als etwa in den USA, aber wir profitieren dafür von anderen Aspekten. Und ich sehe es als einen Schatz an, dass wir eine Differenzierung haben, die auf einem gewissen Grundniveau aufbaut. Ich bin schon mehrfach von amerikanischen Kollegen nach den Qualitätsunterschieden von Masterabsolventen verschiedener Universitäten gefragt worden – die gibt es zwar, aber sicher nicht so ausgeprägt wie in anderen Ländern.

### Sehen Sie auch wesensmäßige Stärken und Schwächen der Universität Heidelberg?

**Prof. Pfeiffer:** Die Universität Heidelberg hat ganz viele Stärken – man weiß gar nicht, wo man anfangen soll. Historisch hat sich ein gewisser Genius Loci sehr tief in der DNA der Universität und ihrer Angehörigen verankert. Im Vergleich mit anderen deutschen Universitäten finde ich, dass das Streben nach Qualität in den Köpfen der Wissenschaftler wie auch der Studenten eine große Rolle spielt. Und für einen Juristen ist Heidelberg ein Traumziel.

**Prof. Selhuber-Unkel:** Ich bin absolut begeistert von der Dynamik im Neuenheimer Feld: Dort gibt es viel Potenzial für Weiterentwicklung; die Leute greifen neue Ideen auf und man kann wirklich zusammenarbeiten. Denn man braucht nicht nur genug Köpfe, um an einer Sache zu forschen, man braucht auch eine gewisse Breite, um die verschiedenen Bereiche abzudecken – das gilt gerade im sehr interdisziplinären neuen Feld der Ingenieurwissenschaften. Mit dem Molecular Systems Engineering hat Heidelberg ein entwicklungsfähiges Alleinstellungsmerkmal, denn es gibt national und international kaum vergleichbare Standorte.

**Prof. Pfeiffer:** Als unsere größte Schwäche sehe ich die Qualität unserer Bausubstanz. Im Zuge der 625-Jahr-Feier haben wir glücklicherweise wenigstens die Neue Universität auf ein deutlich besseres Niveau heben können, aber in manchen Institutsgebäuden in der Altstadt herrschen keine der heutigen Zeit genügenden Arbeitsbedingungen

A CRUCIAL BALANCE

# THE SUPERIORITY OF IMPERFECTION

INTERVIEW WITH CHRISTINE SELHUBER-UNKEL &amp; THOMAS PFEIFFER

Strong and weak are relative terms that can be interpreted in very different ways: in materials science, for instance, the same property can render a material weak or strong, depending on the circumstances. The crucial balance between strong and weak elements, a new class of “life-inspired” systems, and the strengths and weaknesses of the German science system in general, and of Heidelberg University in particular – these were some of the topics on the table for physicist Christine Selhuber-Unkel and jurist Thomas Pfeiffer.

Many technical processes, but also biological mechanisms and so-called life-inspired systems, that Christine Selhuber-Unkel is working with as a materials scientist, need just the right balance between strong and weak elements. She explains that an important part of the dynamics in the body relies on weak links between proteins: “Because if all links were very strong and virtually unbreakable, we wouldn’t be able to move or grow.” Likewise, life-inspired systems that consume energy also need strong and weak elements to maintain their internal dynamics. Christine Selhuber-Unkel stresses that it is generally possible to build a strong system from a large number of weak molecules.

A balance of strong and weak elements is also crucial at the level of the state, says Thomas Pfeiffer: liberal states and societies depend on there being certain areas that are not regulated and in which individuals can – legally and in actual fact – do whatever they want. “In this case, paradoxically, strength arises from the very fact that there are no stringent regulations.” The jurist believes that one of the many strengths of Heidelberg University lies in the fact that the new Faculty of Engineering Sciences is focusing on the potential applications of its disciplines: “I think this shift of attention to the translational aspect of science and research is a positive development, and the fact that we did this earlier than others is definitely a strength of Heidelberg University.” ●

**PROF. DR CHRISTINE SELHUBER-UNKEL** joined Heidelberg University in 2020 as Professor of Molecular Systems Engineering at the Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials (IMSEAM), which is part of the Faculty of Engineering Sciences. Her research at the institute straddles the disciplines of chemistry, physics, materials science and biology. She studied physics in Heidelberg and Uppsala (Sweden), earned her PhD in physics in Heidelberg in 2006, and then worked as a postdoc at the Niels Bohr Institute in Copenhagen (Denmark). In 2010 Christine Selhuber-Unkel became Junior Professor at the Institute of Materials Science of Kiel University and headed an Emmy Noether Junior Research Group; in 2011 she accepted a professorship for biocompatible nanomaterials. In 2013 the European Research Council awarded her an ERC Starting Grant; her current research on new types of structured materials whose functions are controlled by systems of molecular components is supported by an ERC Consolidator Grant to the tune of roughly 2.4 million euros.

Contact: selhuber@uni-heidelberg.de

**PROF. DR DR H.C. THOMAS PFEIFFER** is director of the Institute for Comparative Law, Conflicts of Law and International Business Law of Heidelberg University. He studied law and political sciences in Frankfurt/Main, where he also earned his doctorate and completed his habilitation. In 1994 he accepted a chair at Bielefeld University; between 1996 and 2002 he also served as judge at Hamm Higher Regional Court. Since March 2002, Thomas Pfeiffer has held the Chair of Civil Law, Private International Law, Comparative Law and International Dispute Resolution in Heidelberg. He has completed numerous stints as a visiting professor at international research institutions, among them Georgetown University in Washington, D.C. (USA) and KU Leuven (Belgium).

Contact: pfeiffer@ipr.uni-heidelberg.de

**“In the field of materials science, strong and weak are highly relative terms.”**

Christine Selhuber-Unkel

**“In my field of work, it's important to know whether there are stronger and weaker participants in the legal system.”**

Thomas Pfeiffer

mehr. Fußböden, Treppenhäuser, Wände, Dächer sind in einem Zustand, den wahrscheinlich kein Arbeitgeber außerhalb des Öffentlichen Dienstes seinen Mitarbeitern zumuten würde.

**Prof. Selhuber-Unkel:** In diesem Punkt kann ich mich nicht beschweren, denn wir haben gerade im Neuenheimer Feld unseren neuen Gebäudeteil übergeben bekommen. In dieser Frage muss sich natürlich etwas tun – aber mit meinem Standort im Neuenheimer Feld finde ich die Gebäude in der Altstadt dennoch toll und sehe es als echte Stärke Heidelbergs, dass es in der Altstadt nicht nur Touristen gibt, sondern auch viele Studierende.

**Prof. Pfeiffer:** Als eine Stärke der jüngeren Universitätsentwicklung sehe ich auch die Tatsache, dass wir bei der neuen ingenieurwissenschaftlichen Fakultät nicht in den harten Bereich der Ingenieurfächer hineingegangen sind, sondern stattdessen in die Anwendungsorientierung der Einzelfächer. Den Blick mehr auf eine translationale Wissenschaft zu lenken halte ich für eine gute Entwicklung, und es ist eine Stärke von Heidelberg, dass wir das früher als andere gemacht haben.

**Prof. Selhuber-Unkel:** Mich hat schon alleine die Fähigkeit zur Weiterentwicklung der Universität wirklich beeindruckt. Dass eine so alte, traditionelle Universität in der Lage ist, noch einmal eine neue Fakultät zu gründen, das ist schon sehr beeindruckend.

Sind auch die Studierenden eine Stärke unserer Universität?

**Prof. Pfeiffer:** Man sagt, dass die Spitzenposition der US-Universitäten im inneramerikanischen Vergleich weniger auf der Qualität der Professoren als auf der des Studierendenkörpers beruht – und das ist nach meiner Beobachtung auch in Heidelberg so. Ich glaube, es macht einen Unterschied, dass wir keine Heimat-

universität sind, sondern dass viele unserer Studenten bewusst hierherkommen. Damit ist der Universitätsstandort etwas Eigenes der Studenten und weniger Selbstverständlichkeit, weswegen man sich mehr engagiert und sich besser mit der Universität identifizieren kann. Außerdem haben wir intellektuelle Ansprüche bei der Zulassung, die uns im Vergleich mit einem sehr guten Nachwuchs versorgen.

**Prof. Selhuber-Unkel:** Auch ich sehe es als wichtigen Punkt, dass viele unserer Studierenden aus ganz Deutschland und aus dem Ausland kommen, was enorm zusammenschweißt. Ich habe selbst in Heidelberg studiert und war immer begeistert davon. Wir haben einmal unseren Professor gefragt, ob wir im Institut am Philosophenweg grillen können, und er war erstaunt, dass wir nicht auf der Neckarwiese grillen, aber wir haben uns einfach so sehr mit der Universität identifiziert! Und das ist nicht nur bei den Studierenden so, diese Identifikation mit der Universität sehe ich hier auch ganz stark bei meinen Kolleginnen und Kollegen. ●

Das Interview führten Marietta Fuhrmann-Koch & Mirjam Mohr

„Die Stärke des deutschen Wissenschaftssystems ist seine hohe Qualität in der Breite.“

Thomas Pfeiffer

**LOHNENDES**

**WAGNIS**

LOHNENDES WAGNIS

# DER STARKE UND DER SCHWACHE STAAT

HANNO KUBE

Besonders in Krisenzeiten wie der Corona-Pandemie oder in Wirtschaftskrisen flammt die Diskussion über die Rolle des Staates und dessen Leistungsfähigkeit auf. Was macht einen starken Staat im Unterschied zum schwachen Staat aus? Ist ein Staat, der alle Aufgaben zentralisiert erledigt, besonders stark oder stärkt ihn gerade eine dezentrale Organisation? Welche wesentlichen Eigenschaften kennzeichnen einen starken Rechtsstaat? Und wie kann ein demokratischer Staat seinen Bürgern politische Freiheit und Selbstbestimmung ermöglichen, ohne dass umstürzlerische Strömungen dies ausnutzen können? Im Kern geht es immer um das richtige Verhältnis zwischen Freiheit und Regulierung. Wie das auf verschiedenen Ebenen auszutarieren ist, damit beschäftigen sich (nicht nur) Rechtswissenschaftler an der Universität Heidelberg.

# S

Stärke und Schwäche haben vielerlei Gestalt. Als stark begreifen wir die körperliche Kraft, als schwach ihr Fehlen. Charakterstärke unterscheiden wir von Charakterchwäche, Wertungsstärke von Wertungsschwäche. Gesundheitlich kann man stark oder schwach aufgestellt sein. Eine Struktur ist stark, wenn sie widerstandsfähig, wenn sie resilient ist. Droht sie zu brechen, ist sie schwach. Auch der Staat wird verbreitet als stark oder schwach beschrieben. Beim starken Staat denkt man schnell an Bilder gut ausgestatteter Polizeiaufgebote, die für öffentliche Sicherheit und Ordnung sorgen. Beim schwachen Staat kommen Gegenden in den Sinn, die von Kriminalität und Verwahrlosung geprägt sind. Doch sollte das Begriffspaar der Stärke und Schwäche in Bezug auf den Staat sehr viel umfassender, sehr viel anspruchsvoller gedacht werden, um den Dimen-

**„Schwach ist ein Staat auch dann, wenn er ohne jede Rücksicht auf das Maß der Verhältnismäßigkeit reguliert, vollzieht und vollstreckt.“**

sionen und auch Ambivalenzen der Bezeichnungen „starker Staat“ und „schwacher Staat“ Rechnung zu tragen.

## Garant für Sicherheit und Freiheit

Historisch geht der moderne Staat auf die Erfahrung der verheerenden Konfessionskriege des 16. und 17. Jahrhunderts zurück. Diese Erfahrung führte zu der Einsicht, dass eine säkularisierte, also verweltlichte, über ein Territorium und all seine Bewohner herrschende, einheitliche, mithin monopolisierte Staatsgewalt die beste Garantie für Frieden und Sicherheit ist. Der Gründungsphilosoph des modernen Staates, Thomas Hobbes, veranschaulichte diese Staatsgewalt im Bild des Leviathan (1651), dem sich die Bürger in einem Akt rationaler Selbstbeschränkung unterwerfen, um ihre angeborene, aber – in Anbetracht der Wolfsnatur des Menschen – stets prekäre Freiheit gegen den „status civilis“ einzutauschen. Besonders eindringlich verkörpert der Leviathan somit den starken Staat, der Sicherheit gibt, indem er vor der Willkür der Mitmenschen schützt. Keinen Schutz sieht die Hobbes'sche Konzeption aber vor der Staatsgewalt selbst vor. Erst der liberale Philosoph und Vordenker der Aufklärung John Locke ging in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts einen gedanklichen Schritt weiter und vollendete das Modell des modernen Staates als Modell, in dem auch die Staatsgewalt selbst rechtlich gebunden ist, um zu verhindern, dass der Staat im Zuge der Sicherheitsgewähr das eigentliche Schutzgut, die Freiheit des Menschen, erstickt. Die bei Hobbes holzschnittartige Gegenüberstellung von ungesicherter Freiheit einerseits und unfreier Sicherheit andererseits war damit überwunden zugunsten einer staatlich gesicherten, aber auch gegen den Staat selbst geschützten verrechtlichten Freiheit. Die Stärke des Staates erweist sich bei Locke also nicht nur darin, den Bürgerfrieden erzwingen zu können, sondern gerade auch darin, dass sich der Staat selbst auf die Freiheit und das Gemeinwohl verpflichtet.

Die rechtliche Selbstbindung der Staatsgewalt ist die Kernidee der Verfassungsstaatlichkeit, die den Absolutismus überwand und gegen Ende des 18. Jahrhunderts geschichtliche Wirklichkeit wurde. Die rechtliche Verbürgung der Freiheit war dabei von vornherein eine doppelte: Nicht nur die private, sondern auch die – von Jean-Jacques Rousseau und anderen vorgedachte – politische Freiheit, die demokratische Selbstbestimmung der Nation, war Gewährleistungsinhalt der revolutionären Verfassungsurkunden in Frankreich und in den USA. In Deutschland brauchte es dagegen noch das lange 19. Jahrhundert, die Zeit des Konstitutionalismus, bis sich nicht nur die Rechtsstaatsidee, sondern – mit der Weimarer Reichsverfassung, zunächst noch fragil – auch die parlamentarische Demokratie vollends Bahn gebrochen hatte. Im Lichte dieser historischen Entwicklung gilt, dass der verfassungsrechtlich konstituierte und gebundene Staat dann und nur dann ein starker Staat ist, wenn er die pri-

vate und die politische Freiheit der Menschen sichert und wenn sich diese Sicherung sowohl gegen Übergriffe aus der Gesellschaft als auch gegen staatlichen Autoritatismus richtet. Staatliche Stärke ist in diesem Sinne wertebasiert.

#### **Stärke und Schwäche im Rechtsstaat**

Dies lässt sich für den Staat als Rechtsstaat, als demokratischen Staat und schließlich auch für den Staat in der Organisation seiner Aufgabenerfüllung weiter entfalten. Wesentliche Eigenschaft eines starken Rechtsstaates ist es, das freiheitliche Miteinander in rechtsverbindlichen Regeln zu gestalten und für die Durchsetzung dieser Regeln zu sorgen. Das Recht ist Kondensat staatlich geschützten Vertrauens. Es entlastet vom Erfordernis steter Aushandlungsprozesse über Freiheitsräume und ihre Grenzen. Hat man eine Rechtsposition, kann man sich auf sie verlassen. Doch nur dann, wenn das Recht staatlich tatsächlich durchgesetzt und von den Gerichten geschützt wird, ist ein Leben in gesicherter Freiheit möglich. Dies erfordert eine konsequente Rechtsanwendung und verbietet es, rechtsfreie Räume entstehen zu lassen, die weit über diese Räume hinaus verunsichern können.

Zugleich dürfen die rechtlichen Regeln nach dem Maßstab der Grundrechte aber nur so weit reichen, wie es notwendig ist, um – mit Immanuel Kant – die Freiheit des einen mit der Freiheit des anderen in Einklang zu bringen. Jenseits des Rechts öffnet sich der Raum der nicht regulierten Freiheit, der Raum des durch Sitten und Gebräuche angeleiteten gesellschaftlichen, auch zivilgesellschaftlichen Miteinanders. Ein starker Rechtsstaat findet die richtige Mitte zwischen der gesetzlichen, mit den Mitteln des staatlichen Gewaltmonopols durchgesetzten Freiheitsausgestaltung und -beschränkung einerseits und dem Raum der nicht verrechtlichten Freiheit andererseits. Diese Mitte muss im Angesicht immer neuer Aufgaben und Herausforderungen, denen sich das Gemeinwesen ausgesetzt sieht, stets neu gefunden werden.

Gerade in jüngerer und jüngster Vergangenheit kam es insoweit zu Irritationen. Wie sensibel die Bevölkerung für die Verhältnismäßigkeit staatlicher Regulierung ist, hat die Corona-Pandemie deutlich gezeigt. Schnell steht hier das Vertrauen der Menschen auf dem Spiel, das für die Akzeptanz des Rechts und für das Gelingen des Rechtsstaates unerlässlich ist. Ein den Rechtsstaat auf ganz neuartige Weise herausforderndes Zukunftsthema, das sich erst in Ansätzen abzeichnet, ist die Automatisierung des Rechtsvollzugs. Wenn Steuerbescheide in einigen Fällen schon heute vollautomatisch erlassen werden, Baugenehmigungen demnächst ohne menschliche Mitwirkung erteilt und Verkehrsübertretungen allein durch den Computer geahndet werden könnten, dann eröffnet dies einerseits Chancen zu einem besonders effizienten und zugleich objektiven, gleich-

**„Keineswegs ist ein Staat, der alle Aufgaben zentralisiert erledigt, zwingend besonders stark.“**

heitsgerechten Gesetzesvollzug. Andererseits droht aber je nach Sachbereich auch ein Defizit an gebotenen Ermessen, an menschlich eingeschätzter Verhältnismäßigkeit, an Billigkeit und Menschlichkeit im Recht.

Ein starker Rechtsstaat ist nach alledem ein Staat, der das Recht konsequent durchsetzt, der dabei aber immer verhältnismäßig agiert. Schwach erscheint demgegenüber ein Staat, dem es an einer dieser Eigenschaften fehlt. Dies kann ein Staat sein, der die Freiheit rechtlich nicht hinreichend ausgestaltet und sichert, der die Menschen in diesem Sinne sich selbst überlässt. Schwach ist ein Staat aber – anders, als man im ersten Zugriff meinen könnte – auch dann, wenn er ohne jede Rücksicht auf das Maß der Verhältnismäßigkeit reguliert, vollzieht und vollstreckt, dadurch das Vertrauen der Menschen verspielt und die Bevölkerung gegen sich aufbringt. So ergibt sich rechtsstaatliche Stärke aus einer vertrauensvollen und langfristig tragfähigen Staat-Bürger-Beziehung, die auf rechtliche Konsequenz ebenso wie auf verlässlichen Grundrechtsschutz baut.

#### **Starke und schwache Demokratie**

Ganz besonders ambivalent stellen sich die Begriffe der Stärke und Schwäche in Anwendung auf den demokratischen Staat dar. Demokratische Legitimation ereignet sich stets vom Volk ausgehend in Richtung auf den Staat. Der demokratische Staat ist auf diese Legitimation angewiesen, er kann sie aber nicht garantieren oder gar erzwingen. Die verfassungs- und gesetzesrechtlichen Regelungen der politischen Willensbildung des Volkes sind dementsprechend zurückhaltend. Die Stärke des demokratischen Staates, die darin liegt, dass er politische Freiheit und Selbstbestimmung ermöglicht, ist damit zugleich eine konstruktive Schwäche. Demokratie muss von den Menschen angenommen und verteidigt werden. Die Weimarer Republik hat dies nicht vermocht.

Deshalb haben die Väter und Mütter des Grundgesetzes das Konzept der wehrhaften Demokratie entwickelt und in einer ganzen Reihe von Verfassungsvorschriften verankert. So können Vereine frei gegründet werden und agieren; richten sie sich aber gegen die verfassungsmäßige Ordnung, ist ihr Verbot möglich. Die Grundrechte werden staatlich gewährleistet; wer sie aber zum Kampf gegen die freiheitliche demokratische Grundordnung missbraucht, der verwirkt sie. Politische Parteien genießen unabhängig von ihrer Ausrichtung die gleiche Freiheit, weshalb sich die Staatsorgane ihnen gegenüber neutral verhalten müssen; wenn politische Parteien aber aktiv kämpferisch darauf ausgehen, die freiheitliche demokratische Grundordnung zu zerstören, dann sind sie verfassungswidrig und werden vom Bundesverfassungsgericht verboten – wie es in den Fällen der SRP (1952) und der KPD (1956) geschah, im Fall der NPD (2017) dagegen mangels Tatbestandserfüllung unterblieb. Das Konzept der wehrhaften Demo-

kratie, das die konstruktive Schwäche des demokratischen Systems aufzufangen sucht, hat sich in der Bundesrepublik bewährt. Krisen, die es gab, wurden bewältigt.

Und doch stimmt die Gegenwart nachdenklich. In den letzten Jahren hat sich ein ernst zu nehmendes gesellschaftliches Milieu entwickelt, in dem nicht nur an der Sachgerechtigkeit der aktuellen Politik fundamental gezweifelt, sondern darüber hinaus auch die Aufrichtigkeit des politischen Personals oder sogar die grundsätzliche Problemlösungsfähigkeit der parlamentarischen Demokratie infrage gestellt wird. Solange sich der Protest als Beitrag zum politischen Diskurs darstellt, und sei es in Form zivilen Ungehorsams (Schulstreik, Klimakleber), erscheint er in seinem Kern produktiv und kann das demokratische System, seine Inhalte und Strukturen befruchten. Wenn der Protest aber destruktiv wird und in grundsätzlicher Ablehnung des demokratischen Systems mündet (Teile der Querdenker-Bewegung, Reichsbürger), dann ist erhöhte Aufmerksamkeit geboten.

In einem kürzlich abgeschlossenen Projekt am Marsilius-Kolleg der Universität Heidelberg hat der Autor dieses Beitrags gemeinsam mit dem Politikwissenschaftler Reimut Zohlhörer und dem Psychologen Peter Kirsch diese Phänomene „gesellschaftlicher Selbstermächtigung“ näher untersucht, unter anderem auf der Grundlage wiederholter repräsentativer Umfragen. In der Beobachtung lässt sich tatsächlich eine instrumentelle, das politische System nutzende und letztlich bestätigende Form der Selbstermächtigung von einer expressiven, tendenziell systemfeindlichen Form der Selbstermächtigung unterscheiden. Hier schließen sich weitere Fragen an, denen in Zukunft nachgegangen werden kann und soll, so etwa die Frage danach, wie es zu der grundsätzlich systemkritischen Haltung kommen kann. Möglicherweise spielen dabei nicht zuletzt subjektiv wahrgenommene Repräsentationslücken eine Rolle. Weitere staatsrechtliche Forschung richtet sich daneben auf die Bedeutung von Vertrauen im Verfassungsstaat, dies zum einen in rechtsstaatlicher, zum anderen in demokratischer Hinsicht.

So ist eine starke Demokratie eine solche, die die gesellschaftlichen Räume, in denen sich politische Willensbildung ereignet, in ihrer Freiheitlichkeit schützt, diese Räume aber auch wehrhaft verteidigt und zwischen lebhafter Auseinandersetzung im Rahmen des demokratischen Systems einerseits und systemfeindlicher und -zersetzender Kritik andererseits zu unterscheiden weiß. Schwach wird ein demokratischer Staat folglich dann, wenn er den Auftrag, den gesellschaftlichen Diskurs einzuhegen, missversteht und die politische Freiheit erstickt, unter anderem durch inhaltliche Verengung und Ausgrenzung. Schwach wird ein demokratischer Staat aber ebenso, wenn er umstürzlerische Strömungen gewähren lässt.

A RISK WORTH TAKING

# THE STRONG STATE AND THE WEAK STATE

HANNO KUBE

When we think of a strong state, one of the first things that comes to mind is well-equipped police forces that ensure public safety and order. When we think of a weak state, we think of crime and neglect. But the terms “strong state” and “weak state” should be understood in a much more sophisticated way against the background of the historical development of the constitutional state in Europe and North America. A strong state is one that guarantees security (Thomas Hobbes) without stifling freedom (John Locke).

Accordingly, a strong constitutional state ensures that the law is consistently enforced while taking care to act proportionately and in line with human rights standards. A strong democracy protects the spaces of free political decision-making, but at the same time defends them vigorously against anti-system attacks. Finally, a state can also be strong in the way it organises its work; federalism, for example, can bring strength, as can the allocation of tasks according to the principle of subsidiarity, which builds on the strengths of a society. Strength and weakness are, after all, intricately interwoven. The liberal democratic constitutional state must always find the right balance between too much regulation and too much laissez-faire. It is a risk worth taking – for the sake of freedom. ●

PROF. DR HANNO KUBE joined Heidelberg University in 2014 as Professor of Public Law with particular regard to Public Finance and Tax Law and head of the Institute for Public Finance and Tax Law. Following his studies in Heidelberg, Geneva (Switzerland) and at Cornell University in New York (USA) and his doctorate and habilitation at Heidelberg University, he held teaching positions at the universities of Eichstätt-Ingolstadt and Mainz. His research interests are constitutional and European law, financial constitutional law and German, European and international tax law. As a member of Heidelberg University's Marsilius Fellow Class of 2020/21, Hanno Kube took part in an interdisciplinary research project on the subject of societal self-empowerment. His current research includes the significance of trust in a constitutional state.

Contact: kube@uni-heidelberg.de

**“A strong state ensures  
that its people  
enjoy both private and  
political freedom.”**



**PROF. DR. HANNO KUBE** ist seit 2014 Professor für Öffentliches Recht unter besonderer Berücksichtigung des Finanz- und Steuerrechts und Direktor des Instituts für Finanz- und Steuerrecht der Universität Heidelberg. Zuvor lehrte er nach Studium in Heidelberg, Genf (Schweiz) und an der Cornell University in New York (USA) sowie Promotion und Habilitation an der Universität Heidelberg an den Universitäten Eichstätt-Ingolstadt und Mainz. Seine Forschungsschwerpunkte sind das Staats- und Europarecht, das Finanzverfassungsrecht und das deutsche, europäische und internationale Steuerrecht. Im Jahr 2020/21 war Hanno Kube als Fellow des Marsilius-Kollegs der Universität Heidelberg an einem interdisziplinären Forschungsprojekt zum Thema „Gesellschaftliche Selbstermächtigung“ beteiligt. Aktuell beschäftigt er sich in seiner Forschung unter anderem mit der Bedeutung von Vertrauen im Verfassungsstaat.

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

### Staatliche und gesellschaftliche Aufgaben

Stark und schwach kann sich der Staat schließlich auch unter dem Gesichtspunkt darstellen, wie er seine Aufgabenerfüllung organisiert, wie er also für innere und äußere Sicherheit sorgt, Recht und Justiz gewährleistet, der Wirtschaft einen Rahmen setzt, das Existenzminimum garantiert, einen sozialen Ausgleich erreicht, das Bildungswesen strukturiert etc. Die Auswahl der konkreten Staatsaufgaben und die genaue Ausgestaltung ihrer Wahrnehmung sind in der Demokratie stets Sache entsprechender Entscheidungsverfahren, begrenzt durch die Grundrechte. Und doch kann die Art und Weise, wie die Aufgabenwahrnehmung organisiert wird, auf die Stärke oder Schwäche des staatlichen Gemeinwesens hindeuten.

Denn keineswegs ist ein Staat, der alle Aufgaben zentralisiert erledigt, zwingend besonders stark. Vielmehr kann – und dies zeigt die jahrhundertelange Erfahrung mit dem Föderalismus auf deutschem Boden – gerade auch die dezentrale Aufgabenerledigung sehr leistungsfähig, flexibel und resilient sein. Zudem kann sich staatliche Stärke auch darin erweisen, dass die gesellschaftlichen Kräfte wirksam in die Erledigung öffentlicher Aufgaben einbezogen und dadurch – zugleich freiheitsfreundlich – nutzbar gemacht werden. So hat der hergebrachte Subsidiaritätsgrundsatz, der für das Vereins-, Verbands- und Stiftungswesen, für das Gemeinnützigkeitsrecht und nicht zuletzt für die Stellung der Familie streitet, viel mit der Stärkung des Gemeinwesens zu tun. Stärke im Saldo ergibt sich hier aus der bewussten Zurücknahme der staatlichen Aufgabenerledigung, in diesem Sinne also aus staatlicher Schwäche.

### Intrikates Zusammenspiel von Stärke und Schwäche

Ein starker Staat ist somit – im Lichte der europäischen und nordamerikanischen Verfassungstradition – ein Staat, der es den Menschen ermöglicht, im Privaten und im

Politischen frei zu sein. Dies gelingt durch die rechtliche Ausgestaltung dieser Freiheit und durch ihre Verteidigung gegen private Übergriffe ebenso wie gegen staatlichen Autoritarismus. Ein schwacher Staat ist folglich ein Staat, der nicht in der Lage ist, private Macht zu bändigen und Sicherheit im Sinne Hobbes' zu geben. Schwach ist aber auch ein Staat, der die Freiheit der Menschen im Streben nach umfassender Sicherheit, mit anderen Worten Kontrolle, erstickt. Stets ist es dem freiheitlich-demokratischen Staat daher aufgegeben, die richtige Mitte zwischen zu viel Regulierung und zu viel Laisser-faire zu finden. Ziel muss es sein, private Freiheit und gesellschaftliche Kräfte wirken zu lassen, insoweit also als Staat schwach zu bleiben, um die Stärke des Gemeinwesens zur Geltung zu bringen. Zugleich ist aber immer so viel staatliche Stärke geboten, dass die Freiheit der Schwachen geschützt und nicht ausgelöscht wird. So ist der freiheitlich-demokratische Verfassungsstaat – in einem intrikaten Zusammenspiel von Handeln und Unterlassen, von Stärke und Schwäche – eine riskante Ordnung, ein Wagnis (Ernst-Wolfgang Böckenförde). Doch ist er ein Wagnis, das einzugehen sich lohnt – um der Freiheit willen, die er ermöglicht. ●

**„Ein starker Staat ist ein Staat,  
der es den Menschen  
ermöglicht, im Privaten und im  
Politischen frei zu sein.“**

**SCHRECKGESPENS!**

**INFLATION**

SCHRECKGESPENST INFLATION

# DIE PROGNOSEN DER EUROPÄISCHEN ZENTRALBANK

CHRISTIAN CONRAD &amp; ZENO ENDERS

**Das Schreckgespenst der Inflation beschäftigt nicht nur die Währungshüter, sondern beunruhigt auch Verbraucher:innen und Politik. Der Europäischen Zentralbank wird angesichts ihrer Prognosen und ihrer daraus folgenden Zinspolitik vorgeworfen, die tatsächliche Entwicklung der Inflation in den Jahren 2021 und 2022 deutlich unterschätzt zu haben. Aber warum ist es so schwierig, eine starke oder schwache Teuerung über längere Prognosehorizonte präzise vorherzusagen, und welche Schlussfolgerungen sind daraus für die Praxis zu ziehen? Dazu forschen Wirtschaftswissenschaftler der Universität Heidelberg – und geben Empfehlungen zur Geldpolitik.**

# W

Wie kann die Europäische Zentralbank (EZB) die Teuerung kontrollieren? Warum sind Inflationsprognosen für die Entscheidungen der EZB so bedeutsam? Und weshalb hat die EZB die Entwicklung der Inflation 2021 und 2022 so lange unterschätzt? In diesem Beitrag argumentieren wir, dass die Möglichkeiten zur Prognose zukünftiger Inflationsraten generell begrenzt sind und die EZB in ihrer geldpolitischen Strategie diesen Grenzen Rechnung tragen sollte. Eine Überschätzung der eigenen Prognosemöglichkeiten seitens der EZB kann 2022 dazu

geführt haben, dass sie zu spät auf den Anstieg der Inflation reagiert hat.

Die Europäische Zentralbank verfolgt ein Inflationsziel für die Konsumentenpreise innerhalb der Eurozone von zwei Prozent pro Jahr. Dieses Ziel soll in der mittleren Frist, das heißt nach zwölf bis 18 Monaten, erreicht werden. Der Fokus auf diesen mittleren Horizonten liegt darin begründet, dass die Geldpolitik die Inflation nicht unmittelbar, sondern nur mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung beeinflussen kann. Von daher sollte sie auf kurzfristige, rein temporäre Abweichungen vom Ziel nicht reagieren; ansonsten könnte es passieren, dass die Geldpolitik akut gesteuert, die Wirkung der Maßnahmen aber erst dann einsetzt, wenn die Inflation bereits wieder zum Ziel zurückgekehrt ist. Dies wäre also eher destabilisierend und dem Ziel der Preisstabilität somit abträglich.

Aufgrund dieser Orientierung an der mittleren Frist sind Prognosen der zukünftigen Inflation von zentraler Bedeutung für die Geldpolitik der EZB. Vor dem Hintergrund



**PROF. DR. CHRISTIAN CONRAD** ist seit 2011 Professor für Empirische Wirtschaftsforschung am Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften der Universität Heidelberg. Er ist zudem Research Fellow an der Konjunkturforschungsstelle der ETH Zürich (Schweiz), Senior Fellow am Rimini Centre for Economic Analysis (Italien), Research Associate am Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung in Mannheim und External Fellow am Center for European Studies in Mailand (Italien). Seine Forschungsinteressen liegen in den Bereichen Modellierung und Vorhersage von Finanzmarktrisiken, makroökonomische Prognosen und Geldpolitik sowie Erwartungsbildung. Nach seinem Studium der Volkswirtschaftslehre in Heidelberg und York (England) wurde Christian Conrad 2006 an der Universität Mannheim promoviert. Anschließend forschte er als Postdoc an der Konjunkturforschungsstelle der ETH Zürich (Schweiz), bevor er 2008 als Juniorprofessor an die Universität Heidelberg wechselte.

Kontakt: christian.conrad@awi.uni-heidelberg.de

einer Phase mit anhaltend niedrigen Inflationsraten hat die EZB 2021 bei der Überprüfung ihrer geldpolitischen Strategie ihre Entscheidungen sogar explizit an ihre Inflationsprognosen gekoppelt: Eine Normalisierung der damals sehr expansiven Geldpolitik sollte erst dann erfolgen, wenn die Inflationsprognosen in der Mitte des Prognosehorizonts (der bis zu drei Jahre umfasst) auf dem Ziel von zwei Prozent liegen und dort für den Rest des Prognosezeitraums verbleiben würden. Auf Basis dieser Strategie hat die EZB im Dezember 2021 trotz einer damaligen Inflationsrate von bereits 4,6 Prozent den Leitzins nicht angehoben, weil ihre Inflationsprognosen suggeriert haben, dass die Inflation auf mittlere Frist wieder unter das Ziel von zwei Prozent fallen würde. Konkret argumentierte die EZB-Präsidentin Christine Lagarde in der Pressekonferenz zur geldpolitischen Entscheidung vom 16. Dezember 2021:

“The inflation outlook has been revised up, but inflation is still projected to settle below our two percent target over the projection horizon. (...) inflation projections for 2023 and 2024 (...) are at 1.8% respectively. (...) Are we at target, given that our target is 2% over the medium-term (...)? Not quite (...) We are driven by data, and (...) under the present circumstances, as I have said before, it is very unlikely that we will raise interest rates in the year 2022. That still stands.”

Wie wir aber mittlerweile wissen, hat die EZB die tatsächliche Entwicklung der Inflation 2021 und 2022 selbst auf kürzeren Prognosehorizonten deutlich unterschätzt. Diese Fehleinschätzungen zur Inflationsentwicklung haben dazu beigetragen, dass die EZB den Leitzins nicht schon vor Juli 2022 angehoben hat, was zu zunehmender Kritik an ihren Prognosen und damit ihrer Geldpolitik geführt hat.

#### Probleme der Inflationsprognosen

Dies führt zur Frage, warum es eigentlich so schwierig ist, eine starke oder schwache Teuerung über längere Prognosehorizonte präzise vorherzusagen. Allgemein gesprochen hängt die kurz- bis mittelfristige Inflation stark von der Wirtschaftsentwicklung ab. Um die Inflation zu prognostizieren, muss man also die Veränderungen von Größen wie Wirtschaftswachstum und Arbeitslosigkeit vorhersagen und zudem den genauen Zusammenhang dieser Variablen mit der Inflation verstehen. Dabei gibt es diverse Probleme: Erstens haben wir in Echtzeit nur eine grobe Vorstellung darüber, wie stark oder schwach die Wirtschaft gerade ist. Das Wirtschaftswachstum wird nämlich lediglich quartalsweise bestimmt und zunächst auf Basis von vorläufigen Daten geschätzt. Daher wird die erste Schätzung für das Wachstum, die vom Statistischen Bundesamt erst circa 30 Tage nach Ende jedes Quartals veröffentlicht wird, in der Folge oft noch deutlich revidiert. Dieses Problem wird noch dadurch verschärft,

dass die Revisionen an konjunkturellen Wendepunkten besonders stark ausfallen. Entsprechend schwierig ist es, Prognosen für die Inflation auf Basis dieser mit großen Unsicherheiten behafteten Datenlage zu erstellen.

Zweitens kann es über die Zeit strukturelle Veränderungen in der Beziehung zwischen der Inflation und ihren Determinanten geben, die in Echtzeit nur schwer zu erkennen sind. Da Prognosemodelle in der Regel von stabilen Beziehungen ausgehen, führen solche strukturellen Veränderungen typischerweise zu einer Abnahme der Prognosegüte der Modelle, bevor diese auf die neue Situation angepasst werden. Beispielsweise unterstellen Prognosemodelle für die Inflation typischerweise einen negativen Zusammenhang mit der Arbeitslosigkeit: die sogenannte Phillipskurve. Wird der Zusammenhang unbemerkt schwächer, was aus heutiger Sicht für die Jahre vor der Pandemie plausibel erscheint, so kann ein Rückgang der Arbeitslosigkeit zu einem deutlich geringeren Anstieg der Inflation führen als es die Prognosemodelle auf Basis des alten Zusammenhangs vorhersagen.

#### Unvorhergesehene Situationen

Drittens kann es zu noch nie da gewesenen Situationen kommen. So konnten die Auswirkungen der fiskalischen Rettungsmaßnahmen während der Corona-Pandemie nur vage eingeschätzt werden, da die Pandemie und die Maßnahmen keine vergleichbaren Vorgänger hatten. Erschwerend kam hinzu, dass Unklarheit über die Art der wirtschaftlichen Störung herrschte. Normalerweise werden nach angebotsseitigen Problemen sinkende Produktionszahlen und steigende Preise erwartet, während nach Störungen auf der Nachfrageseite sowohl die Produktion als auch die Inflation sinken. Während der Pandemie gab es aber eine schwierige Gemengelage von verordneten Betriebsschließungen und weiteren Einschränkungen des Angebots sowie Konsum- und Investitionszurückhaltung auf der Nachfrageseite. Dies machte die Vorhersage der Inflation während der Pandemie und nach der Beendigung der Einschränkungen besonders komplex. Die EZB ging von der Annahme aus, dass der Anstieg der Inflation vor allem von angebotsseitigen Schocks wie Lieferkettenproblemen getrieben wurde, was zur Prognose führte, dass die Inflation schnell wieder fallen würde, sobald diese Probleme behoben seien. Tatsächlich führte aber auch eine hohe „Nachholnachfrage“ zu einer starken Teuerung.

Viertens war der Angriffskrieg Russlands gegen die Ukraine ein Beispiel für eine unvorhergesehene Entwicklung, die unvermeidbar zu Prognosefehlern führte. So erklärte die EZB in einer eigenen Untersuchung ihre Unterschätzung der Inflation insbesondere im ersten Quartal 2022 mit dem überraschenden Anstieg der Energiepreise in Reaktion auf die russische Invasion der Ukraine. Noch komplizierter wird es, wenn die EZB vorhersagen will, wie sich

# „Eine Prognose ist informativ, falls man damit die tatsächliche Entwicklung besser trifft als eine naive Prognose, die lediglich den Durchschnitt der bisher beobachteten Inflationsraten vorhersagt.“

ihre eigenen geldpolitischen Entscheidungen auf die Inflation auswirken. Hierbei muss die EZB beispielsweise antizipieren, wie unterschiedliche ökonomische Akteure auf die Entscheidungen reagieren und welche Implikationen dies im Aggregat hat. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit Alexander Glas von der Universität Nürnberg-Erlangen haben wir gezeigt, dass ein Großteil der deutschen Haushalte ihre Inflationserwartungen nach unerwarteten Zinserhöhungen seitens der Zentralbank nicht wie lehrbuchmäßig erwartet nach unten, sondern nach oben anpasst. Ein solches Verhalten kann die eigentlich intendierte Wirkung der geldpolitischen Maßnahme konterkarieren.

## Wie informativ sind EZB-Prognosen?

Die EZB begegnet diesen Schwierigkeiten bei der Erstellung ihrer Inflationsprognosen mit einem aufwendigen Prozess, der die nationalen Zentralbanken des Eurosystems mit einschließt, in Deutschland also die Bundesbank: Unter Vorgabe von Annahmen bezüglich gewisser weltwirtschaftlicher Rahmenbedingungen seitens der EZB, wie der Auslandnachfrage, des Wechselkurses und des Ölpreises, erstellen die nationalen Zentralbanken zunächst Prognosen für die jeweils heimische Inflation. Die vorläufigen Prognosen werden bei der EZB gesammelt, mit den nationalen Zentralbanken diskutiert und auf Konsistenz untereinander geprüft. Daraufhin revidieren die Zentralbanken gegebenenfalls ihre Prognosen und stimmen diese abermals mit der EZB ab. Die EZB

aggregiert die nationalen Prognosen dann zu einer Prognose für die gesamte Eurozone. Die EZB selbst spricht übrigens nicht von Prognosen, sondern von Projektionen, um die Abhängigkeit der Vorhersagen von den gemachten Annahmen über die weltwirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu betonen.

Die Diskussion um die Qualität der Inflationsprognosen der EZB, die Ende 2021 einsetzte, hat auch bei der EZB selbst zu einer kritischen Auseinandersetzung mit den eigenen Prognosen geführt. So argumentierte Christine Lagarde am 25. August 2022 in einem Interview mit „Madame Figaro“:

“We can no longer rely exclusively on the projections provided by our models – they have repeatedly had to be revised upwards over these past two years. There are things that the models don’t capture.”

Während die EZB bei der Analyse ihrer Prognosefehler vor allem auf Probleme mit den Annahmen bezüglich der weltwirtschaftlichen Entwicklung verweist und zudem Verbesserungen bei den verwendeten Modellen verspricht, sehen wir ein grundsätzlicheres Problem. Aus unserer Sicht ist der Fokus der Geldpolitik auf die mittleren und langen Prognosehorizonte nur zu rechtfertigen, wenn die EZB-Prognosen auf diesen Horizonten auch informativ sind. In einem Forschungsprojekt, das wir gemeinsam mit Gernot Müller von der Universität

# „Die Bindung geldpolitischer Entscheidungen an Prognosen mit einem Horizont von über einem Jahr ist nicht sinnvoll.“

Tübingen durchführen, haben wir die Güte der EZB-Prognosen systematisch evaluiert. Hierbei hat uns nicht allein die Unterschätzung der Inflationsentwicklung im vergangenen Jahr interessiert, sondern allgemein der Informationsgehalt der Prognosen seit 2001. Für den gesamten Beobachtungszeitraum kommen wir zunächst zu einem positiven Ergebnis: Auf den Prognosehorizonten von einem bis zu acht Quartalen finden wir keine Evidenz für eine Verzerrung der EZB-Prognosen. Die tatsächliche Inflation wurde durch die EZB also weder systematisch unter- noch überschätzt. Es finden sich auch keine Hinweise dafür, dass vorhandene Informationen nicht effizient genutzt werden.

## Grenzen der Prognostizierbarkeit

Als Nächstes haben wir untersucht, auf welchen Horizonten die Inflationsprognosen informativ sind, das heißt eine bessere Prognosegüte aufweisen als eine Prognose, die stets den unbedingten Mittelwert der Inflation vorhersagt. Anders ausgedrückt ist eine Prognose informativ, falls man damit die tatsächliche Entwicklung besser trifft als eine naive Prognose, die lediglich den Durchschnitt der bisher beobachteten Inflationsraten vorhersagt. Durch die Orientierung der Geldpolitik an den Prognosen für die Inflation in zwölf bis 18 Monaten ist die Frage nach den informativen Prognosehorizonten besonders relevant. Unsere empirischen Ergebnisse zeigen, dass die EZB-Prognosen auf Horizonten bis zu drei Quartalen sehr informativ sind, wobei die größte Verbesserung im Vergleich zur naiven Prognose auf dem kürzesten Horizont von einem Quartal erreicht wird. Ab einem Prognosehorizont von vier und mehr Quartalen finden wir jedoch, dass die EZB-Prognosen uninformativ werden.

Dass trotz des erheblichen Aufwandes, den die EZB bei der Erstellung ihrer Prognosen betreibt, bereits bei vier Quartalen der uninformativ Horizont erreicht ist, erscheint zunächst ernüchternd. Allerdings können wir zeigen, dass auch andere Prognostiker, wie zum Beispiel der „Survey of Professional Forecasters“, keine informativeren Prognosen abliefern. Grundsätzlich gibt es Grenzen der Prognostizierbarkeit, die unabhängig von den verwendeten Prognosemodellen von den Eigenschaften des zugrunde liegenden Inflationsprozesses bestimmt werden. Obwohl wir nicht allgemein ausschließen können, dass informativere Prognosen möglich sind, legt unser Ergebnis nahe, dass diese Prognosegrenze bereits nach vier Quartalen erreicht ist. Aus unserer empirischen Beobachtung können wir daher nicht folgern, dass die EZB-Prognosen keine optimalen Prognosen sind. Selbst optimale Prognosen können schnell uninformativ werden. Zuletzt können wir in einem theoretischen makroökonomischen Modell zeigen, dass auch der zugrunde liegende Inflationsprozess und damit die Grenze der Prognostizierbarkeit über die Zeit variieren können. Insbesondere hängt Letztere vom Verhalten der Geldpolitik in der Vergangenheit ab.

## Plädoyer für mehr Transparenz

Was folgt aus diesen Erkenntnissen? Wie eingangs erwähnt zielt die EZB darauf ab, ihr Inflationsziel über die mittlere Frist zu erreichen und bräuchte somit bei rein temporären Abweichungen nicht zu reagieren. Wenn sich aber nun herausstellt, dass man nur sehr unpräzise vorhersagen kann, ob Abweichungen temporär oder dauerhaft sind beziehungsweise wo die Inflation in zwölf bis 18 Monaten stehen wird, ist eine Orientierung an den



PROF. DR. ZENO ENDERS ist seit 2011 Professor für Wirtschaftspolitik am Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften der Universität Heidelberg und Fellow des Forschungsnetzwerks CESifo. Er forscht zur internationalen und monetären Ökonomik sowie zur Rolle von ökonomischen Erwartungen. Er studierte Volkswirtschaftslehre an der Humboldt-Universität Berlin, der University of California, Berkeley (USA) sowie Stockholms Universität (Schweden) und wurde am European University Institute Florenz (Italien) und der Universität Pompeu Fabra in Barcelona (Spanien) promoviert. Danach war er Juniorprofessor an der Universität Bonn. Gastaufenthalte führten Zeno Enders unter anderem zum Internationalen Währungsfonds (IWF), zur Weltbank, zum Board of Governors of the Federal Reserve System, zur Bundesbank und zur Banque de France.

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

THE SPECTRE OF INFLATION

# PROJECTIONS OF THE EUROPEAN CENTRAL BANK

CHRISTIAN CONRAD & ZENO ENDERS

How can the European Central Bank (ECB) keep inflation in check? Why are inflation forecasts so crucial for the ECB's decisions? And why did the ECB underestimate inflation developments in 2021 and 2022 for so long? In this article, we argue that the ability to forecast future inflation rates is generally limited and that the ECB should consider these limitations in its monetary policy strategy. An overestimation of its forecasting abilities may have caused the ECB to respond too late to the rise in inflation in 2022. ●

**“We advocate a more transparent approach that puts stronger emphasis on informative forecast horizons as well as the communication of forecast uncertainties.”**

**PROF. DR CHRISTIAN CONRAD** is a Professor of Econometrics at Heidelberg University's Alfred Weber Institute for Economics. In addition to this position, which he has held since 2011, he is also a Research Fellow at the KOF Swiss Economic Institute of ETH Zurich (Switzerland), Senior Fellow at the Rimini Centre for Economic Analysis (Italy), Research Associate at the Centre for European Economic Research in Mannheim and External Fellow at the Center for European Studies in Milan (Italy). His research interests are modelling and predicting financial market risks, macroeconomic forecasts and monetary policy, and expectation formation. Christian Conrad studied economics in Heidelberg and York (UK) and completed his doctorate at the University of Mannheim in 2006. He was a postdoc at the KOF Swiss Economic Institute of ETH Zurich (Switzerland) before transferring to Heidelberg in 2008 to accept a junior professorship.

Contact: christian.conrad@  
awi.uni-heidelberg.de

**PROF. DR ZENO ENDERS** joined Heidelberg University's Alfred Weber Institute for Economics in 2011 as a Professor of Macroeconomics; he is also a Fellow of the CESifo research network. His research focus is international and monetary economics and the role of economic expectations. He studied economics at Humboldt-Universität Berlin, the University of California, Berkeley (USA) and Stockholms Universitet (Sweden) and earned his doctorate at the European University Institute in Florence (Italy) and the Universitat Pompeu Fabra in Barcelona (Spain). He was a junior professor at the University of Bonn and a visiting researcher at the International Monetary Fund (IMF), the World Bank, the Board of Governors of the Federal Reserve System, the German Bundesbank and the Banque de France.

Contact: zeno.enders@  
uni-heidelberg.de

mittel- und langfristigen Prognosen fragwürdig. Unserer Meinung nach hat die EZB mit der Ausrichtung ihrer Geldpolitik an diesen Horizonten ihre Prognosemöglichkeiten überschätzt. Die Bindung geldpolitischer Entscheidungen an Prognosen mit einem Horizont von über einem Jahr ist daher nicht sinnvoll.

Es kommt auch noch ein weiterer Punkt hinzu: Mit dem Betonen der Bedeutung von Prognosen auf Horizonten, für die die Prognosen nicht informativ sind, kann langfristig ein Reputationsverlust einhergehen. Dieser kann für eine Institution, der alles daran gelegen ist, Vertrauen in die eigene Währung aufzubauen, einen nicht zu unterschätzenden Schaden bewirken. Um dem entgegenzuwirken, sollte die EZB zumindest die mit ihren Prognosen verbundenen Unsicherheiten klar benennen, das heißt, probabilistische Prognosen veröffentlichen – solche Prognosen geben Wahrscheinlichkeiten dafür an, dass die Inflation innerhalb bestimmter Grenzen liegen wird.

In der Corona-Pandemie hat die EZB aber das Gegenteil getan und bei der Veröffentlichung ihrer Prognosen – im Gegensatz zur Zeit vor der Pandemie – auf Quantifizierungen der Prognoseunsicherheit verzichtet. Die stattdessen berichteten Prognosen für alternative Szenarien zeigen zwar, wie sich die Inflationsprognosen unter

unterschiedlichen Annahmen verhalten, lassen aber keinen Rückschluss auf inhärente Unsicherheiten zu. Hätte die EZB bei der im Zitat von EZB-Präsidentin Christine Lagarde erwähnten Prognose aus dem Dezember 2021 von 1,8 Prozent für 2023 und 2024 die mit der Prognose einhergehenden Unsicherheit klar kommuniziert, wäre sichtbar geworden, dass der Abstand zwischen der Prognose und dem Zwei-Prozent-Ziel relativ zum auf diesem Horizont üblichen Prognosefehler sehr klein war. Dies ist konsistent damit, dass Prognosen auf diesen Horizonten bereits uninformativ sind und somit nicht zur Begründung für das Festhalten am damaligen expansiven Kurs geeignet waren. Zudem legen empirische Schätzungen nahe, dass die Geldpolitik schneller wirkt, als von der EZB oft dargestellt, so dass aus unserer Sicht die Geldpolitik schon auf Abweichungen der Prognosen vom Inflationsziel auf kürzeren Horizonten reagieren sollte. Insofern plädieren wir für eine transparentere Vorgehensweise, die mehr Gewicht auf die informativen Prognosehorizonte sowie die Kommunikation von Prognoseunsicherheiten legt. ●

**„Wir plädieren für eine transparentere Vorgehensweise, die mehr Gewicht auf die informativen Prognosehorizonte sowie die Kommunikation von Prognoseunsicherheiten legt.“**

**KREDITTE  
FÜR**

**DIE  
SCHWACHEN?**

KREDITE FÜR DIE SCHWACHEN?

# ARMUTSBEKÄMPFUNG DURCH MIKROFINANZIERUNG

STEFAN KLONNER

**In den vergangenen 50 Jahren hat sich in Entwicklungsländern ein neues Finanzmarktsegment entwickelt: Haushalte, die von Armut betroffen sind und vormals vom modernen Finanzsektor ausgeschlossen waren, erhalten Zugang zu Krediten und weiteren Bankdienstleistungen. Was macht diese sogenannte Mikrofinanzierung anders als herkömmliche Banken? Ist sie profitabel und soll sie dies sein? Und haben Klein- und Kleinstkredite tatsächlich die Schwachen gestärkt und die globale Armut reduziert? Zu diesen Fragen forscht die Entwicklungsökonomie an der Universität Heidelberg.**

# M

Mikrofinanzierung bezeichnet einen Teil des Finanzmarktes, der darauf abzielt, Menschen Zugang zu relativ kleinen Krediten und damit verbundenen Finanzdienstleistungen zu verschaffen, um Armut zu lindern und wirtschaftliche Entwicklung zu fördern. Vor Aufkommen der Mikrofinanzbewegung war insbesondere in Entwicklungsländern der Zugang zu Krediten und Finanzdienstleistungen denjenigen vorbehalten, die über Vermögen verfügen, während weite Teile der Bevölkerung, insbesondere Ärmere, davon ausgeschlossen waren. Mikrofinanzierung bietet weniger begüterten Haushalten erschwingliche Kredite und Finanzdienstleistungen an und verspricht dadurch eine doppelte gesellschaftliche Dividende: einerseits beschleunigtes Wirtschaftswachstum durch eine erhöhte Mobilisierung des unternehmerischen und produktiven Potenzials benachteiligter Bevölkerungsschichten, andererseits Reduzierung von Armut und Ungleichheit. Gleichzeitig soll das Mikrofinanzgeschäft profitabel oder jedenfalls nicht verlustreich sein. Dies steht im Gegensatz zu früheren staatlichen Kreditprogrammen in Entwicklungsländern, die sich meist als teuer und nicht nachhaltig erwiesen haben, häufig, weil Kredite von staatlicher Seite als Wahlgeschenke aufgefasst wurden.

Die Mikrofinanzbewegung hat für die globale Entwicklung zunehmend an Bedeutung gewonnen, insbesondere seit Muhammad Yunus, der 1983 die Mikrokredite vergebende Grameen Bank in Bangladesch gründete, 2006 für sein Engagement zur Armutsbekämpfung mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet wurde. Seit 2015 ist der universelle Zugang zu Finanzdienstleistungen auch in den nachhaltigen Entwicklungszielen (SDGs) der Vereinten Nationen verankert: Das achte SDG fordert einen verbesserten Zugang sowohl für private Haushalte als auch für kleine und mittlere Unternehmen. Seit seinen Ursprüngen in den 1970er-Jahren ist der Mikrofinanzsektor erheblich gewachsen: Laut den letzten verfügbaren Zahlen gab es 2013 211 Millionen Mikrokreditnehmer weltweit, wobei der durchschnittliche Kreditbetrag bei etwas unter 700 US-Dollar lag.

#### Komplikationen des Kreditmarkts

Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt in Ländern mit niedrigem oder niedrigem mittlerem Einkommen, wo das Pro-Kopf-Einkommen weniger als zwölf US-Dollar am Tag beträgt. Zum Vergleich: In Deutschland beträgt das tägliche Pro-Kopf-Einkommen 164 US-Dollar. Für die ärmeren Teile dieser Bevölkerungen ist der Zugang zu Finanzmitteln eine große Herausforderung. Um Bankkredite zu erhalten, zum Beispiel für landwirtschaftliche Investitionen oder kleine und mittlere Unternehmungen, sind zumeist hohe formale Hürden zu überwinden in Bezug auf Einkommensnachweise und Sicherheiten. Da Menschen, die von Armut betroffen sind, diese Kriterien meist nicht erfüllen können, waren sie traditionell weitgehend auf informelle Kanäle wie Freunde und Verwandte, Geldverleiher, Pfandleiher oder nachbarschaftliche Spargruppen angewiesen. Diese oft unzuverlässigen Finanz-

**„Bei Mikrofinanzierung stellen Frauen häufig die Mehrheit der Kundschaft; die Finanzmittel bieten ihnen die Möglichkeit, unabhängiger und selbstbestimmter zu werden.“**

# „Mikrofinanzierung verspricht eine doppelte gesellschaftliche Dividende.“

quellen sind häufig mit hohen Zinssätzen und anderen Nachteilen wie beispielsweise persönlichen Abhängigkeitsverhältnissen verbunden.

Kreditmärkte sind aufgrund des Ausfallrisikos für die Kreditgeber besonders anfällig für Marktversagen. Im vorliegenden Kontext bedeutet dies, dass aus Sicht der Gesamtwirtschaft wünschenswerte Investitionen von Klein- und Kleinstunternehmern unterbleiben, da sie nicht durch den Kreditmarkt finanziert werden. Neben den eher kleinen Kreditbeträgen, die arme Menschen häufig benötigen, haben Wirtschaftswissenschaftler die Bedeutung asymmetrischer Information zwischen Kreditgeber und Kreditnehmer hervorgehoben: Wenn die Kreditgeber nicht oder nur unvollständig über das Risiko eines Kreditantragstellers informiert sind, sprechen Ökonomen von einem adversen Selektionsproblem. Wenn die Verpflichtung zur Rückzahlung Anreize für die Kreditnehmerin schafft, ein risikoreicheres Investitionsprojekt zu wählen oder weniger hart zu arbeiten, als sie es getan hätte, wenn sie die Investition von ihrem eigenen Geld getätigt hätte, sprechen Ökonomen von einem „moral hazard“-Problem. Infolgedessen wird Personen ohne Sicherheiten oder formellen Arbeitsvertrag häufig ein Bankkredit verweigert. Der Wirtschaftswissenschaftler Joseph Stiglitz von der US-amerikanischen Columbia University, der sich auch in der globalen Entwicklungsdebatte wiederholt zu Wort gemeldet hat, erhielt 2001 den Wirtschaftsnobelpreis für seine einflussreichen theoretischen Arbeiten zu diesen Themen.

## Innovative Ansätze

Die Mikrofinanzbewegung hat eine Reihe innovativer Ansätze entwickelt, um diesen Komplikationen zu begegnen und den Armen Zugang zu Finanzdienstleistungen zu verschaffen. Die bekannteste Neuerung ist der Einsatz von Gruppenkrediten: Hier werden Gruppen von meist fünf bis 25 Mitgliedern zusammengebracht und standardisierte Kredite während der Gruppentreffen vergeben und zurückgezahlt. Dies senkt zum einen die Betriebskosten des Kreditgebers, zum anderen sorgt es für vereinfachten Zugang

auf Kreditnehmerseite, da Transaktionen vor Ort und nicht in Filialen getätigt werden. Häufig sind solche Gruppenkredite mit einer gemeinsamen Haftung verbunden, das heißt, wenn ein Kreditnehmer seinen Kredit nicht zurückzahlt, haften alle anderen Mitglieder der Gruppe für die Rückzahlung. Durch diese gesamtschuldnerische Haftung wird das individuelle Kreditrisiko auf die Gruppe übertragen, und für die Kreditnehmer entstehen mehrere für den Kreditgeber vorteilhafte Anreizmuster: zum einen lohnt es sich, möglichst zuverlässige Gruppenmitglieder zu finden, was dem adversen Selektionsproblem entgegenwirkt; zum anderen ist es von Vorteil, wirtschaftliche Aktivitäten anderer Gruppenmitglieder zu überwachen und Sorge dafür zu tragen, dass keine übermäßig riskanten unternehmerischen Entscheidungen getroffen werden. Die daraus resultierenden höheren Rückzahlungen ermöglichen es, Kredite an Personen zu vergeben, die nicht die sonst geforderten Sicherheiten oder einen Arbeitsvertrag mit regelmäßigem Einkommen vorweisen können.

Zusätzlich zur Gruppenkreditvergabe wurden sogenannte dynamische Anreize entwickelt, um eine höhere Rückzahlungsrate zu erreichen: Man spricht von progressiver Kreditvergabe, wenn der Kreditgeber einen Kreditnehmer, der seine aktuellen Schulden fristgerecht zurückzahlt, mit höheren künftigen Krediten belohnt. In einer Grameen-Publikation von 2001 vergleicht Muhammad Yunus eine solche Geschäftsbeziehung mit einer mehrspurigen Autobahn, auf der sich der Kreditnehmer von der rechten, langsamen Spur mit der Zeit zu einer schnelleren weiter links vorarbeiten kann. Dieses Modell schafft einen wichtigen Rückzahlungsanreiz und ermöglicht Kleinunternehmern den Zugang zu ausreichenden Finanzmitteln, wenn ihr Unternehmen wächst.

Ein bemerkenswerter Aspekt der Mikrofinanzierung ist die Tatsache, dass Frauen häufig die Mehrheit der Kundschaft stellen und die Finanzmittel ihnen die Möglichkeit bieten, unabhängiger und selbstbestimmter zu werden. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass Frauen in

Entwicklungsländern wirtschaftlich besonders verwundbar sind und die Mikrofinanzierung, zumindest in ihrer Anfangsphase Ende des 20. Jahrhunderts, in erster Linie soziale Ziele verfolgte. Darüber hinaus haben Yunus und andere Pioniere gezeigt, dass Frauen oft zuverlässigere Kreditnehmer sind als Männer. Das ursprüngliche Modell von Grameen, bei dem Kredite an Gruppen von fünf Frauen vergeben wurden, ermöglichte es Frauen, Kleinstunternehmerinnen zu werden, und stärkte auch ihren gesellschaftlichen Status.

### Gedämpfter Enthusiasmus

Eine Reihe von im letzten Jahrzehnt durchgeführten Forschungsarbeiten haben den früheren Enthusiasmus über Mikrofinanzierung und ihre Armutswirkung, der sich häufig auf Einzelfallstudien stützte, gedämpft. Studien der Nobelpreisträger Abhijit Banerjee und Esther Duflo und zahlreicher anderer, darunter auch der Heidelberger Nachwuchswissenschaftler Min Xie, haben gezeigt, dass der Zugang zu Mikrokrediten arme Menschen tatsächlich unabhängiger von informellen Finanzierungsquellen macht. Was weitere Auswirkungen betrifft, so kommt die Mikrofinanzierung hauptsächlich denjenigen zugute, die bereits Unternehmer sind, während sich in der Regel keine langfristigen wirtschaftlichen Vorteile bei Lohnempfängern und denjenigen feststellen lassen, die durch Mikrokredite zu Unternehmern werden. Dies gilt auch für Kreditnehmerinnen, bei denen die Mehrzahl der Studien geringere unternehmerische Zuwächse findet als bei männlichen Kreditnehmern.

Außerdem hat sich gezeigt, dass Mikrofinanzierung die Ärmsten der Armen häufig nicht erreicht. Zwar können Mikrokredite Kapital bereitstellen, doch fehlt es Menschen, die von extremer Armut betroffen sind, häufig an Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, um ein erfolgreiches Unternehmen aufzubauen. Für diese Bevölkerungsgruppen haben sich sogenannte „graduation programs“ als effektiver erwiesen: Bei diesen wird ein überschaubares Startkapital unentgeltlich bereitgestellt – dies können ein paar Milchtiere oder eine Nähmaschine sein – und Programmteilnehmer, zumeist Frauen, werden zusammengebracht und mobilisiert, um Ideen und Ressourcen untereinander auszutauschen. Diese Programme erfordern

jedoch Mittel der Regierung oder wohlthätiger Geber und werden nicht durch den Markt selbst generiert – wie dies bei Mikrofinanzierung überwiegend der Fall ist.

Mit dem zunehmenden Erfolg der Mikrofinanzierung haben sich viele Mikrofinanzanbieter vom ursprünglichen Grameen-Modell, bei dem soziale Ziele im Vordergrund standen, zu einem eher kommerziellen Modell hin entwickelt. Die Börsengänge der Mikrofinanzanbieter Compartamos in Mexiko 2007 und SKS in Indien 2010, die zusammen 850 Millionen US-Dollar einbrachten, verdeutlichen diesen Trend. Auch Bangladeschs Grameen-Bank, die weiterhin soziale Ziele großschreibt, ist 2001 von Grameen I, einem eher gemeinschaftsorientierten Gruppenkredit-Modell, zu Grameen II übergegangen, bei dem die Vergabe größerer Kredite an Einzelpersonen im Vordergrund steht. Diese „mission drift“ wurde kritisiert, da sie die Aufmerksamkeit vom ursprünglichen Zweck der Mikrofinanzierung – Linderung von Armut – ablenkt und den Schwerpunkt von den ärmsten Mitgliedern der Gesellschaft auf profitablere Kundensegmente verlagert. Während Kommerzialisierung das Potenzial hat, angebotsseitig erhebliche Kreditmittel zu mobilisieren, besteht gleichzeitig die Gefahr, dass der Zugang zu Krediten für wirtschaftlich schwächere Kundensegmente erschwert wird und sich die Vergabekonditionen, wie etwa die Zinssätze, verschlechtern.

### Heidelberger Forschung zur Mikrofinanzierung

Einige der Neuerungen, mit denen die Mikrofinanzierung formelle Finanzmärkte in Entwicklungsländern bereichert hat, haben Vorläufer in traditionellen informellen Finanzinstitutionen. Ein prominentes Beispiel sind sogenannte rotierende Kredit- und Spargruppen (ROSCAs), die bereits vor Beginn der Mikrofinanzbewegung an vielen Orten der Welt existierten, an manchen wie in Südindien bereits vor Beginn des Kolonialzeitalters. Bei diesem Schema trifft sich eine Gruppe von Mitgliedern, meist zehn bis 20, regelmäßig in festem Abstand, beispielsweise monatlich, um jeweils einen überschaubaren Sparbetrag in einen Fonds einzuzahlen. Bei jedem Treffen wird der Fonds in voller Höhe an ein Mitglied ausbezahlt. Die Anzahl der Treffen entspricht der Anzahl der Mitglieder, so dass jeder Teilnehmer genau einen



**PROF. DR. STEFAN KLONNER** ist seit 2010 Professor und Leiter der Abteilung Entwicklungsökonomie am Südasiens-Institut der Universität Heidelberg. Zuvor war er als Gastwissenschaftler und Assistant Professor an den Universitäten Yale und Cornell (USA) tätig, bevor er 2008 einem Ruf an die Goethe-Universität in Frankfurt am Main folgte. Stefan Klonners Forschungsschwerpunkte liegen auf Kreditmärkten, Gesundheit und Armutsreduzierung, insbesondere in den Ländern Südasiens. Zu diesen Themen war er als Referent bei internationalen Foren wie dem Global Development Network oder dem Indian Statistical Institute ebenso wie im Inland bei der Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) tätig.

Kontakt: klonner@uni-heidelberg.de

„Frauen sind oft zuverlässigere Kreditnehmer als Männer.“

LOANS FOR THE WEAK?

# FIGHTING POVERTY THROUGH MICROFINANCE

STEFAN KLONNER

Over the past 50 years, a new financial market segment has emerged in developing countries that now reaches over 200 million customers worldwide. Through microfinance, households affected by poverty that were previously excluded from the modern financial sector gain access to loans. In 2006 Muhammad Yunus, who founded the Grameen Bank of Bangladesh in 1983, was awarded the Nobel Peace Prize for his commitment to fighting poverty through microfinance.

Microfinance promises a double social dividend: accelerated economic growth through mobilisation of the entrepreneurial and productive potential of disadvantaged population segments; and a reduction of poverty and inequality. At the same time, microfinance has set out with the promise of being profitable. The microfinance movement has developed a number of innovative approaches to achieve these goals, most notably group lending with joint liability and, secondly, dynamic incentives where timely repayment is rewarded with larger future loans. Moreover, women have often been shown to be better borrowers than men.

Recent empirical research has tempered the initial enthusiasm: Microfinance has been shown to benefit mainly those who are already entrepreneurs, while long-term economic benefits are generally not found among wage earners and those who become entrepreneurs through microcredit. Moreover, microfinance has proven to be largely unsuitable for the poorest of the poor.

Our research has focused on traditional credit and savings groups in India, whose institutional design is seen as a model for some of the innovations of the microfinance movement. We have shown how such groups overcome problems that are notorious in non-formalised credit relationships. On the other hand, traditional credit groups fail to provide financial market intermediation on a larger scale. ●

PROF. DR STEFAN KLONNER has been Professor and Head of the Department of Development Economics at the South Asia Institute of Heidelberg University since 2010. Before taking up an appointment at Goethe University in Frankfurt am Main in 2008, he was a visiting scholar and assistant professor at Yale and Cornell universities in the United States. Stefan Klonner's research focuses on credit markets, health and poverty reduction, particularly in South Asian countries. He has been invited to speak on these topics at international forums such as the Global Development Network and the Indian Statistical Institute, as well as domestically at the Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) and the Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Contact: klonner@uni-heidelberg.de

**“It has been shown that microfinance is often not accessible for the poorest of the poor.”**

# „Es hat sich gezeigt, dass Mikrofinanzierung die Ärmsten der Armen häufig nicht erreicht.“

Fonds erhält. Traditionelle ROSCAs und das ursprüngliche Kreditmodell der Grameen-Bank und vieler anderer Mikrofinanzanbieter haben gemeinsam, dass alle Transaktionen innerhalb einer festen Gruppe stattfinden, die sich in festen zeitlichen Abständen trifft.

Unsere Forschung hat gezeigt, dass auch in ROSCAs wie beim Gruppenkredit Anreize für die Teilnehmer bestehen, Mitglieder mit möglichst geringem Rückzahlungsrisiko auszuwählen und unternehmerische Entscheidungen anderer, die für die Rückzahlung erheblich sind, zu überwachen. Ein Hauptunterschied zu Mikrokrediten ist hingegen, dass in einem ROSCA die Kreditmittel von der Gruppe selbst aufgebracht werden müssen, während Mikrokredite zumindest vorwiegend mit externen Mitteln finanziert sind. Dies hat zur Folge, dass die Konditionen bei Mikrokrediten deutlich standardisierter und zumindest für Außenstehende transparenter sind als in ROSCAs. In diesem Zusammenhang haben wir Kreditvergabepraktiken in indischen Kredit- und Spargruppen untersucht – hier geht es um die Reihenfolge der Fondsvergabe an die Mitglieder – und gezeigt, wie Zinszahlungen, die durch Auktionen festgesetzt werden, das Vergabeproblem lösen und wie im Bieten einerseits Wettbewerbsverhalten, andererseits aber auch Altruismus gegenüber anderen Gruppenzugehörigen, die zur gleichen Dorfgemeinschaft gehören, zum Ausdruck kommt.

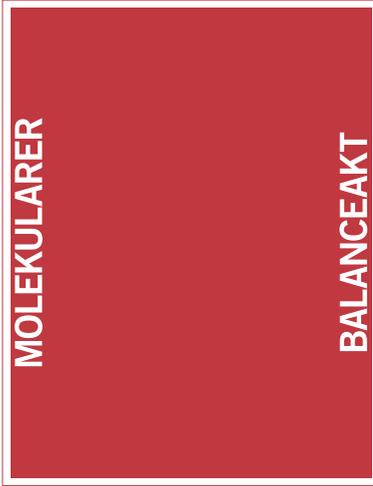
## **Konflikt zwischen sozialen und kommerziellen Prioritäten**

Die Mikrofinanzierungsbewegung kann bemerkenswerte Erfolge vorweisen: Sie hat gezeigt, dass es möglich ist, in von Armut betroffenen Gebieten verlässliche Finanzdienstleistungen anzubieten, tragfähige Geschäftsmodelle zu entwickeln und die wirtschaftliche Stellung von Frauen zu stärken, ohne dass große Subventionen erfor-

derlich sind. So hat die Mikrofinanzierung den wirtschaftlich „schwachen“ Mitgliedern der Gesellschaft in Entwicklungsländern Möglichkeiten eröffnet, Zugang zu Finanzdienstleistungen zu erhalten, die traditionell nur den wirtschaftlich „starken“ zur Verfügung standen. Die Mikrofinanzierung hat zudem nicht nur gezeigt, dass neue Arten von Finanzinstituten möglich sind, sondern sie hat auch Innovationen in anderen Bereichen wie Gesundheit, Bildung und Energie angeregt.

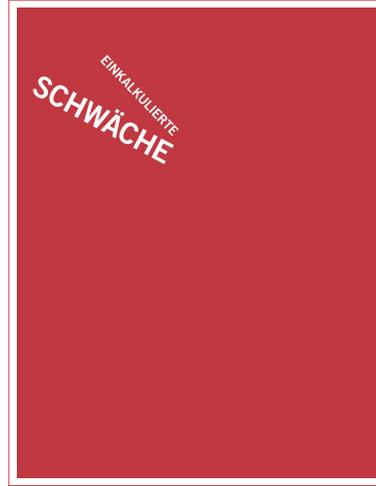
Dennoch war die Mikrofinanzierung von Anfang an umstritten, wobei die Konfliktlinien hauptsächlich zwischen sozialen und kommerziellen Prioritäten verlaufen. Quantitative Befunde aus jüngerer Zeit haben gezeigt, dass Mikrofinanzinstitutionen zwar weitgehend kostendeckend arbeiten, die Wirkungen auf Kleinunternehmertum und Lebensstandards hingegen bescheiden sind. Während die Mikrofinanzierung auf institutioneller Ebene somit ein klarer Erfolg ist, ist weniger klar, wie positive Auswirkungen auf die Kunden sichergestellt werden können.

In diesem Zusammenhang hat Jonathan Murdoch von der Columbia University, ein Forschungspionier auf diesem Gebiet, kürzlich zwei Anstöße zu einem Umdenken in der Mikrofinanzbranche geliefert: zum einen sollen Finanzprodukte besser den Bedürfnissen bestehender Kleinunternehmer entsprechen, bei denen sich bislang die deutlichsten Wirkungen von Kleinkrediten zeigen ließen; zum anderen soll Mikrofinanzierung künftig noch stärker in städtischen Räumen unter Nichtselbstständigen, die kein Interesse an unternehmerischen Investitionen haben, Verbreitung finden – so sollen innovative Finanzprodukte helfen, Herausforderungen wie unregelmäßiges Einkommen und unerwartete größere Ausgaben zu bewältigen und somit die wirtschaftliche Verwundbarkeit dieser Gruppen zu reduzieren. ●



SYNTHETISCHE BIOLOGIE  
**MOLEKULARER BALANCEAKT**  
SYNTHETISCHE BIOLOGIE SCHAFFT KÜNSTLICHES LEBEN  
KERSTIN GÖPFRICH

42



ZELL- UND ENTWICKLUNGSBIOLOGIE  
**EINKALKULIERTE SCHWÄCHE**  
ROBUSTE SYSTEME DES LEBENS  
ALEXIS MAIZEL

50



MOLEKULARE BIOMECHANIK  
**SOLLBRUCHSTELLEN**  
PROTEINE AUF DER STRECKBANK  
FRAUKE GRÄTER

58



EXPERIMENTELLE KARDIOLOGIE  
**SCHWACHE HERZEN – STARKE HERZEN**  
DER KRANKHEIT AUF DEN GRUND GEHEN  
JOHANNES BACKS

66

# KAPITEL



**MOLEKULARER**

**BALANCEAKT**

MOLEKULARER BALANCEAKT

# SYNTHETISCHE BIOLOGIE SCHAFFT KÜNSTLICHES LEBEN

KERSTIN GÖPFRICH

**Der Stärkere gewinnt. Seit es Leben auf der Erde gibt, entscheidet das Prinzip der Selektion über den Fortbestand von Individuen und Populationen. Auf molekularer Ebene aber ist es die Balance von stark und schwach, die Leben ermöglicht.**



Zelluläres Leben entsteht durch das komplexe Zusammenspiel Tausender molekularer Bestandteile. Sind die Interaktionen zu stark, ist Dynamik kaum möglich. Zu schwache Interaktionen wiederum sind fehleranfällig – das Leben würde im Rauschen untergehen. Ein Beispiel für das subtile Zusammenspiel von stark und schwach findet sich selbst im genetischen Code. Das genetische Alphabet besteht aus den Basen Adenin (A), Thymin (T), Guanin (G) und Cytosin (C), es handelt sich dabei aber keineswegs um gleichwertige Interaktionspartner: Wo vorwiegend schwache Bindungspartner (A-T) die Doppelhelix der DNA zusammenhalten, lässt sich das Erbmolekül gut öffnen, vervielfältigen oder ablesen; starke Bindungen (G-C) hingegen erhöhen die Stabilität und erschweren das Öffnen. Wer sich als Forscher oder Forscherin zum Ziel gesetzt hat, Leben künstlich nachzubauen, steht vor der Aufgabe, das komplexe Spiel von stark und schwach mit einzubeziehen. Der gelungene Balanceakt ist es, der Leben ausmacht – und genau das ist eine der größten Herausforderungen der „Synthetischen Biologie“, ein aktuelles, sehr dynamisches Forschungsfeld.

Die synthetische Biologie will zelluläres Leben künstlich herstellen und Zellen mit gewünschten Eigenschaften

erschaffen. In unserer Arbeitsgruppe am Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg (ZMBH) interessieren wir uns besonders für die Konstruktionsprinzipien von Leben und den Bau einer künstlichen Zelle aus unseren eigens entworfenen molekularen Bestandteilen. Das einzigartige Heidelberger Umfeld ermöglicht uns den Schritt in die Anwendung hin zu künstlich geschaffenen Zellen, die therapeutisch eingesetzt werden könnten, etwa um die Immunantwort des Organismus zu verbessern. Ein Exempel sind synthetische Zellen mit der Fähigkeit, lang anhaltende schützende Immunantworten gegen Krankheitserreger oder Krebs auszulösen.

## Das Machbarkeitsproblem

Zur Konstruktion künstlicher Zellen haben sich in der synthetischen Biologie zwischenzeitlich zwei Prinzipien etabliert, der sogenannte Top-down- und der Bottom-up-Ansatz. Beim Top-down-Ansatz werden bereits existierende Zellen verändert, beispielsweise durch genetische Manipulationen, um Zellen mit neuen gewünschten Eigenschaften zu erzeugen. Der Bottom-up-Ansatz, den wir in Heidelberg verfolgen, zielt darauf, eine Zelle mit vorab definierten Eigenschaften von Grund auf aus ihren molekularen Bauteilen aufzubauen.

Die Komplexität des Lebens und sein Charakteristikum, neue Eigenschaften durch das Zusammenspiel seiner unzählig vielen Elemente ausbilden zu können, lässt durchaus Zweifel an der praktischen Machbarkeit eines synthetischen Zellaufbaus nach dem Bottom-up-Ansatz aufkommen. Tatsächlich steht der Machbarkeitsbeweis für den künstlichen Nachbau einer Zelle aus ihren molekularen Bestandteilen bislang aus. Noch immer gilt Rudolf Virchows berühmter Satz „omnis cellula

„omnis cellula e cellula“ – jede Zelle kann immer nur aus einer Zelle hervorgehen. Damit hat Virchow die Zelle Mitte des 19. Jahrhunderts als kleinste Einheit des Lebens und als kleinste Einheit der Vermehrung festgeschrieben. Die Entstehung des Lebens in der „Ursuppe“ jedoch liefert zumindest schon einmal in der Vergangenheit ein erfolgreiches Beispiel für den Übergang von unbelebter zu belebter Materie. Hinzu kommt: Ähnlich wie Virchow argumentierte man im 19. Jahrhundert auch in der Chemie. Organische Moleküle, lautete die damalige Auffassung, können nur von lebenden Organismen und nicht synthetisch in einem Reagenzglas hergestellt werden. Das war falsch, wie wir heute wissen: Der Chemiker Friedrich Wöhler synthetisierte im Jahr 1828 erstmals Harnstoff im Labor und widerlegte damit die bis dato gültige Lehre von der Lebenskraft, der „vis vitalis“. Das lässt uns hoffen, auch Zellen im Labor nachbauen zu können.

Man könnte dazu beispielsweise so vorgehen: Man zerlegt eine Zelle in ihre Einzelteile – unterschiedlichste Arten von Fetten (Lipiden), Zuckern, Proteinen und Nucleinsäuren –, identifiziert die funktional wichtigsten

# „Die Evolution ständig die von zelluläre mit teils über Lösungen

## Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg

Das 1983 gegründete Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg (ZMBH) ist eine zentrale wissenschaftliche Einrichtung der Universität für die molekularbiologische Grundlagenforschung und Ausbildung. Die Forschung zielt auf grundlegende Fragen der molekularen und zellulären Biologie auf der Ebene von Molekülen, Zellen und Organismen. Aktuell arbeiten am ZMBH 13 Forschungsgruppen mit rund 190 internationalen Mitarbeiter:innen. Zu den Forschungserfolgen gehören beispielsweise die Entwicklung eines Impfstoffes gegen Hepatitis B, die Konstruktion des am häufigsten gebrauchten Regulationssystems für Gene in Eukaryoten (das „Tet-System“), die Entdeckung des A $\beta$ -Peptids als Verursacher der Alzheimer-Krankheit sowie die Etablierung von Grundlagen der Regulation und Evolution von Genen und von Prinzipien der Organisation und Reparatur von Zellen und Proteinen. Insbesondere über das ZMBH baut die Universität Heidelberg im Forschungsnetzwerk „Biologie auf der Nanoskala“ ihre Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in der biowissenschaftlichen und biomedizinischen Grundlagenforschung aus.

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

# n verbessert Funktion n Systemen rraschenden gen.“

Bauteile und fügt maßgeschneiderte Komponenten neu zusammen. Auf diese Weise lassen sich tatsächlich Strukturen mit lebensähnlichen Eigenschaften nachbauen, etwa Lipidvesikel, Fettkügelchen, die sich fortbewegen oder teilen können. Die Integration funktionell unterschiedlicher Einheiten aber gestaltet sich komplex: Eine lebende Zelle ist mehr als die Summe ihrer Teile.

Dieses Wissen lässt daran zweifeln, ob die heutige Zelle – ein Produkt der Evolution mit hoch entwickelter komplexer Maschinerie – das richtige Vorbild für das Erschaffen synthetischer Zellen ist. Die bloße Rekombination einer vorhandenen molekularen Hardware wird möglicherweise nie zu einer funktionierenden synthetischen Zelle führen. Als das Leben auf der Erde entstanden ist, muss es jedoch einfachere Molekülbaukästen gegeben haben, die grundlegende Eigenschaften des Lebens wie Selbstregeneration und

## 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“ (3DMM2O), 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 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 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.3dmm2o.de](http://www.3dmm2o.de)

Weiterentwicklung ermöglichen. Wir verfolgen deshalb in unserer Arbeitsgruppe einen ganzheitlichen „System-Engineering-Ansatz“ und verlagern den Schwerpunkt der Betrachtung von der vorhandenen molekularen Hardware auf die Funktionalität der Systemebene. Denn zelluläres Leben wird durch seine Funktionen charakterisiert, nicht durch die chemische Zusammensetzung und Beschaffenheit eines molekularen Baukastens. Daraus leiten wir ab, zumindest einen Teil der molekularen Hardware von Grund auf neu entwickeln zu können.

### Neue Werkzeuge

Die idealen Werkzeuge für solche grundlegenden Neuentwicklungen entstammen der Nanotechnologie und heißen „DNA-“ oder „RNA-Origami“. Wie Papier-Origami werden

#### Max Planck School Matter to Life

Was genau ist Leben aus physikalisch-chemischer Sicht? Können lebensähnliche Prozesse, Funktionen und Objekte im Labor simuliert werden? Wie können aus Molekülen und Materialien lebensähnliche Systeme gebaut werden, die in ihren Funktionen Zellen, Zellnetzwerken und Organismen ähneln? Diesen grundlegenden Fragen widmet sich die Max Planck School Matter to Life, ein gemeinsames Forschungs- und Ausbildungsnetzwerk universitärer und außer-universitärer Partner, in dem es darum geht, die Bausteine lebender Systeme zu verstehen, um mit Ansätzen aus der Physik, der Chemie, den Ingenieur- und den Lebenswissenschaften langfristig neue lebensähnliche Prozesse und Systeme zu entwickeln und zu konstruieren. Dem Netzwerk gehören die Universitäten Heidelberg und Göttingen als Lehruniversitäten sowie mehrere Max-Planck-Institute, darunter das Heidelberger MPI für medizinische Forschung, an, zudem weitere Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen wie das Deutsche Krebsforschungszentrum Heidelberg.

Das forschungsnahe Ausbildungsprogramm steht Bachelor-Absolvent:innen aus den Fachbereichen Chemie, Physik, Biologie, Biochemie, Biotechnologie und Materialwissenschaften offen, die bereits im Laufe des Studiums eigenständige Forschungsprojekte verfolgen können. Nach erfolgreich abgeschlossener Masterarbeit können sie ihre Labortätigkeit während eines Doktorandenstudiums fortsetzen. Zum Curriculum gehören auch Lehrveranstaltungen zum Thema „Ethik in der Synthetischen Biologie“, von denen auch die Fellows der Max Planck School profitieren.

<https://mattertolife.maxplanckschools.org>

dazu die kettenförmigen Nukleinsäuren DNA oder RNA, die der Zelle als Informationsspeicher und Informationsübermittler dienen, im Nanomaßstab zu zwei- und dreidimensionalen Strukturen umgeformt. Die dafür erforderlichen Faltungen lassen sich mit Computerhilfe vorhersagen, so dass ein computergestütztes Design molekularer Nanostrukturen machbar ist. Die DNA- und RNA-Sequenzinformation lässt sich damit direkt in Funktion übersetzen und sodann in Lipidvesikeln testen, die uns als nachgebauete Zellhüllen dienen. Wir vereinen bei unserer Arbeit also zwei Forschungsgebiete, die synthetische Biologie und die DNA/RNA-Nanotechnologie. Beide Disziplinen haben ursprünglich unterschiedliche Ziele verfolgt, was beide eint, ist die rational technische Denkweise und das gemeinsame Grundverständnis, dass präzise Funktionen präzise Komponenten benötigen.

Unser Ziel ist die zusätzliche Integration eines äußerst leistungsfähigen Merkmals des Lebens in den Designprozess: der Fähigkeit zur Evolution. Denn nur die Evolution ist instande, vielfältige, oft überraschende Lösungen hervorzubringen, die wir schon allein deshalb nicht als gleichwertige Lösungsvorschläge ausarbeiten und einbringen können, weil viele biologische Struktur-Funktion-Zusammenhänge noch im Verborgenen liegen. Dieses Vorgehen stellt einen Paradigmenwechsel in der synthetischen Bottom-up-Biologie wie in der DNA/RNA-Nanotechnologie dar. Die Evolution verbessert ständig die Funktion von zellulären Systemen mit teils überraschenden Lösungen. Stück für Stück könnte so unsere Version einer „RNA-Welt“ entstehen, wie sie vor Urzeiten beim Entstehen des Lebens auf der Erde Relevanz hatte.

#### Eine der spannendsten Fragen unserer Zeit

Wenn es uns gelänge, eine gerichtete Evolution synthetischer Zellen beispielsweise für Fertigungsprozesse zu nutzen, könnten synthetische Zellen die industrielle Produktion revolutionieren: Materialien mit der Fähigkeit, sich selbst zu regenerieren, sich selbst an veränderte Bedingungen anzupassen und eigenständig weiterzuentwickeln, würden die lebende und die nicht lebende Welt miteinander verbinden. Im medizinischen Bereich ließen sich mit DNA/RNA-Origami-Strukturen beispielsweise die Kräfte, die zwischen Zellen wirken, genau kontrollieren und Immunzellen so positionieren, dass sie eine besonders gezielte und effektive Abwehrreaktion auslösen, etwa gegen Krebszellen oder Krankheitserreger. Ein solch innovativer Ansatz erfordert den engen Austausch zwischen den Fachgebieten Immunologie und molekulares Engineering. In Heidelberg haben wir die Zukunftspotenziale dieses Austausches frühzeitig erkannt und uns im Spotlight-Projekt „Synthetische Immunologie“ zusammengefunden, das die Bottom-up-synthetische Biologie eng mit der Immunologie und dem molekularen Engineering verknüpft.



**PROF. DR. KERSTIN GÖPFRICH** ist seit November 2022 Professorin am Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg (ZMBH) und leitet seit 2019 die Max-Planck-Forschungsgruppe „Biophysical Engineering of Life“ am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung. Sie ist Principal Investigator im gemeinsam von der Universität Heidelberg und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) getragenen Exzellenzcluster „3D Matter Made to Order“ sowie Fellow der Max Planck School „Matter to Life“. Kerstin Göpfrich, deren Forschung sich auf die Konstruktion synthetischer Zellen aus maßgeschneiderten Komponenten konzentriert, wurde unter anderem mit einem Marie-Sklodowska-Curie-Stipendium, einem Gates Cambridge Fellowship, dem Women Interactive Materials Award und dem Hector Research Career Development Award ausgezeichnet. Ihre Forschung zum Bau molekularer Hardware für synthetische Zellen wird mit einem Starting Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) in Höhe von 1,7 Millionen Euro gefördert.

Kontakt: [k.goeprich@zmbh.uni-heidelberg.de](mailto:k.goeprich@zmbh.uni-heidelberg.de)

MOLECULAR BALANCING ACT

# SYNTHETIC BIOLOGY CREATES ARTIFICIAL LIFE

KERSTIN GÖPFRICH

Survival of the fittest: for as long as life has existed on earth, natural selection has determined the survival of individuals and populations. At the molecular level, however, it is the balance between weakness and strength that makes life possible. Cellular life arises from the complex interactions of thousands of molecular components. If the interactions are too strong, they may impede the necessary dynamics. Interactions that are too weak, in turn, are prone to error – life would be lost in the noise. Researchers attempting to engineer cellular life are faced with the complex task of striking a balance between strong and weak. Life is a balancing act – and this balancing act is one of the greatest challenges of “synthetic biology”, a new and highly dynamic field of research.

Synthetic biology aims to engineer cellular life and to create cells with certain desired properties. In our research group at the Center for Molecular Biology of Heidelberg University (ZMBH), we are particularly interested in the design principles of life; our goal is to construct a synthetic cell from our own fully engineered molecular components. The unique Heidelberg environment enables us to move towards the application of synthetic cells for new therapies. Examples include cells that boost an organism’s immune system by triggering long-lasting protective immune responses against pathogens or cancer. ●

PROF. DR KERSTIN GÖPFRICH has held a professorship at the Center for Molecular Biology of Heidelberg University (ZMBH) since November 2022 and headed the Max Planck Research Group “Biophysical Engineering of Life” at the Max Planck Institute for Medical Research since 2019. She is a Principal Investigator in the Cluster of Excellence “3D Matter Made to Order”, which is operated jointly by Heidelberg University and the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), and a Fellow of the Max Planck School “Matter to Life”. Kerstin Göpfrich, whose research focuses on constructing synthetic cells using customised components, is the recipient of numerous awards and fellowships, among them a Marie Skłodowska Curie Fellowship, a Gates Cambridge Fellowship, the Women Interactive Materials Award and the Hector Research Career Development Award. Her research on the construction of molecular hardware for synthetic cells is supported by a Starting Grant of the European Research Council (ERC) to the tune of 1.7 million euros.

Contact: k.goeprich@zmbh.uni-heidelberg.de

**“Researchers attempting to engineer cellular life are faced with the complex task of striking a balance between strong and weak.”**

# „Wer sich als Forscher oder Forscherin zum Ziel gesetzt hat, Leben künstlich nachzubauen, steht vor der Aufgabe, das komplexe Spiel von stark und schwach mit einzubeziehen.“

## Spotlight-Projekt „Synthetic Immunology“

Die Immunreaktion auf Infektionen oder Krebs hängt stark von individuellen genetischen und umweltbedingten Faktoren ab, was zu sehr unterschiedlichen Krankheitsverläufen und Reaktionen auf Impfungen oder Immuntherapien führt, wie die Corona-Pandemie vor Augen geführt hat. Das aufstrebende Forschungsgebiet der Synthetischen Immunologie widmet sich dem Verständnis und der Manipulation des Immunsystems auf zellulärer und molekularer Ebene und verwendet dabei modernste Methoden der molekularen Systemtechnik, der Materialwissenschaften, der Biomedizin und der mathematischen Modellierung. Die Universität Heidelberg fördert im Rahmen der Flagship-Initiative „Engineering Molecular Systems“ als Teil ihrer Exzellenzstrategie das Spotlight-Projekt „Synthetic Immunology“, das neue diagnostische Werkzeuge und Therapien entwickeln will. Das Projekt verbindet die Grundlagenforschung zu Immunzellreaktionen und deren Modulation mit technisch hergestellten kleinen Molekülen, (makro-)molekularen Systemen und synthetischen Matrizen. Dabei arbeiten Heidelberger Wissenschaftler:innen aus verschiedenen Bereichen des Molecular Systems Engineerings an der Universität, am Max-Planck-Institut für medizinische Forschung und am Deutschen Krebsforschungszentrum zusammen.

Ob der Übergang zwischen Materie und Leben im Labor jemals gelingen wird, ist eine der spannendsten Fragen unserer Zeit. Das Interesse daran wird zunächst von rein wissenschaftlicher Neugier angetrieben, das Endprodukt „synthetische Zelle“ ist jedoch auch von größter gesellschaftlicher Relevanz. Wir fragen deshalb schon heute im intensiven interdisziplinären Austausch und im Dialog mit Ethikern und der Öffentlichkeit, wie synthetische Zellen in Zukunft eingesetzt werden könnten und sollten. Wer zelluläres Leben künstlich erschaffen will, dem hilft die Einsicht, dass das Beachten der Eigenschaften stark und schwach dafür ein guter Leitfaden sein kann – denn Leben erfordert beides, die Stärke und die Schwäche. ●

EINKALKULIERTE

**SCHWÄCHE**

EINKALKULIERTE SCHWÄCHE

# ROBUSTE SYSTEME DES LEBENS

ALEXIS MAIZEL

**Der Begriff „Resilienz“ ist derzeit in aller Munde. Nah mit ihm verwandt und doch unterschiedlich ist der Begriff „Robustheit“. Betrachtet man, was biologische Systeme robust reagieren lässt, wird deutlich: Nicht die Perfektion ist es, die Systeme des Lebens stark macht, sondern die Annäherung daran.**

# A

Angesichts vieler Unwägbarkeiten und rascher Veränderungen ist der Wunsch nach Strukturen, die trotz zahlreicher unterschiedlicher Bedingungen und Störgrößen ununterbrochen gut arbeiten, zu einem aktuell viel beschworenen Mantra geworden. Das Schaffen von mehr „Robustheit“ soll sicherstellen, dass unsere moderne Gesellschaft trotz vielfältiger Einflüsse weiterhin problemlos funktioniert. Die Bedeutung dieses Anspruchs für unser aller Leben ist groß, und es ist interessant zu hinterfragen, was in der Biologie unter Robustheit verstanden wird.

### Von Störungen unbeeindruckt

Robustheit im biologischen Sinne meint: Das charakteristische Verhalten eines Systems bleibt unbeeindruckt von Störungen über lange Frist unverändert erhalten. Die Beständigkeit unterscheidet die Robust-

heit von der Resilienz, der Fähigkeit eines Systems, sich vorübergehend anzupassen und wieder in sein Gleichgewicht zu finden, wenn das störende Ereignis endet. Während ein robustes System also unter einer Reihe verschiedener Bedingungen unverändert „normal“ weiter arbeitet, legt ein resilientes System unter einer bestimmten Bedingung ein bestimmtes Verhalten an den Tag und kehrt in seinen ursprünglichen Zustand zurück, sobald die ursprüngliche Bedingung wieder gegeben ist.

Will man die Robustheit biologischer Systeme besser verstehen, genügt es nicht, deren Eigenschaften unter der Überschrift „Was ist robust?“ zu untersuchen. Ebenso gilt es, die Störgrößen zu analysieren und zu fragen: „Robust gegen was?“ Auf diese Weise lassen sich die strukturellen und dynamischen Charakteristika einzelner Moleküle, Gewebe, Organe und Individuen bis hin zu komplexen Ökosystemen mit samt den zumeist sehr unterschiedlichen Störungen betrachten. Eine Störung kann beispielsweise genetischen Ursprungs sein (Mutationen), sie kann das Ergebnis zufälliger Ereignisse oder eines Traumas sein, etwa die endogene Bedrohung des Organismus durch Krebs oder eine exogene Gefährdung durch Krankheitserreger oder Umweltveränderungen.

### Robuste Charakteristika

Bei allen robusten Systemen – seien sie nun biologisch oder nicht – handelt es sich in der Regel um komplexe Systeme: Viele eng miteinander verbundene und sich gegenseitig beeinflussende Akteure bilden eine Gemeinschaft, ein Netzwerk. Gleich mehrere Schlüsselkomponenten, die solche komplexen Systeme auszeichnen, zählen auch zu den wichtigsten Zutaten für Robustheit.

Ein erstes Schlüsselmerkmal ist das Vorhandensein von Rückkopplungsmechanismen: Eine von einigen Mitgliedern des Netzwerks – Zellen, Geweben, Organen oder Individuen – erzeugte Aktion evoziert eine Reaktion, die den Akteur selbst wieder beeinflusst. Die Rückkopplung kann negativ sein, dann dämpft die Reaktion den ursprünglichen Akteur – das ermöglicht typischerweise eine robuste Anpassung. Die Rückkopplung kann auch positiv sein. In diesem Fall wird der ursprüngliche Akteur durch die von ihm ausgelöste Reaktion bestärkt. Das führt typischerweise zu einem schalterartigen Verhalten – einer plötzlichen und drastischen Änderung des Systems.

Ein zweites Schlüsselmerkmal sind ausfallsichere Mechanismen, gewährleistet

**„Das Merkmal  
„Suboptimalität“  
könnte Robustheit  
in besonderer  
Weise begünstigen.“**

durch Redundanz: Gibt es mehrere Möglichkeiten, eine bestimmte Funktion zu erreichen, kann der Ausfall einer dieser Möglichkeiten von anderen aufgefangen werden. Das erhöht die Robustheit. Ein drittes, sehr interessantes Charakteristikum biologischer Robustheit mag auf den ersten Blick überraschen: das Verwenden suboptimaler Verfahren. Ein aktuelles Beispiel aus der Pflanzenwelt und ihrem Umgang mit Licht soll dieses Merkmal veranschaulichen: Das Leben auf unserem Planeten hängt weitgehend von der Fähigkeit der Pflanzen ab, Licht zu absorbieren und es via Photosynthese in Stoffwechselprodukte und Energiequellen umzuwandeln. Forscherinnen und Forscher haben unlängst die Arbeitsweise der molekularen Maschinerie modelliert, die in Pflanzen für die Absorption von Licht verantwortlich ist. Dabei haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine frappierende Entdeckung gemacht: Die für die Lichtabsorption notwendigen Pigmente reagieren unerwarteterweise nicht dort am empfindlichsten, wo sie die meiste Energie einfangen könnten – nicht die Maximierung der Effizienz wurde von der Evolution als robusteste Lösung für die Absorption von Licht gewählt, sondern die Minimierung des Rauschens, einer der größten Störquellen auf Übertragungswegen.

Weitere Merkmale robuster Systeme sind „Modularität“ und „Entkopplung“. Module sind halbautonome Einheiten, die dichte interne funktionelle Verbindungen und lockere Verbindungen zu ihrer Umgebung aufweisen. Die Zelle beispielsweise ist das Modul, das unseren Körper ausmacht. Je modularer ein System aufgebaut ist, desto besser kann es Störungen und Schäden lokal eindämmen und die Auswirkungen auf das Gesamtsystem verringern. Diesem Zweck dient auch die Entkopplung: Robuste biologische Systeme sind in der Lage, Veränderungen, die sich auf einer niedrigen Ebene ereignet haben, von Funktionen höherer Ebene abzutrennen.

Ein Beispiel auf niedriger molekularer Ebene ist die Arbeitsweise der „Chaperone“: Chaperone sind Proteine, die anderen Proteinen dabei helfen, sich in korrekter Weise zu einer dreidimensionalen Struktur

zu falten, in der sie ihre Aufgabe im Organismus erfüllen können. Unter Bedingungen, die für die Proteinfaltung ungünstig sind, gehen Chaperone zunehmend dazu über, Proteine zu korrigieren, die aufgrund der Umweltbelastungen falsch gefaltet worden sind. Die Chaperone entkoppeln also eine auf niedriger Ebene stattgefundenene genetische Veränderung – eine Mutation infolge der Umweltbelastung – von den höheren Ebenen der Merkmalsausprägung und des Erscheinungsbilds (Phänotyp) eines Organismus. Sie schaffen damit einen Puffer, der vor den Auswirkungen der Umweltbelastung auf das Gesamtsystem schützt.

#### Spezielle Netzwerkarchitektur

Eine wichtige Frage gilt dem Ursprung biologischer Robustheit: Wurde sie von der Evolution entwickelt und ausgewählt? Die Antwort ist: „wahrscheinlich ja“. Denn die beschriebenen Mechanismen, die Organismen Robustheit verleihen, erleichtern die Evolution; umgekehrt begünstigt die Evolution robuste Eigenschaften, zumal die Voraussetzungen für Robustheit und Evolvierbarkeit – die Fähigkeit von Organismen, durch Veränderungen ihrer Gene eine Veränderung ihrer Merkmale herbeizuführen – ähnlich sind. Dafür spricht auch, dass die Komponenten robuster Systeme in einer speziellen Netzwerkarchitektur organisiert sind: Hoch konservierte Kernprozesse – Lebensprozesse, die im Lauf der Evolution weitgehend unverändert erhalten geblieben sind und sich über lange Zeit und über verschiedene Umweltbedingungen hinweg gleichsam bewährt haben – wirken eng mit äußeren Prozessen zusammen. Eine derartige Netzwerkarchitektur wird in der Informatik „Fliege“ genannt, weil in einen zentralen Kern viele Eingaben eingespeist werden können, um viele verschiedene Ausgaben zu erzeugen.

In diesem Zusammenhang ist auch noch nach den „Kosten“ für robuste biologische Systeme zu fragen. Ist der stetige Aufbau immer größerer Komplexität eine Methode der Evolution, um den Grad der Robustheit biologischer Systeme zu erhöhen? Für diese Vermutung finden sich durchaus gute Argumente: Eine robuste regulatorische Kontrolle etwa kann spontan entstehen,



**PROF. DR. ALEXIS MAIZEL** ist seit 2015 Professor für Biologie an der Universität Heidelberg und leitet die Abteilung „Zell- und Entwicklungsbiologie“ am Centre for Organismal Studies (COS). Nach seinem Studium der Mathematik, Physik und Biologie in Frankreich wurde er 2002 an der École normale supérieure und der Université René Descartes in Paris promoviert. Anschließend führten ihn Forschungsaufenthalte an das Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen sowie an das Salk Institute for Biological Studies und das Cold Spring Harbor Laboratory in den USA, bevor er 2006 nach Frankreich zurückkehrte, um am CNRS Plant Sciences Institute zu forschen. 2010 wechselte Alexis Maizel als Nachwuchsgruppenleiter im Exzellenzcluster „CellNetworks“ an die Universität Heidelberg.

Kontakt: alexis.maizel@cos.uni-heidelberg.de

**„Es ist unmöglich, die allgemeine Systemrobustheit zu erhöhen, ohne Anfälligkeiten, Leistungseinbußen und einen höheren Ressourcenbedarf in Kauf nehmen zu müssen.“**

wenn die regulatorische Komplexität zunimmt. Auch das Ablesen der Gene und das Übersetzen der genetischen Information in Proteine – die „Genexpression“ – wird robuster, wenn die Anzahl regulatorischer Verbindungen in einem Netzwerk zufällig erhöht wird. Unmöglich indes ist es, die allgemeine Systemrobustheit zu erhöhen, ohne Anfälligkeiten, Leistungseinbußen und einen höheren Ressourcenbedarf in Kauf nehmen zu müssen. In der Tat erweisen sich Systeme, die sich sehr robust gegenüber allgemeinen Störungen verhalten, bei bestimmten seltenen Störungen als extrem anfällig. Mit anderen Worten: Einige der Zutaten, die unerlässlich für das Erreichen von Robustheit sind – negative Rückkopplungsschleifen, Redundanzen, modularer Aufbau – können der optimalen Leistung eines Systems im Wege stehen. Die Merkmale erhöhen zwar die Robustheit des Systems, beeinträchtigen aber seine Präzision oder erhöhen den Ressourcenverbrauch.

#### **In sich verschachtelte Netzwerke**

Eine letzte Frage gilt der Vielfalt von Lebensgemeinschaften und inwiefern diese dazu beitragen kann, robuste biologische Systeme zu schaffen. Betrachten wir biologische Systeme einmal als in sich verschachtelte Netzwerke: Zellen bestehen aus einem dichten Netz interagierender Moleküle, Gewebe bestehen aus einem Netz miteinander wechselwirkender Zellen, Organismen bestehen aus einem Netz von Geweben und Organen und Lebensgemeinschaften aus Netzwerken von Organismen. Diese Sicht macht es wahrscheinlich, dass die Anzahl und Vielfalt der Verbindungsknoten sowie der Grad der Verbindungen zwischen diesen Knoten das Entstehen von Robustheit begünstigen.

Die Vielfalt sorgt für unterschiedliche Reaktionen auf unterschiedliche Herausforderungen und versetzt das System in die Lage, trotz wechselnder Bedingungen unverändert gut zu funktionieren. Betrachten wir auch hier zunächst ein Beispiel auf niedriger Ebene der Moleküle: Genetische Veränderungen erlauben es einzelnen Bakterien in einer Bakterienpopulation, einer Antibiotikabehandlung zu widerstehen – das kann die komplette Population nach

WEAKNESS AS AN INTRINSIC FEATURE

# ROBUST SYSTEMS OF LIFE

ALEXIS MAIZEL

The need to establish robust structures and procedures that can function in a wide range of conditions has become a mantra, fuelled by the rapid evolution of our living conditions and growing uncertainty. The article describes how this notion of robustness is understood, studied and used in the field of biology. The qualities that make a robust biological system, i.e. one that is able to adapt to various conditions while still maintaining its function, are those of complex adaptive systems; they arise from how individual actors (molecules, cells, organs, individuals) connect to form networks. In addition to detailing these key qualities, the article discusses the benefits of diversity versus homogeneity in building robust communities. ●

**“Fail-safe mechanisms  
based on  
redundancies are  
a key feature  
of robust systems.”**

PROF. DR ALEXIS MAIZEL became Professor of Biology at Heidelberg University in 2015 and heads the Research Unit “Cell and Developmental Biology” at the Centre for Organismal Studies (COS). He studied mathematics, physics and biology in France and earned his doctorate in 2002 from the École normale supérieure and the Université René Descartes in Paris. He subsequently held research positions at the Max Planck Institute for Developmental Biology in Tübingen and at the Salk Institute for Biological Studies and the Cold Spring Harbor Laboratory in the United States; in 2006 he returned to France to join the CNRS Plant Sciences Institute. In 2010 Alexis Maizel accepted a position as head of a junior research group at Heidelberg University’s Cluster of Excellence “CellNetworks”.

Contact: alexis.maizel@cos.uni-heidelberg.de

**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](http://www.cos.uni-heidelberg.de)

# „Ein Schlüsselmerkmal robuster Systeme sind ausfallsichere Mechanismen, gewährleistet durch Redundanz.“

Beenden der Antibiotikatherapie wiederbeleben. Auf höherer Ebene der Organismen ist beispielsweise zu beobachten, dass Tiere in Zeiten unvorhersehbarer oder sich stark verändernder Umweltbedingungen Nachkommen unterschiedlichen Geno- und Phänotyps produzieren. Das erhöht die Chance, dass sich zumindest einige Nachkommen als geeignet für die veränderte Umgebung erweisen werden. Auf noch höherer Ebene der Ökosysteme zeigt sich, dass bedrohliche invasive Arten von Lebensgemeinschaften umso besser abgewehrt werden können, je vielfältiger deren Zusammensetzung ist und je größer die Populationen sind.

**Nur nahezu optimal**

Im Laufe meiner Forschungsarbeiten zu den Charakteristika robuster biologischer Systeme habe ich mich mehr und mehr dem Gedanken zugeneigt, dass Suboptimalität die Robustheit in besonderer Weise begünstigen könnte. Suboptimalität ist ein

Zustand, in dem Zufälligkeit, Unterschiedlichkeit, Langsamkeit, Redundanz und weitere Ineffizienzen die Robustheit langfristig auf individueller ebenso wie auf Gemeinschaftsebene fördern können. Darwins Evolutionstheorie basiert bekanntlich auf Heterogenität, also auf den Unterschieden, die zwischen Individuen bestehen. Die natürliche Selektion, das Überleben der am besten an eine bestimmte Umwelt angepassten Individuen, impliziert, dass nicht alle Individuen gleichermaßen gut an ihre Umgebung angepasst sind.

Zum Teil beruht Suboptimalität darauf, dass sich in Populationen auf genetischer Ebene zufällige Veränderungen ereignen. Diese Mutationen verhindern Homogenität und stellen das Substrat der natürlichen Selektion dar. Ihren Höhepunkt erreicht die kollektive Robustheit, wenn ein gewisser Grad an Heterogenität erreicht ist: Weder zu homogene Populationen – beispielsweise genetisch identische Klone – noch zu hete-

rogene Populationen sind optimal. Ein Beispiel ist die Genese pflanzlicher Organe, etwa der Blüten. Hier hat sich mittlerweile gezeigt, dass das kollektive Verhalten von Zellen bei der Bildung pflanzlicher Organe nicht allein die bloße Folge stereotyp ablaufender Entwicklungsprozesse ist. Sie ist auch das Ergebnis stochastischer Fluktuationen, zufällig stattfindender Veränderungen, welche die Variabilität und die Vielfalt des zellulären Verhaltens und damit die Robustheit erhöhen. ●



SOLLBRUCHSTELLEN

# PROTEINE AUF DER STRECKBANK

FRAUKE GRÄTER

Die molekulare Biomechanik untersucht, wie mechanische Signale in biochemische Prozesse übersetzt werden. Dabei hat sich überraschenderweise gezeigt, dass Kollagen – das überaus reißfeste Protein, aus dem etwa unsere Achillessehne besteht – eingebaute chemische Bruchstellen aufweist, die das Material nicht etwa schwächen, sondern stärken.

# W

Wenn eine Achillessehne reißt, dann knallt es hörbar. Das zeigt eindrücklich, welche Kräfte wirken müssen, um die dickste und stärkste Sehne des menschlichen Körpers in zwei Teile zu trennen. Was aber macht die Sehne so stark? Und wann wird sie schwach?

Sehnen, Knorpel und Bänder bestehen hauptsächlich aus Kollagen, dem am häufigsten in unserem Körper vorkommenden Protein. Kollagen hält so ziemlich alles im Organismus zusammen, auch Knochen, Haut und Blutgefäße. Und es ist permanent großen Kräften ausgesetzt: Wenn wir rennen, springen oder umknicken, ist es Kollagen, das die Kräfte aushält, abfedert und weiterleitet. Oder eben an seine Belastungsgrenzen kommt.

### Schwächen in starken Systemen

Ihren Namen trägt die Achillessehne nach Achilles, den seine Mutter Thetis der griechischen Sage nach als Säugling in die Wasser des Unterweltflusses Styx tauchte, um ihn unverwundbar zu machen. Nur eine Stelle seines Körpers blieb ungeschützt – die Ferse, an der Thetis ihren Sohn festhielt. Ein giftiger Pfeil, der in die Ferse trifft, wird Achilles später das Leben kosten. Heute steht die „Achillesferse“ symbolisch für die Schwäche in einem ansonsten starken System. Biomechanisch stellt sich die Frage, was das so starke Kollagen der Sehne letztendlich verwundbar macht. Das ist eine Frage für meine Forschungsgruppe, denn wir untersuchen, wie Proteine konstruiert sind, damit sie gezielt auf mechanische Kräfte in der zellulären Umgebung oder als Biomaterial reagieren können, wofür wir verschiedene molekulare Simulationstechniken nutzen und entwickeln.

# „Starke Bindungen, die für die strukturelle Integrität von Molekülen, Zellen und Geweben sorgen, stehen eingebaute Schwachstellen gegenüber.“

Um eine Antwort zu finden, müssen wir uns von der zentimetergroßen Sehne hineinzoomen bis hin zu ihren molekularen Bauteilen. Die Proteinmolekülketten von Kollagen sind millionstel Millimeter dick und ein tausendstel Millimeter lang. Jeweils drei dieser Ketten sind umeinandergewickelt und bilden eine Helix, eine sogenannte Tripelhelix, ähnlich einem Seil. In Kollagenfasern sind diese Helices parallel angeordnet, eng gepackt und außerdem quer vernetzt: Verstrebungen am Anfang und Ende jeder Helix verbinden benachbarte Helices zu einem dichten Netzwerk. Das ist die grundsätzliche Struktur des Kollagens, ob in Sehnen, in Bändern oder im Knorpel.

Die Kraft, die einer gespannten Sehne innewohnt, kann dank dieser Struktur optimal auf alle drei Stränge verteilt werden. Was aber geschieht auf der kleinsten Skala der Proteinmoleküle, wenn die Belastung zu groß wird und das Material reißt? Hier lässt sich viel von Kunststoffen lernen. Denn Kunststoffe sind genau wie Proteine Polymere, Moleküle aus immer wiederkehrenden kleineren Baueinheiten, die chemisch miteinander verbunden sind und aneinandergereiht eine lange Kette bilden. Dass dieses Bauprinzip für Proteine, Zellulose oder Stärke ebenso gilt wie für Kunststoffe, hat vor rund 100 Jahren der deutsche Chemiker und Nobelpreisträger Hermann Staudinger erkannt. Hermann Staudinger beschrieb auch noch etwas anderes: Wenn man an einem Polymer zieht, versagt in ihm irgendwann eine chemische Bindung, die Kette wird entzweit. Bei der Spaltung des Moleküls werden sogenannte Radi-

kale frei, einzelne Elektronen, die äußerst reaktiv sind: Sie schädigen das Material, etwa einen Kunststoff, und lassen ihn schneller altern.

## Die Achillesferse des Kollagens

Mit unseren Experimenten und Simulationen konnten wir zeigen, dass im Kollagen nach Belastung ebenfalls Radikale entstehen. Das war überraschend, denn dass Radikale in biologischen Materialien auch mechanisch entstehen können, war bislang nicht bekannt. Jetzt wollten wir wissen, wo die chemischen Bindungen reißten. In weiteren Forschungsarbeiten erkannten wir die Schwachstellen des Kollagens: Sie befinden sich in den Querverstrebungen, die Helices miteinander verbinden. Und noch etwas Interessantes zeigte sich: Es gibt Querverstrebungen, die auf einer Seite die Helix zweifach verbinden; einer dieser Arme ist außergewöhnlich schwach – und reißt besonders häufig. Dieser Arm in den Quervernetzungen ist also gleichsam die Achillesferse des Kollagens.

Bemerkenswert an dieser Schwachstelle ist zudem, dass die Querverstrebung genau hier redundant ist: Wenn einer der beiden Arme reißt, bleibt die Quervernetzung dank des anderen Armes zunächst noch bestehen. In den Materialwissenschaften nennt man dieses Bauprinzip „sacrificial bond“, eine Bindung, die sich zugunsten des Gesamtsystems gleichsam aufopfert. Hier hat sich die Natur offenbar schon vor langer Zeit einen Trick ein-

**Das Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS)**

Das Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS) wurde 2010 von dem Physiker und SAP-Mitbegründer Klaus Tschira und der Klaus Tschira Stiftung als privates, gemeinnütziges Forschungsinstitut gegründet. Es betreibt Grundlagenforschung in den Naturwissenschaften, der Mathematik und der Informatik. Zu den Hauptforschungsrichtungen zählen komplexe Simulationen auf verschiedenen Skalen, Datenwissenschaft und -analyse sowie die Entwicklung rechnergestützter Tools für die Forschung. Die Anwendungsfelder reichen von der Molekularbiologie bis zur Astrophysik. Ein wesentliches Merkmal des Instituts ist die Interdisziplinarität, die in zahlreichen gruppen- und disziplinübergreifenden Projekten umgesetzt wird. Die Grundfinanzierung des HITS wird von der Klaus Tschira Stiftung bereitgestellt. Neben der HITS-Stiftung sind die Universität Heidelberg und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) weitere Gesellschafter. Mit beiden Universitäten kooperiert das HITS bei gemeinsamen Auswahlverfahren für die Leitung neuer Forschungsgruppen, die zugleich mit einer Professur an der Universität Heidelberg oder am Karlsruher Institut für Technologie verbunden ist.

[www.h-its.org](http://www.h-its.org)

fallen lassen, der heute mit künstlichen Materialien nachgebaut wird: Man konstruiert eine Struktur absichtlich mit besonderen, schwachen Stellen, die bei Kräfteinwirkung zuerst reißen, die Integrität des Materials aber nicht beeinflussen – auf diese Weise lassen sich mechanische Belastungen hervorragend abpuffern.

Die Frage ist, warum sich eine chemische Bindung überhaupt löst, wenn an ihr gezogen wird. Das ist nicht so einfach zu beantworten. Wir kennen das Phänomen auch aus unserem Alltag: Je kräftiger man an einem Gummiband zieht, desto eher reißt es; je stärker ich eine Plastikflasche verforme, desto eher bricht sie. Doch was ereignet sich dabei auf Ebene der Moleküle?

Amerikanische Wissenschaftler haben dazu in den 1930er-Jahren eine Vorstellung formuliert: Das „Bell-Evans-Polanyi-Modell“ geht von einem einfachen Bruch aus, einer Reaktion in nur einem Schritt, die in einer bestimmten Geschwindigkeit stattfindet. Das bedeutet, dass Bindungen in Polymeren eigentlich gar nicht brechen können beziehungsweise nur auf großen Zeitskalen von Tagen oder gar Jahren. Eine von außen angelegte Kraft aber verrichtet Arbeit am Molekül: Arbeit definiert als Kraft mal Weg. Der Weg, so nimmt das Modell an, verläuft entlang der brechenden Bindung; sie wird durch die Kraft lang gezogen wie eine elastische Feder. Das Resultat: Aufgrund der verrichteten Arbeit erhöht sich die Geschwindigkeit der Reaktion

**K o l l a g e n  
„Womöglich dient  
als eine Art Drehscheibe,  
die mechanische  
Stimuli an Zellen weiterreicht.“**

exponentiell. Bei doppelter Kraft wird ein Polymer wie Kollagen nach diesem Modell siebenmal schneller reißen – bei zehnfacher Kraft etwa 10.000-mal schneller! Mit anderen Worten: Ein stabiles, eigentlich „unkaputtbares“ Kollagenmolekül kann in einer Achillessehne bei extremer Belastung innerhalb von Sekundenbruchteilen reißen.

#### **Immer für eine Überraschung gut**

Proteine sind allerdings immer wieder für Überraschungen gut, das gilt auch für Kollagen: Sie gehorchen der intuitiv nachvollziehbaren Schwächung durch Kraft nicht immer und zeigen erstaunlicherweise das genaue Gegenteil: Sie scheinen stärker zu werden, wenn man an ihnen zieht! Biomechanisch ausgedrückt: Wendet man mechanische Kraft an, verringert sich die Geschwindigkeit, mit der eine bestimmte molekulare Bindung bricht. Aus schwach wird stark, könnte man sagen. Wie kann das sein?

So richtig ist man diesem Phänomen noch nicht auf den Grund gekommen, aber ein durchgängiges Thema ist, dass Proteine nun einmal sehr viel komplexer aufgebaut sind als einfache Polymerketten in Kunststoffflaschen. In einem hochdimensionalen System wie dem Protein wirkt die Kraft nicht unbedingt entlang einer einfachen Richtung; es kann nach dem Einwirken von Kraft auch dazu kommen, dass sich bestimmte Wechselwirkungen neu ausrichten, die dann umso schwieriger zu brechen sind. Im Unterschied zu einfach gebauten synthetischen Polymerketten weisen Proteine charakteristische Faltungen und Strukturen auf – im Kollagen ist es die dreifache Helix. Eine außen angelegte Kraft kann sich in dieser Struktur viel komplexer verteilen. Das klassische Bell-Evans-Polanyi-Modell ist dann nicht mehr so ohne Weiteres anwendbar. Es gibt noch andere Beispiele aus der komplexen Welt der Proteine, die so ein Verhalten demonstrieren, etwa Moleküle, die Immunzellen mit der Blutgefäßwand

**„Proteine, die Bausteine des Lebens, sind regelmäßig mechanischen Kräften unterworfen.“**

PREDETERMINED BREAKING POINTS

# PROTEINS ON THE RACK

FRAUKE GRÄTER

When an Achilles tendon tears, it makes an audible pop – an impressive demonstration of the force it takes to rip this strong tendon in two. But what makes a tendon strong? And what are its weakest spots?

Tendons, but also cartilage and ligaments, consist mainly of collagen. Collagen is the most common protein in our body and holds pretty much everything in an organism together. When we run, jump, or twist, it is collagen that withstands, intercepts and transmits the forces at play. Paradoxically, collagen owes much of its strength to its weakest bonds. In a sense, these bonds are the “Achilles heel” of the Achilles tendon. The protein’s intricate structure funnels external forces into these weak bonds, which may rupture, but without compromising the material’s integrity.

This makes collagen a prime example of a mechanosensing molecular system. It translates mechanical stress into controlled rupture, creating radicals, a particular species of chemicals that is known to form in stretched polymers and can signal damage to the tissue. We have only just started to understand how the collagen in connective tissues such as tendons and other mechanosensing proteins translates force into biochemical reactions. Future research will show how these mechanisms can be harnessed in the development of new therapies for collagen-related diseases – and no one is more suited to this task than the collaborative research teams of the large life science campus at Heidelberg University. ●

**PROF. DR FRAUKE GRÄTER** has held the chair of Molecular Biomechanics at Heidelberg University since 2014 and headed the eponymous research group at the Heidelberg Institute for Theoretical Studies (HITS) since 2009. She studied chemistry in Tübingen, Kyoto (Japan) and Heidelberg, obtained her doctorate from the Max Planck Institute for Biophysical Chemistry in Göttingen and worked as a postdoc at Columbia University in New York (USA). From there she transferred to Shanghai (China), where she headed a junior research group at the Institute for Computational Biology, a partner institute of the Chinese Academy of Sciences and the Max Planck Society. Frauke Gräter investigates how the specific structure of proteins allows them to react purposefully to mechanical forces in their cellular environment or to function as a biomaterial; to answer this question, her team develops and uses various molecular simulation techniques. Her research on the effects of mechanical stress on collagen is supported by a Consolidator Grant of the European Research Council (ERC) to the tune of roughly two million euros. Frauke Gräter is a member of the Cluster of Excellence “3D Matter Made to Order” (3DMM2O) and a Fellow of the Max Planck School Matter to Life.

Contact: frauke.graeter@  
iwr.uni-heidelberg.de

**“Strong connections that ensure the structural integrity of molecules, cells and tissues are pitted against built-in weaknesses.”**

verbinden oder bestimmte Blutgerinnungsfaktoren. In beiden Fällen führen erhöhte Scherkräfte im Blut dazu, dass sich die Moleküle der Proteine verstärkt aneinanderbinden – und nicht zum gegenteiligen Szenario, dass sich Bindungen schneller lösen.

### Übersetzungsfragen

Die molekulare Biomechanik oder „Mechanobiologie“ ist ein noch junges, stetig wachsendes Feld, das der grundsätzlichen Frage nachgeht, wie mechanische Signale in biologische Prozesse übersetzt werden. Dabei zeigt sich immer wieder, dass starken Bindungen, die für die strukturelle Integrität von Molekülen, Zellen und Geweben sorgen, eingebaute Schwachstellen gegenüberstehen. Sie gewährleisten, dass der Organismus auf kleinste mechanische Signale sensibel reagiert und biologische Abläufe feinjustieren kann. Haut etwa kann dann entlang der Richtung wachsen, in die sie vom Wachstum der Knochen gedehnt wird; ein Muskel kann dicker werden, wenn er häufig benutzt wird. Wundheilung und Blutgerinnung finden nur statt, wenn extrem hohe Kräfte auftreten. Achillessehnen von Sportler:innen sind dicker als im Durchschnitt.

Welche Moleküle für die Kopplung von Mechanik und Biochemie zuständig sind und wie sie ihre Aufgaben erfüllen, ist bislang nur teilweise verstanden. Dass auch Kollagen – das überaus reißfeste Material, aus dem unsere Achillessehne besteht – eingebaute chemische Schwachstellen und Reaktionen aufweist, war eine neue und überraschende Erkenntnis. Womöglich dient Kollagen als eine Art Drehscheibe, die mechanische Stimuli an Zellen weiterreicht.

Unsere grundlegenden Erkenntnisse zu den Vorgängen auf molekularer Ebene dienen nicht allein dem bloßen Wissensgewinn: Sie können auch erheblich dazu beitragen, Krankheiten, etwa entzündliche Gelenkerkrankungen, Bindegewebsverhärtungen oder Schmerzen aufgrund Überbelastung, besser zu verstehen, und sie lassen neue Diagnose- und Therapiewege einschlagen. Dazu gilt es, unsere neuen biophysikalischen und materialwissenschaftlichen Erkenntnisse zur Funktion biologischer Systeme in weiteren gemeinsamen Projekten nun zügig in die medizinische Anwendung zu tragen. Unsere Fragen sind ideal geeignet, um sie in Kooperationen auf dem Life Science Campus der Universität Heidelberg anzugehen. ●



**PROF. DR. FRAUKE GRÄTER** ist seit 2014 Professorin für Molekulare Biomechanik an der Universität Heidelberg und leitet seit 2009 eine gleichnamige Forschungsgruppe am Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS). Ihrem Chemiestudium in Tübingen, Kyoto (Japan) und Heidelberg folgten die Promotion am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen und ein Postdoktorandaufenthalt an der Columbia University in New York (USA). Anschließend leitete sie eine Nachwuchsforschergruppe am Institut für „Computational Biology“ in Shanghai (China), einem Partnerinstitut der Chinese Academy of Sciences und der Max-Planck-Gesellschaft. In ihrer Forschung untersucht Frauke Gräter, wie Proteine konstruiert sind, damit sie gezielt auf mechanische Kräfte in der zellulären Umgebung oder als Biomaterial reagieren können, wofür ihre Gruppe verschiedene molekulare Simulationstechniken nutzt und entwickelt. Ihre Forschungen zu den Auswirkungen mechanischer Belastung auf Kollagen werden mit einem Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) in Höhe von rund zwei Millionen Euro gefördert. Frauke Gräter ist Mitglied des Exzellenzclusters „3D Matter Made to Order“ (3DMM2O) und Fellow der Max Planck School Matter to Life.

Kontakt: frauke.graeter@iwr.uni-heidelberg.de

**SCHWACHE**

**HERZEN**

**STARKE**

**HERZEN**

SCHWACHE HERZEN – STARKE HERZEN

# DER KRANKHEIT AUF DEN GRUND GEHEN

JOHANNES BACKS

**Herzschwäche ist nicht gleich Herzschwäche: Die Erforschung der molekularen Schaltkreise, die verschiedenen Formen der Erkrankung zugrunde liegen, lässt auf neue, gezielt ansetzende Behandlungsmöglichkeiten zur Stärkung der Herzen hoffen. Das Institut für Experimentelle Kardiologie an der Universität Heidelberg leistet dafür Grundlagenforschung und entwickelt Therapieprinzipien, auf deren Basis innovative Medikamente entstehen.**

# R

Rund vier Millionen Menschen leiden in Deutschland an Herzschwäche, im Medizinjargon „Herzinsuffizienz“ genannt. Weltweit sind von der schweren Erkrankung schätzungsweise 60 Millionen Menschen betroffen. Ihr Herzmuskel ist nicht mehr in der Lage, den Körper ausreichend mit Blut zu versorgen. Die Organe, Gewebe und Zellen geraten in Sauerstoff- und Nährstoffnot, es kommt zu Schwindelanfällen, Leistungseinbußen und Müdigkeit. Ein Hauptsymptom ist Atemnot, zunächst bei stärkerer körperlicher Belastung, dann bei geringer Anstrengung

und schließlich selbst schon in Ruhe. Auch mit Ödemen, Flüssigkeitsansammlungen, vor allem in den Beinen, macht sich die Erkrankung des Herzens bemerkbar. Sehr gefährlich kann es werden, wenn Wasser in die Lunge gelangt.

Hierzulande ist die Herzschwäche schon seit Langem der häufigste Grund für einen stationären Krankenhausaufenthalt – mit steigender Tendenz: Zwischen 2000 und 2019 wuchs die Zahl der Patient:innen, die wegen der Diagnose Herzinsuffizienz im Krankenhaus behandelt werden mussten, um 40 Prozent. Für das Jahr 2020 verzeichnet der jüngste Deutsche Herzbericht fast eine halbe Million Krankenhauseinweisungen wegen Herzinsuffizienz. Dank mittlerweile erreichter therapeutischer Fortschritte ist die vormals hohe Sterblichkeit in den letzten Jahren gesunken – dennoch sterben in Deutschland noch immer alljährlich 35.000 Menschen an der Schwäche ihres Herzens.

#### Sonderforschungsbereich „Molekulare Schaltkreise von Herzerkrankungen“

Der im Jahr 2022 an der Medizinischen Fakultät Heidelberg eingerichtete Sonderforschungsbereich 1550 „Molekulare Schaltkreise von Herzerkrankungen“ widmet sich der Frage, wie vererbte und erworbene Ursachen wie Genmutationen oder Stoffwechsel-Volksleiden infolge ungesunder Ernährung zum Entstehen von Herzerkrankungen führen. Die Arbeit basiert auf aktuellen Erkenntnissen, nach denen Funktionsstörungen des Herzens durch Veränderungen der Genexpression auf verschiedenen Ebenen verursacht werden. Um die Regulationsmechanismen in diesem Prozess vom Gen zum Genprodukt zu verstehen, nutzen die Wissenschaftler:innen epigenetische, RNA-biologische und biochemische Methoden und kombinieren sie mit Stoffwechselforschung, komplexen patientenorientierten Modellsystemen und computergestützten Analysen der Daten. Sie wollen damit herausfinden, welche spezifischen oder gemeinsamen molekularen Schalter als neue Zielstrukturen für maßgeschneiderte Therapien dienen können. Für die Forschungsarbeiten, in die auch Wissenschaftler:innen der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg, des European Molecular Biology Laboratory und des Deutschen Krebsforschungszentrums eingebunden sind, stehen Fördermittel in Höhe von rund 14 Millionen Euro zur Verfügung. Sprecher des Sonderforschungsbereiches ist Prof. Johannes Backs, Direktor des Instituts für Experimentelle Kardiologie der Universität Heidelberg.

[www.crc1550.com](http://www.crc1550.com)



**PROF. DR. JOHANNES BACKS** leitet seit dem Jahr 2018 das Institut für Experimentelle Kardiologie der Universität Heidelberg. Sein Studium der Humanmedizin absolvierte er von 1991 bis 1998 an den Universitäten Gießen, Heidelberg und Freiburg. Nach seiner Promotion 2002 am Universitätsklinikum Heidelberg war er von 2003 bis 2007 Postdoktorand des Molekularbiologen Eric N. Olson am UT Southwestern Medical Center in Dallas (USA). Zurück in Heidelberg leitete er von 2007 bis 2012 eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe in der Abteilung Kardiologie des Universitätsklinikums. 2013 wurde Johannes Backs W3-Professor für Epigenetische Regulationsmechanismen im Myokard an der Medizinischen Fakultät Heidelberg der Universität Heidelberg und Professor am Deutschen Zentrum für Herz-Kreislauf-Forschung. Von 2015 bis 2018 war er Direktor der Abteilung Molekulare Kardiologie und Epigenetik am Universitätsklinikum Heidelberg. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf den epigenetischen Regulationsmechanismen im Herzen.

Kontakt: [johannes.backs@cardioscience.uni-heidelberg.de](mailto:johannes.backs@cardioscience.uni-heidelberg.de)

#### Wie es zur Herzschwäche kommt

Die Erkrankung hat mannigfaltige Ursachen. Manchmal ist sie auf veränderte (mutierte) Gene zurückzuführen, die vererbt werden und die Pumpkraft des Herzmuskels beeinträchtigen. Infolge des Alterns können Mutationen auch spontan in Blutzellen auftreten und zu Entzündungen im Herzen führen. Infektionen, etwa Virusinfektionen, können ebenfalls mit herzwachsenden entzündlichen Prozessen einhergehen. Auch ein dauerhaft zu hoher Blutdruck belastet das Herz, oder Stoffwechselprodukte, die Herzmuskelzellen auf bislang noch nicht hinreichend verstandene Weise schädigen. Eine nicht unbedeutende Rolle spielt unsere Lebensweise: Ungesunde Ernährung, Übergewicht, Rauchen, zu viel Alkohol und zu wenig Bewegung tragen zur Arteriosklerose bei, zur „Arterienverkalkung“. Wenn die Herzkranzgefäße verkalken (koronare Herzkrankheit), die den Herzmuskel mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgen, droht der Infarkt. Ein Herzinfarkt kann heute akut gut behandelt werden – zumindest in den Ländern, wo die kardiologische Versorgung gewährleistet ist –, so dass viele Patient:innen den Infarkt überleben. Es bleiben aber oft Narben im Herzmuskel zurück, die das Organ langfristig schwächen.

Die unterschiedlichen Ursachen resultieren alle im gleichen Syndrom, der Herzschwäche. Die Erkenntnis, dass sie das Herz über die gleichen biochemischen Regelkreise schädigen, hat mittlerweile zum Einsatz von vier Medikamentengruppen geführt – sogenannte Beta-Blocker, SGLT2-Hemmer, Aldosteron-Antagonisten (MRA) und ARNIs –, mit denen die Herzschwäche behandelt und die vormals hohe Sterberate gesenkt werden kann. Nicht alle Patient:innen aber profitieren von der medikamentösen Kombinationsbehandlung mit den „phantastischen Vier“ – und wie wir heute wissen, beruht das darauf, dass Herzschwäche nicht gleich Herzschwäche ist.

#### Das steife Herz

Von der Pumpleistung des Herzens her betrachtet kannte man früher nur die „Herzschwäche mit verminderter Auswurfleistung“ (Heart Failure with reduced Ejection Fraction; HfrEF). Sie ist darauf zurückzuführen, dass sich der Herzmuskel in der „Systole“, der Auswurfphase, nicht mehr kräftig und gleichmäßig zusammenziehen und Blut in den Kreislauf auswerfen kann. Diese Form der Herzschwäche wird von Ärzt:innen deshalb auch „systolische Herzschwäche“ genannt. Eines aber passte nicht ins Bild: Immer wieder fielen Patient:innen auf, die zwar alle Symptome eines schwachen Herzens zeigten, deren systolische Herzfunktion aber nicht beeinträchtigt war. Eine Erklärung dafür ließ lange auf sich warten.

Aufschluss erbrachten Ultraschalluntersuchungen: Die Echokardiographie ließ Unterschiede bei der Pumparbeit des Herzmuskels und eine zweite Form der Herzschwäche

# „Trotz therapeutischer Fortschritte sterben hierzulande noch immer alljährlich 35.000 Menschen an Herzschwäche.“

erkennen, die „diastolische Herzschwäche“ (Heart Failure with preserved Ejection Fraction, HFpEF): Der Herzmuskel kann sich in der „Diastole“, der Füllungsphase, nicht mehr ausreichend entspannen und dehnen, das Herz ist gleichsam versteift. Dann füllen sich die Herzkammern nicht mehr vollständig mit Blut, folglich ist das mit dem nächsten Herzschlag ausgeworfene Blutvolumen geringer. Auch das macht sich mit zunehmender Atemnot, Müdigkeit, Erschöpfung und eingeschränkter körperlicher Belastbarkeit bemerkbar. Die Beschwerden, mit denen sich die systolische und die diastolische Herzschwäche äußern, sind gleich – die Ursache aber und der dahinterstehende molekulare Mechanismus sind andere.

Mittlerweile weiß man, dass etwa die Hälfte aller Patient:innen mit chronischer Herzschwäche von einer diastolischen Herzschwäche betroffen ist. Deren Behandlung indes ist auch heute noch eine große Herausforderung: Während große klinische Studien bei der systolischen Herzschwäche die Wirksamkeit zahlreicher Medikamente belegen konnten, erbrachten nahezu alle Prüfungen medikamentöser Therapieansätze für die diastolische Herzschwäche enttäuschende Ergebnisse. Erst vor zwei Jahren wendete sich das Blatt: Die beiden Wirkstoffe „Dapagliflozin“ und „Empagliflozin“ – eigentlich als Medikamente gegen die Zuckerkrankheit Diabetes entwickelt – erwiesen sich überraschenderweise auch als geeignet, die diastolische Herzschwäche zu behandeln. Dapagliflozin und Empagliflozin sind sogenannte SGLT2-Hemmer: Sie schalten ein Transportmolekül für Zucker (SGLT2) in den Nierenkanälchen aus, daraufhin wird Zucker verstärkt mit dem Harn ausgeschieden und der Blutzuckerspiegel sinkt. Wie SGLT2-Hemmer ihre positiven Effekte bei der Herzschwäche entfalten, ist noch nicht vollständig geklärt. Die Tatsache aber, dass von den „phantastischen Vier“ nur eine Medikamentenklasse – die SGLT2-Hemmer – bei diasto-

lischer Herzschwäche etwas auszurichten vermag, deutet darauf hin, dass die beiden Herzschwächeformen auf zwei grundsätzlich unterschiedlichen molekularen Mechanismen basieren.

## Der Krankheit auf den Grund gehen

Mehr über die molekularen Unterschiede herauszufinden, die Herzerkrankungen zugrunde liegen, ist das Ziel der Wissenschaftler:innen, die sich im Sonderforschungsbereich 1550 „Molekulare Schaltkreise von Herzerkrankungen“ zusammengefunden haben. Dem Forschungsvorhaben gehören Forschende der Universität Heidelberg, des Heidelberger European Molecular Biology Laboratory (EMBL) und des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) an. Den Arbeiten liegt die Hypothese zugrunde, dass jede Herzerkrankung von teils spezifischen molekularen Schaltkreisen, teils von Wechselwirkungen verschiedener Schaltkreise verursacht wird. Wichtige Fragen, die der Sonderforschungsbereich beantworten will, sind beispielsweise, wie vererbte genetische Veränderungen Herzmuskelzellen umprogrammieren oder wie sich Umwelteinflüsse, ungesunde Ernährung und Übergewicht auf Herzmuskelzellen auswirken. Ein wichtiges Forschungsziel ist es, gemeinsame molekulare Knotenpunkte vererbter und erworbener Herzerkrankungen zu ermitteln.

Für ihre Arbeiten nutzen die Wissenschaftler:innen des Sonderforschungsbereichs moderne Untersuchungsmethoden, die es heute erlauben, ursächliche molekulare Zusammenhänge mit hoher Präzision zu erfassen. Die Bestimmung der Reihenfolge (Sequenz) der Bausteine des Erbmoleküls DNA erlaubt es heute, vererbte und erworbene Genveränderungen zu erfassen. In den Vordergrund rückt im Sonderforschungsbereich die Erfassung der dynamischen und veränderbaren Ereignisse beim Ablesen, Überschriften und Übersetzen von DNA in die Bausteine

„Es wird erwartet,  
dass im  
Jahre 2030 weitaus  
mehr Patient:innen  
an diastolischer  
als an systolischer  
Herzschwäche  
leiden werden.“

der Herzmuskelzellen, die Proteine. Epigenom-Untersuchungen machen es möglich, chemische Veränderungen der DNA und der sie umgebenden Histonproteine (Epigenom) zu erkennen. Die Analyse des Transkriptoms erlaubt eine Bewertung des Überschreibens der genetischen Information von der DNA auf das Botenmolekül RNA. Hinzu kommt die Betrachtung des Proteoms, der Gesamtausstattung der Zelle mit Proteinen, und des Metaboloms, der Einzelbestandteile der Summe aller zellulären Stoffwechselprodukte. Auf die funktionelle Untersuchung der molekularen und biochemischen Regelkreise des Epigenoms, Transkriptoms, Proteoms und Metaboloms bei verschiedenen angeborenen und erworbenen Ursachen von Herzerkrankungen richtet sich das Hauptaugenmerk der Forscher:innen, um die gemeinsamen Knotenpunkte zu erkennen.

Diese umfassende Gesamtschau soll es erlauben, molekulare Veränderungen und Ansatzpunkte zu identifizieren, die sich therapeutisch nutzen lassen. Ein Ziel ist es, Subgruppen von Herzerkrankungen auf der Grundlage ihrer molekularen Gemeinsamkeiten zu definieren und mit präzise ansetzenden Medikamenten effektiv zu behandeln. Das könnte mit bereits existierenden Medikamenten oder Medikamentenkombinationen geschehen, fachsprachlich „Repurposing“ genannt, oder mit neuen Medikamenten, die aufgrund der neuen molekularen Erkenntnisse gezielt entwickelt werden können. Weitere wirksame Medikamente, vor allem zur Behandlung der diastolischen Herzschwäche, sind dringend notwendig, denn das Problem spitzt sich zu: Es wird erwartet, dass im Jahre 2030 weitaus mehr Patient:innen an diastolischer als an systolischer Herzschwäche leiden werden.

#### **Schwache Herzen wieder erstarren lassen**

In unserer Arbeitsgruppe am Institut für Experimentelle Kardiologie der Universität Heidelberg arbeiten Biolog:innen und Mediziner:innen gemeinsam an der Aufklärung derjenigen molekularen Mechanismen, welche die systolische und die diastolische Herzschwäche unterscheiden. Im Laufe unserer Forschungsarbeiten haben wir ein Enzym entdeckt, das die systolische Herzschwäche verhindern kann. Umgekehrt befördert das Enzym das Entstehen der diastolischen Herzschwäche. Ein und dasselbe Enzym soll zwei so unterschiedliche Effekte vermitteln? Auch hier lautet die Antwort, dass dem Krankheitsgeschehen zwei unterschiedliche molekulare Mechanismen zugrunde liegen.

Bei dem Enzym handelt es sich um einen Vertreter der sogenannten Histon-Deacetylasen (HDAC). So wird die Enzymgruppe genannt, die Histone verändert, also diejenigen Proteine, die das Erbmolekül DNA „verpacken“ und komprimieren. Histone sind jedoch nicht nur bloßes Verpackungsmaterial, sie beeinflussen auch maßgeblich, ob Gene abgelesen (Transkription) und in Proteine übersetzt

WEAK HEARTS – STRONG HEARTS

# GETTING TO THE BOTTOM OF DISEASE

JOHANNES BACKS

When the heart becomes weak, the risk of death increases. Some hearts are obviously weak because their contractile function during the systole of the heart cycle is impaired. This type of heart failure can be treated with four different classes of drugs, the “fantastic four”. These drugs improve the survival rate, but they offer no cure. 30 million people worldwide suffer from this syndrome called “Heart Failure with reduced Ejection Fraction” (HFrEF).

Other hearts only appear strong. These hearts contract and can eject more than 50% of the blood in the left ventricle. However, they cannot relax properly during the diastole. Another 30 million people worldwide suffer from this syndrome, which is called “Heart Failure with preserved Ejection Fraction” (HFpEF). HFpEF represents an urgent medical need because only one member of the “fantastic four” has been shown to improve the combined outcome in hospitalisation and survival. The prevalence of HFpEF will outnumber HFrEF by 2030 as the underlying risk factors – obesity, arterial hypertension and diabetes – become pandemic.

We have discovered that the epigenetic regulator histone deacetylase 4 (HDAC4) offers protection from HFrEF, but causes HFpEF. The underlying mechanisms are clearly distinct: the protective effect against HFrEF is due to HDAC4’s non-enzymatic actions, while induction of HFpEF is due to HDAC4’s enzymatic activation. Both functions of HDAC4 control different downstream gene programmes. Two translational programmes have been initiated to develop drugs that promote HDAC4’s non-enzymatic action and drugs that interfere with its enzymatic activation. Thus, HDAC4 modulation may someday succeed in strengthening both weak and seemingly strong hearts. ●

**“Chronic heart failure is  
the most common  
reason for hospitalisations  
in Germany.”**

**PROF. DR JOHANNES BACKS** has headed Heidelberg University's Institute of Experimental Cardiology since 2018. He studied medicine at the universities of Giessen, Heidelberg and Freiburg from 1991 to 1998 and completed his doctorate at Heidelberg University Hospital in 2002. From 2003 to 2007 he worked as a postdoc under molecular biologist Eric N. Olson at UT Southwestern Medical Center in Dallas (USA). Following his return to Heidelberg in 2007, he headed an Emmy Noether Junior Research Group in the university hospital's cardiology department until 2012. In 2013 Johannes Backs became W3 Professor for Epigenetic Regulatory Mechanisms in the Myocardium at Heidelberg University's Medical Faculty Heidelberg and Professor at the German Centre of Cardiovascular Research (DZHK). From 2015 to 2018, he was Director of the Department of Molecular Cardiology and Epigenetics at Heidelberg University Hospital. His research focuses on epigenetic regulatory mechanisms in the heart.

Contact: johannes.Backs@  
cardioscience.uni-heidelberg.de

# „Die chronische Herzschwäche ist in Deutschland der häufigste Grund für Krankenhauseinweisungen.“

werden (Translation). Dazu entfernen die Enzyme von den Histonen bestimmte chemische Gruppen (Acetylgruppen). Der von dem chemisch modifizierten Histon verpackte DNA-Abschnitt kann dann nicht mehr abgelesen, in das Botenmolekül RNA umgeschrieben und von den dafür zuständigen zellulären Werkstätten in Protein übersetzt werden. Die Histon-Deacetylase 4 (HDAC4) zeichnet sich zudem dadurch aus, dass sie sehr eng mit bestimmten Transkriptionsfaktoren wechselwirkt, also mit Proteinen, die für den Start der Transkription zuständig sind.

Und noch eine Eigenschaft unterscheidet HDAC4 stark von anderen Histon-Deacetylasen: Eine Modulation von HDAC4 wirkt sich auch auf bestimmte zelluläre Stoffwechselprozesse aus. Strukturell besteht HDAC4 aus einer enzymatisch aktiven und einer enzymatisch inaktiven Proteindomäne. Die systolische Herzschwäche wird verhindert über eine Protein-Protein-Interaktion der enzymatisch inaktiven Proteindomäne; die diastolische Herzschwäche wird begünstigt von der enzymatisch aktiven Domäne. Für beide Mechanismen haben wir inzwischen potenzielle Therapieprinzipien gefunden, die sich derzeit in Entwicklung befinden.

Das Projekt wird vom Deutschen Zentrum für Herz-Kreislauf-Forschung gefördert und vom Lead Discovery Center in Dortmund umgesetzt, einem wichtigen Bindeglied zwischen akademischer Forschung und Industrie, das erstklassige Wissenschaft in die Entwicklung innovativer Medikamente überführt, um neue Therapiemöglichkeiten zu eröffnen. Als Partner hat das internationale Pharmaunternehmen Novo Nordisk einen Optionsvertrag abgeschlossen, um alle Schritte auf dem Weg zum innovativen Medikament in die klinische Anwendung zu übernehmen. Es besteht also Hoffnung, dass HDAC4-Modulatoren schwache Herzen wieder erstarren lassen könnten. ●



SINOLOGIE  
**MADE IN CHINA**  
WELTMACHT ZWISCHEN ANSPRUCH  
UND WIRKLICHKEIT  
ANJA D. SENZ

76



BILDUNGSWISSENSCHAFT  
**GEGEN DEN MATTHÄUS-EFFEKT**  
PERSPEKTIVWECHSEL FÜR CHANCENGERECHTIGKEIT  
ANNE SLIWKA

84



GENDERFORSCHUNG  
**WEIBLICH MÄNNLICH**  
STEREOTYPE ZUSCHREIBUNGEN ÜBERWINDEN  
MONIKA SIEVERDING

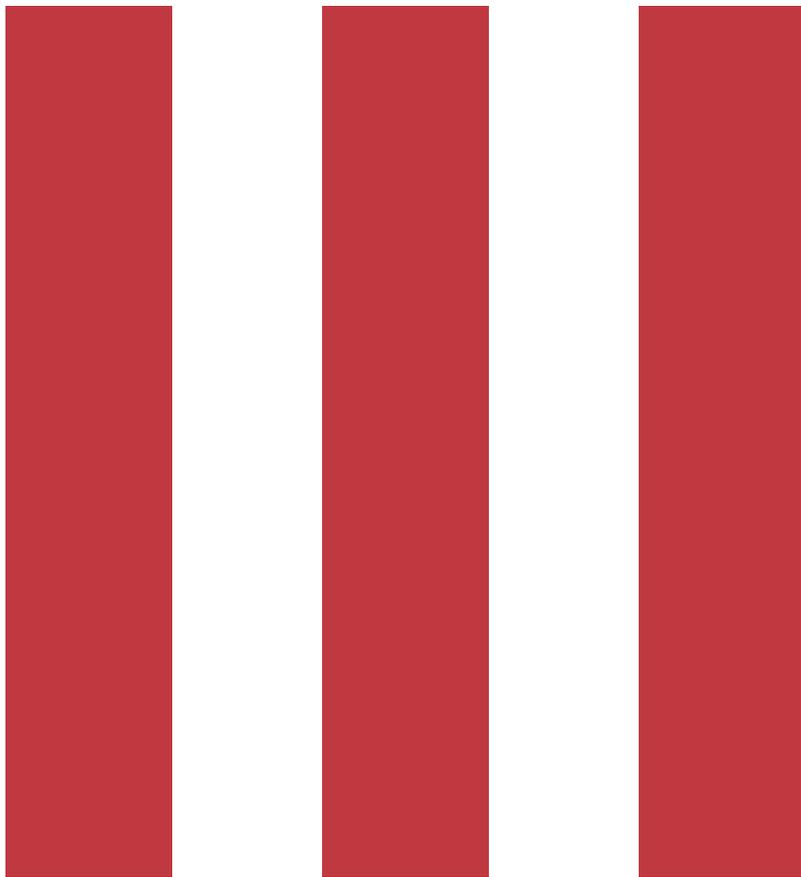
94



POLITIKWISSENSCHAFT  
**AM WENIGSTEN SCHLECHT?**  
LEISTUNG, QUALITÄT UND RESILIENZ  
DEMOKRATISCHER SYSTEME  
AUREL CROISSANT

102

# KAPITEL



**M  
A  
D  
E  
  
I  
N**

**C  
H  
I  
N  
A**

MADE IN CHINA

# WELTMACHT ZWISCHEN ANSPRUCH UND WIRKLICHKEIT

ANJA D. SENZ

**Die rasche wirtschaftliche Entwicklung Chinas vom sogenannten Entwicklungsland zum Global Player hat in den letzten Jahrzehnten weltweit Aufmerksamkeit erregt. Damit einher gehen vor allem in Nordamerika und Europa auch Vermutungen über einen politischen Weltmachtanspruch der Volksrepublik China. Zugleich ist das Land nicht nur durch politische Repression, sondern auch durch vielfältige Probleme charakterisiert, zu denen nicht zuletzt die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Folgen einer strikten Null-Covid-Politik zählen. Wie stark oder schwach ist das heutige China? Dieser Frage geht die gegenwartsbezogene Chinaforschung an der Universität Heidelberg nach.**

# D

Die Frage, ob China stark oder schwach ist, beschäftigt seit gut drei Jahrzehnten die internationalen Debatten. Dabei oszillieren die Einschätzungen der Wissenschaft nicht nur zwischen Extremen, sondern sie sind naturgemäß auch davon geprägt, welche Indikatoren zur Beurteilung herangezogen werden und welcher Zeitpunkt in den Blick genommen wird. Wie stark ist Chinas Militär? Schwächelt die chinesische Wirtschaft? Wie stabil ist das Regime, wie durchsetzungsstark die politische

Führung in Beijing? Hat die Pandemiebekämpfung China geschwächt?

Für Politik und Öffentlichkeit verbinden sich mit diesen und ähnlichen Fragen auch immer Überlegungen zu den Konsequenzen chinesischer Stärke oder Schwäche für Deutschland, Europa oder die Welt. Im Allgemeinen werden dabei entweder die Chancen auf wirtschaftliche Wachstumsimpulse aufgrund wachsender internationaler Verflechtung positiv hervorgehoben oder aber die von China ausgehenden sicherheitspolitischen Gefahren im globalen Systemwettbewerb negativ unterstrichen. Auf europäischer Ebene gilt China seit 2019 gleichermaßen als „Partner, Wettbewerber und systemischer Rivale“, was in seinem Mangel an Eindeutigkeit als Hinweis auf den Facettenreichtum Chinas und seiner Rolle in der Welt gesehen werden kann. Stark oder schwach, bedrohlich oder ungefährlich, im Aufstieg oder im Niedergang begriffen – was kann die Chinaforschung zur Beantwortung dieser Fragen beitragen?

# „Hinter der Fassade des erfolgreichen Langzeit- wachstums schwelen zahlreiche Probleme, und Chinas ‚erträumte Zukunft‘ scheint ungewiss.“

## China am Scheideweg?

Chinas dynamische Wirtschaftsentwicklung nahm ihren Anfang Ende der 1970er-Jahre mit Schritten der Deregulierung und Dezentralisierung sowie der Öffnung des Landes für ausländische Investitionen. Als preiswerter Produktionsstandort und großer Binnenmarkt war China für multinationale Unternehmen interessant. Die chinesische Volkswirtschaft wiederum konnte vom Know-how ausländischer Firmen für den Aufbau eigener Wirtschaftskapazität profitieren. Weil die internationalen Märkte offen waren für die Abnahme preiswerter chinesischer Massentartikel, entwickelte sich China zu einer Art „Werkbank der Welt“. Deng Xiaopings Lösung des Übergangs „vom Plan zum Markt“ und die damit verbundene schrittweise Einführung marktwirtschaftlicher Mechanismen ließen landesweit den Lebensstandard steigen und die Wirtschaft für mehr als zwei Jahrzehnte mit durchschnittlich acht Prozent pro Jahr wachsen.

Inzwischen steht China ökonomisch jedoch an einem Wendepunkt. Mit der hohen Integration in den Weltmarkt ist die heimische Wirtschaft verwundbar für internationale Konjunkturschwankungen geworden. Die Weltmärkte sind gesättigt, und neue Abnehmer für einfache Plastikgegenstände, Textilien oder Elektronikartikel lassen sich kaum noch finden. Da die Lohnkosten in China seit Jahren steigen, sinkt der ursprüngliche Wettbewerbsvorteil als preiswerter Produktionsstandort und Unternehmen verlagern ihre Fertigung ins Ausland. Zuletzt haben die US-Sanktio-

nen gegen China die chinesische Wirtschaft bei Halbleitern von einem der wichtigsten Elektronikbauteile abgeschnitten.

Dies unterstreicht die hohe Abhängigkeit Chinas von Technologie- und Rohstoffimporten und hat für die Regierung in Beijing die geoökonomischen Risiken ihres bisherigen Wachstumsmodells unterstrichen. Die Fünfjahrespläne – zentrale Steuerungsdokumente der politischen Führung – stellen bereits seit über einer Dekade die Innovationsförderung in den Vordergrund, um die Abhängigkeit von westlichen Schlüsseltechnologien zu reduzieren, eigene Wohlstandsgewinne zu erzeugen und China damit zu einer globalstrategischen Wirtschaftsmacht aufzuwerten. Auch mit der Setzung eigener technischer Standards und der Internationalisierung der chinesischen Währung Renminbi soll das weltwirtschaftliche Gewicht ausgebaut werden.

## Strukturelle Probleme

Politisch-administrativ haben sich in China im Zuge des Reformprozesses vielfältige strukturelle Vollzugsdefizite herausgebildet. Eine Vielzahl von Akteuren mit diversen Eigeninteressen bewegt sich in einer komplizierten Matrix aus vertikalen und horizontalen Kompetenzen und nutzt Spielräume für eigene lokale Entscheidungen. Zuständigkeiten, Ressourcen und Befugnisse sind auf inkohärente Weise zwischen der nationalen und den zahlreichen lokalen Ebenen verteilt. Damit steht die alltägliche bürokratische Realität im Kontrast zu dem gern gepflegten Mythos autoritärer Effektivität.



PROF. DR. ANJA D. SENZ ist seit 2014 Professorin für gegenwartsbezogene Chinaforschung am Institut für Sinologie der Universität Heidelberg. Nach ihrem Studium der Politikwissenschaft, Soziologie und Ethnologie an der Universität Trier sowie der chinesischen Sprache und Geschichte an der Sun-Yat-sen-Universität in Guangzhou (China) wurde sie an der Universität Duisburg-Essen promoviert und arbeitete am dortigen Institut für Ostasienwissenschaften sowie am Torino World Affairs Institute in Turin (Italien). Zu ihren Forschungsschwerpunkten zählen die Beziehungen zwischen Staat und Gesellschaft in China, Umwelt-Governance sowie Handel und Konnektivität in Asien. Sie ist Gastprofessorin an der Nankai-Universität in Tianjin (China), Mitglied im Editorial Board des Journal of East Asian Studies sowie Sprecherin des wissenschaftlichen China-Beirats der Deutschen Gesellschaft für Asienkunde.

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

Die Regierung unter Staatspräsident Xi Jinping hat mit Maßnahmen der Rezentralisierung die Steuerung und Kontrolle ab 2013 verschärft. Aus einem heiklen Kompromiss zwischen verschiedenen Parteifaktionen als Leitfigur hervorgegangen, hat Xi den Schlüssel zur Machtkonsolidierung in einer Stärkung zentralstaatlicher Autorität gesucht. Neu geschaffene Führungsgruppen für zentrale Politikfelder sollten den Staat leistungsfähiger machen. Mit Kampagnen zur Bekämpfung der Korruption sollten parteistaatliche Akteure diszipliniert und politische Handlungsfähigkeit gegenüber einer Bevölkerung demonstriert werden, die die grassierende Korruption seit Jahren als zentrales Defizit benennt. Doch resultiert die chinesische Form der Korruptionsbekämpfung in wirtschaftlicher Abschwächung. Denn ökonomische Entscheidungen werden aufgrund von politischen Unsicherheiten über akzeptable Vorgehensweisen zaghafter, wenn überhaupt, getroffen – mit nachteiligen Folgen für die Umsetzung von Investitionsvorhaben.

#### Der „chinesische Traum“ einer Führungsnation

Ideologisch wurde die Bevölkerung vor dem Hintergrund der wirtschaftlichen Eintrübung auf eine „neue Normalität“ mit geringeren Wachstumszahlen und Wohlstandsgewinnen eingeschworen. Als Programmatik wurde die Verwirklichung des „chinesischen Traums“ formuliert, dessen Inhalt auf den Wunsch gerichtet ist, China zu einem starken, wohlhabenden Land und zu einer Führungsnation in der Welt zu machen. Neben zunehmend nationalistischen Tönen dient ein repressiver Sicherheitsapparat dazu, die Entstehung politischer Alternativen zur Kommunistischen Partei zu unterbinden und ihre Herrschaft zu sichern.

Zu den makropolitischen Langzeitherausforderungen Chinas zählen eine rasche Urbanisierung, der starke demographische Wandel, ein schwaches Sozialversicherungssystem, ein für die Qualifizierung von Arbeitskräften unzureichendes Bildungssystem, Einkommensdisparitäten, ein spekulativer Immobiliensektor, eine junge Generation, die gegen den exzessiven Materialismus und selbstverständliche Überstunden protestiert, ethnische Konflikte sowie die Folgen von Umweltzerstörung und Klimawandel. Ferner hat die von der Regierung verfolgte Null-Covid-Strategie, die immer wieder zu Lockdowns von Millionenstädten führte, die Lebens- und Arbeitsbedingungen vieler chinesischer Bürger und Bürgerinnen deutlich verschlechtert sowie Produktions- und Logistikkabläufe mit erheblichen Folgen für Lieferketten und die weitere Wirtschaftsentwicklung gestört. Hinter der Fassade des erfolgreichen Langzeitwachstums schwelen also zahlreiche Probleme, und Chinas „erträumte Zukunft“ scheint ungewiss.

#### Verschiedene Deutungsmuster

In der wissenschaftlichen Debatte zu China lassen sich ab den 1980er-Jahren verschiedene Deutungsmuster der

chinesischen Entwicklung identifizieren. Dabei handelt es sich um miteinander verwobene Debattenstränge, die sich argumentativ dahingehend unterscheiden, welchen Schwerpunkt sie setzen und damit Stärken oder Schwächen Chinas thematisieren.

Ein erster Strang richtet sich auf die Kultur als Erklärungsfaktor für Chinas Aufstieg zur neuen Weltmacht: Angelehnt an Max Webers Thesen über die protestantische Ethik und den Geist des Kapitalismus wird ab den 1990er-Jahren argumentiert, dass Werthaltungen wie Fleiß, Disziplin und Genügsamkeit, Bildungsaffinität, Gemeinschaftsorientierung und die Bereitschaft zur Konfliktvermeidung Erfolgsfaktoren der chinesischen Wirtschaftsentwicklung seien. Die Kritik an dieser These richtet sich vor allem gegen ein inhärent statisches und vereinfachendes Verständnis von „chinesischer Kultur“.

Ein zweiter Strang – auch als „China Threat Theory“ bekannt – interpretiert Chinas wachsende weltwirtschaftliche Bedeutung, seine steigenden Militärausgaben und das Verhalten des Landes in internationalen Organisationen ab den 1990er-Jahren als Bedrohung für die Vorherrschaft des „Westens“. Chinas internationaler Aufstieg könne, so die Theorie, nicht friedlich verlaufen, weil ein erstarkendes Land etablierte globale Machtverhältnisse herausfordere – eine Konfrontation mit der Führungsmacht USA sei daher unvermeidlich. Die Kritik an diesem Ansatz richtet sich gegen die Vorstellung von internationaler Politik als „Nullsummenspiel“ in der Verteilung politischer Macht. Außerdem würde die Möglichkeit und Vorteilhaftigkeit zwischenstaatlicher Zusammenarbeit ausgeblendet.

#### Überschätzter Riese?

Diesem Debattenstrang diametral entgegen steht eine dritte Richtung, die nicht Chinas zunehmende Stärken, sondern seine Schwachpunkte in den Blick nimmt und das Land als „überschätzten Riesen“ deutet: Bereits Ende der 1980er-Jahre wird in Analogie zum Zusammenbruch der Sowjetunion erstmals diskutiert, wie lange die Kommunistische Partei ihre Herrschaft noch wird aufrechterhalten können. Basierend auf der Annahme, dass jede erfolgreiche wirtschaftliche Entwicklung zu Teilhabeforderungen der Menschen führe und politische Veränderungen damit unausweichlich seien, werden auch in den folgenden Jahrzehnten innenpolitische, sozioökonomische und außenwirtschaftliche Gründe für einen möglichen Zusammenbruch des chinesischen Systems thematisiert.

Gerade in den letzten Jahren hat diese Diskussion erneute Aufmerksamkeit erfahren: Kapitalflucht, das Abwandern der Eliten, die grassierende Korruption sowie die drakonischen, aber zumeist kontraproduktiven Versuche ihrer Bekämpfung, zunehmende Repression, der Vertrauensver-

# „Gerade in den letzten Jahren steht China vor großen Herausforderungen.“

lust der Bevölkerung in die Regierung, der Zynismus staatlicher Kader und eine sich abkühlende Wirtschaft werden als Hinweise für die „Endphase“ kommunistischer Herrschaft gesehen: China stehe volkswirtschaftlich am Beginn einer Stagnation und politisch vor dem Niedergang, denn ohne politische Reformen sei weitere Prosperität nicht möglich. Kritiker halten dieser transformationsorientierten Sichtweise die sogenannte Resilienzthese entgegen: Resilienz kann als Belastbarkeit eines politischen Systems, als Fähigkeit zum Management akuter Probleme und als „Durchhaltefähigkeit“ in Krisen verstanden werden. Die politische Resilienzforschung betrachtet demnach die Mechanismen, die dazu führen, dass das Herrschaftsgefüge auch unter sich verändernden Rahmenbedingungen Bestand hat.

Ein letzter, vierter Debattenstrang richtet sich auf China als politökonomisches (Gegen-)Modell zum westlichen Entwicklungsweg. Nach diesem Gedankengang, der ab Mitte der 2000er-Jahre zunächst von westlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern vorgeschlagen wird, wirkt Chinas Erfolg insbesondere auf Länder des globalen Südens anziehend und löst bisherige Konzepte aussichtsreicher Wirtschaftsentwicklung ab. Kennzeichnend für Chinas Weg seien die starke Rolle des Staates als „Entwicklungsstaat“, eine pragmatisch experimentierende Wirtschaftspolitik, der Aufbau nationaler Schlüsselindustrien sowie eine schwache institutionelle Regulierung. Kritiker verweisen darauf, dass das „chinesische Modell“ nicht nur gravierende Schattenseiten habe, sondern aufgrund der spezifischen historischen Bedingungen auch nicht auf andere Länder übertragbar sei.

Ungeachtet dieser Kritikpunkte wird das „China-Modell“ heute stark von chinesischen Intellektuellen und Politikern vertreten und ist damit auch Hinweis auf Chinas gestiegene internationale Diskursmacht. „Chinas Geschichte

gut erzählen“ lautet der Slogan der chinesischen Führung, unter dem eine eigene Deutung des chinesischen Aufstiegs gegenüber dem Ausland vertreten werden soll. Bereits im August 2013 hatte Staatspräsident Xi Jinping in seiner Rede bei der Konferenz für Propaganda und Ideologie dazu aufgerufen, Chinas internationale Kommunikationskapazitäten auszubauen, damit „Chinas Stimme“ weltweit deutlich gehört würde. In der Folgezeit wurde unter anderem Chinas Mediensektor durch vielfältige Publikationsformate in unterschiedlichen Sprachen aus- und umgebaut. Heute publizieren zum Beispiel chinesische Verlage eine Vielzahl von Büchern und wissenschaftlichen Zeitschriften in englischer Sprache und adressieren darüber mit einer offiziellen Sichtweise der chinesischen Entwicklung ein weltweites Publikum.

## Stärken und Schwächen

Die „Stärke eines Landes“ ergibt sich aus einer Vielzahl von politischen, ökonomischen und soziokulturellen Faktoren, die sich zu politischer Macht verdichten. Die verschiedenen hier dargestellten Debattenstränge geben Hinweise darauf, was im Einzelnen unter den Stärken und Schwächen Chinas verstanden werden kann. Wirtschaftskraft zählt hier ebenso zu dem Kriterienkatalog wie militärische und technologische Fähigkeiten, die politische Stabilität und der international ausgeübte Einfluss als Investor oder Diskursakteur. Partei und Staat in China erwiesen sich trotz multipler Krisen über die letzten Jahrzehnte als bemerkenswert stabil, obwohl autoritäre Systeme aus theoretischer Perspektive aufgrund ihrer schwachen Legitimität, einer Überzentralisierung von Entscheidungsstrukturen sowie dem Einsatz von Zwangsmitteln als instabil gelten. Gerade in den letzten

## Centrum für Asienwissenschaften und Transkulturelle Studien

Mit dem 2019 eröffneten Centrum für Asienwissenschaften und Transkulturelle Studien (CATS) auf dem Campus Bergheim wurden die asienwissenschaftlichen Einrichtungen der Universität räumlich und strukturell zusammengeführt, um ein in Deutschland einzigartiges Europa-und-Asien-Zentrum zu begründen. Es vernetzt herausragende Wissenschaftler:innen aus der ganzen Welt und aus allen Fachrichtungen, um den interdisziplinären Dialog mit Fokus auf die Dynamiken globaler transkultureller Prozesse zu fördern. Eine der größten asienwissenschaftlichen Bibliotheken Europas und ein multimediales „Kollaboratorium“ zum Studium Asiens und Europas sind Teil des CATS, ebenso wie das auf dem früheren Exzellenzcluster „Asia and Europe in a Global Context“ aufbauende Heidelberger Centrum für Transkulturelle Studien (HCTS).

MADE IN CHINA

# WORLD POWER BETWEEN AMBITION AND REALITY

ANJA D. SENZ

The question of whether China is strong or weak has been an integral part of international academic debates for almost three decades. Scholars' assessments not only oscillate between extremes, but are also naturally shaped by which aspect of the country and which point in time they focus on. How strong is China's military? Is the Chinese economy weakening? How stable is the regime and the political leadership in Beijing? Has China been weakened by anti-pandemic measures?

For politicians and the public alike, these questions are linked to considerations of the consequences for Germany, Europe and the world. In general, experts tend to either highlight the positive impulses of economic growth resulting from an increasing interdependence or warn of security threats emanating from China as a competitor on the world stage. The European Union has considered China a "partner, competitor and systemic rival" since 2019. The ambiguity of this characterisation is in itself an indicator of the multifaceted nature of China and its role in the world. Strong or weak, menacing or harmless, on the rise or in decline – the article shows how China researchers contribute to answering these questions. ●

PROF. DR ANJA D. SENZ is Professor for Contemporary China Research at Heidelberg University's Institute of Chinese Studies, a position she has held since 2014. After studying political science, sociology and anthropology at the University of Trier and Chinese language and history at Sun Yatsen University in Guangzhou (China), she received her doctorate at the University of Duisburg-Essen (UDE) and worked at the UDE's Institute for East Asian Studies as well as at the Torino World Affairs Institute in Turin (Italy). Her research interests include state-society relations in China, environmental governance, and trade and connectivity in Asia. She is a visiting professor at Nankai University in Tianjin (China), serves on the Editorial Board of the Journal of East Asian Studies and as Speaker of the Academic Advisory Council on China of the German Association for Asian Studies.

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

**“What we call the ‘strength of a country’ is determined by a multitude of political, economic and socio-cultural factors that together solidify into political power.”**

Jahren steht China jedoch vor großen Herausforderungen. Konflikte um Halbleiter, 5G oder seltene Erden verdeutlichen, dass das Land nicht mehr der Zulieferer einfacher Produkte, sondern ein selbstbewusster „Global Player“ und damit ein starker Wirtschaftsakteur geworden ist, der nun aber auch massiv den „Gegenwind“ der Wettbewerber aus dem Westen zu spüren bekommt.

Die gegenwartsbezogene Chinaforschung in Heidelberg analysiert diese innerchinesischen Dynamiken und legt dabei ein besonderes Augenmerk auf ökonomische und ökologische Aspekte des chinesischen Entwicklungswegs (die ökologischen Aspekte wurden bereits im Beitrag „Dicke Luft. China im Umweltstress“ in der Ausgabe KULTUR & NATUR [RUPERTO CAROLA Nr. 15 vom Dezember 2019] thematisiert), die als Spannungsfeld die Beziehung zwischen politischer Führung und Gesellschaft seit vielen Jahren charakterisieren. Dabei werden insbesondere die Implementierungsprobleme spezifischer Umweltschutzmaßnahmen auf den lokalen Ebenen in den Blick genommen, um ein differenziertes Bild von den Mechanismen chinesischer Politik in einem konkreten Handlungsfeld zu erhalten. Ergänzende Medienanalysen betrachten die Deutungsangebote der politischen Führung und deren „Widerhall“ in der chinesischen Gesellschaft und den sozialen Medien.

In fallbasierten, akteursorientierten Untersuchungen betrachten wir ferner Chinas Auftreten in der Welt anhand von Beispielen aus Asien und Europa. Dies betrifft unter anderem die Struktur chinesischer Handelsbeziehungen – das Land ist heute für mehr als 120 Länder der Welt der wichtigste Handelspartner – sowie die Effekte chinesischer Infrastrukturinvestitionen im Ausland. Sowohl bei Handel als auch bei Infrastrukturmaßnahmen wird China immer wieder vorgeworfen, aufgrund der eigenen wirtschaftlichen Stärke einseitige Abhängigkeiten zu schaffen und sodann politisch auszunutzen. Unsere Ergebnisse zeigen jedoch, dass eine einfache Antwort auf die Frage, ob China stark oder schwach ist, aufgrund der vielfältigen miteinander verwobenen sozioökonomischen und politischen Aspekte sowie der verschiedenen involvierten Akteure und deren Einzelinteressen nicht möglich ist. ●

**„Die ‚Stärke eines Landes‘  
ergibt sich aus  
einer Vielzahl von politischen,  
ökonomischen und  
soziokulturellen Faktoren, die  
sich zu politischer  
Macht verdichten.“**

**GEGEN  
DEN**

**MATTHÄUS**

**EFFEKT**

GEGEN DEN MATTHÄUS-EFFEKT

# PERSPEKTIVWECHSEL FÜR CHANCENGERECHTIGKEIT

ANNE SLIWKA

**Mehr als 20 Jahre ist der sogenannte PISA-Schocker, der die Schwächen des deutschen Schulsystems im internationalen Vergleich offenlegte. Doch noch immer besteht in keinem anderen Land weltweit ein so starker Zusammenhang zwischen sozioökonomischem Hintergrund der Familien und Lesekompetenz der Kinder wie in Deutschland, noch immer verlassen zu viele Jugendliche die Schulen ohne Abschluss, und während der Corona-Jahre haben sich die Lernleistungen vor allem bei Grundschulkindern weiter verschlechtert. Die Bildungswissenschaft an der Universität Heidelberg erklärt, warum es zur Lösung der Probleme der falsche Weg ist, Schüler:innen als „schwach“ einzustufen, und wie wir stattdessen „starke Schulen“ schaffen können, denen es gelingt, aus allen Kindern „starke“ Schüler:innen zu machen.**

**J**

Jeder hat eine Vorstellung von einer „starken Schülerin“: Nehmen wir an, sie heißt Lena und ist in mehreren Bereichen leistungsstark, was sich an sehr guten Noten und weiteren Leistungen zeigt. Nehmen wir weiter an, sie spielt Geige im Schulorchester, ist in der Schülermitverantwortung (SMV) tätig und hat auch in der Leichtathletik und im Reiten Erfolge zu verbuchen. Sie ist gut organisiert, erledigt alle Hausaufgaben, bereitet Klassenarbeiten zielorientiert vor und zeigt Initiative und Kreativität in der Bearbeitung aller Aufgaben. Bei Teamarbeit übernimmt sie Verantwortung, ist immer neugierig, Neues zu lernen, und unterstützt andere Schüler:innen im Lernprozess.

Wenn Lehrkräfte Unterstützung suchen, dann wissen sie: Auf diese Schülerin ist Verlass.

Auch von einer „schwachen Schülerin“ haben wir ein klares Bild: Nehmen wir an, sie heißt Jana und hat Schwierigkeiten, den Stoff zu verstehen, erledigt ihre Hausaufgaben, wenn überhaupt, eher schlampig und scheint Klassenarbeiten nicht vorzubereiten. Ihre Noten sind durchwachsen bis schlecht. Sie kann kaum mit dem Tempo der Klasse Schritt halten, wirkt oft unmotiviert und hat viele Fehlzeiten. Eine Lehrerin hat sie eingeladen, zur Theater-AG zu kommen, doch sie war nur einmal dort.

Wir sehen: Es fällt uns relativ leicht, Schüler:innen als „schwache“ beziehungsweise „starke“ Schüler:innen einzuordnen. Doch was genau verbirgt sich hinter diesen Etikettierungen? Jetzt kommt der wissenschaftliche Blick ins Spiel und wir schauen hinter die Kulissen: Haben Lena und Jana gefrühstückt, bevor sie in die Schule kamen? Haben sie zu Hause Zugang zu Büchern, wurde ihnen als Kleinkindern vorgelesen? Was machen ihre Eltern beruflich? Wie viel Förderung durch Eltern und Großeltern haben sie als Kinder erfahren? Wie lange haben sie Kitas und Schulen besucht und wie gut waren diese Kitas und Schulen? Wer hat Lenas Geigenunterricht gezahlt? Und wer bringt Lena zum Tennistraining? Wer hat Zeit für Lena und Jana, wenn sie Kummer und Sorgen haben? Welche Bildungsziele haben die Eltern von Lena und von Jana für deren Zukunft?

## **Vielzahl unterschiedlicher Erklärvariablen**

Solche Fragen stellt die empirische Bildungsforschung, wenn sie das Thema Bildungschancen untersucht – natürlich nicht am Beispiel von Lena und Jana, sondern meist mithilfe von großen Stichproben vieler Tausend oder Hunderttausend anonymisierter Lenas, Janas, Melanies, Maximilians, Mohameds und Johns. Aus diesen nationalen und internationalen Bildungsstudien wissen wir, dass hinter dem Label „schwacher Schüler“ eine Vielzahl unterschiedlicher Erklärvariablen steckt und dass die meisten davon mit Faktoren zu tun haben, die ein Schüler oder eine Schülerin nicht selbst verantwortet.

Denn hinter den Biographien von Lena und Jana sind mit sozialwissenschaftlichen Forschungsmethoden Muster zu erkennen: Mit der richtigen Förderung, ausreichend Ressourcen, gut angebahnten Fähigkeiten der Selbstregulation und einem schulischen Unterstützungssystem, das auch das Wohlbefinden der Schüler:innen im Blick hat, können Schüler:innen mit Schwierigkeiten ihre schulischen Leistungen verbessern und erfolgreich sein. Wenn die schulischen Fähigkeiten zudem nicht der einzige Faktor sind, der über vermeintliche „Stärke“ oder „Schwäche“ entscheidet, sondern der ganze Mensch mit seinen Eigenschaften und Interessen in den Blick genommen wird, dann finden sich bei jeder Jana auch Stärken, auch wenn diese zunächst versteckt sind. Und sobald Jana merkt, dass die Schule nicht nur ihre Schwächen sucht, sondern vor allem ihre Stärken in den Blick nimmt und ausbauen möchte, gewinnt sie mehr Selbstvertrauen und Erfolgszuversicht und fängt mit einer höheren Wahrscheinlichkeit an, an sich zu glauben und sich ein positives Bild ihrer Zukunft auszumalen, was sich wiederum auf ihre Schulleistungen auswirkt.

#### **Eine sich selbst erfüllende Prophezeiung**

Die Verwendung des Begriffs „schwach“ zur Beschreibung von Schüler:innen müssen wir daher aus mehreren Gründen als problematisch sehen. Da ist zunächst der sogenannte Etikettierungseffekt: Schüler:innen als „schwach“ abzustempeln, kann sich leicht zu einer sich

**„In Ländern, in denen der Staat seine Schulen so ausstattet, dass alle Schüler:innen ‚stark‘ werden können, nimmt die soziale Ungleichheit ab und es steigen der gesellschaftliche Zusammenhalt und die Zufriedenheit.“**

#### **Forschungsverbund „Schule macht stark“**

Der Forschungsverbund „Schule macht stark – SchuMaS“, dem auch das Institut für Bildungswissenschaft der Universität Heidelberg angehört, ist Teil einer im Januar 2021 gestarteten gleichnamigen Initiative von Bund und Ländern zur Unterstützung von Schulen in sozial schwierigen Lagen. 13 Forschungsinstitute und 200 Schulen erarbeiten in der auf zehn Jahre angelegten Initiative gemeinsam Strategien und Konzepte für den Unterricht und den Schulalltag, um bestmögliche Bildungschancen für sozial benachteiligte Schüler:innen zu erreichen. In der ersten Phase von 2021 bis 2025 (Entwicklungsphase) werden passgenaue Maßnahmen und Entwicklungsansätze für die beteiligten Schulen erarbeitet und direkt erprobt. In der sich anschließenden zweiten Phase von 2026 bis 2030 (Transferphase) sollen die Konzepte und Strategien auf weitere Schulen in Deutschland übertragen werden. Das Heidelberger Team leitet in der Studie den Metacluster „Verzahnung und Transfer“. Die Finanzierung der Initiative in Höhe von 125 Millionen Euro tragen je zur Hälfte das Bundesministerium für Bildung und Forschung und die 16 Länder.

[www.schumas-forschung.de](http://www.schumas-forschung.de)

# „Schüler:innen als ‚schwach‘ einzustufen und dann mit schlechten Noten oder gar ohne Schulabschluss ins Erwachsenenleben zu entlassen, greift zu kurz.“

selbst erfüllenden Prophezeiung entwickeln, denn es kann ihr Selbstwertgefühl, ihre Lernmotivation und ihr Zugehörigkeitsgefühl zur Schule in einem Maße beeinträchtigen, das letztlich zu Schulabsentismus und im schlimmsten Falle zum Schulabbruch führt. Damit ist für die Schüler:innen nichts gewonnen; aber auch die Gesellschaft verliert nicht nur einen jungen Menschen, sondern potenziell auch einen engagierten Bürger und eine kompetente Fachkraft, was uns – über alle humanistischen Gründe hinaus – in Zeiten einer herausgeforderten Demokratie und eines wachsenden Fachkräftemangels nicht egal sein kann. In Deutschland sind aktuell 630.000 junge Menschen zwischen 15 und 24 Jahren weder in der Schule noch in Ausbildung, Studium oder Beruf. Das ist – auch im internationalen Vergleich – ein zu hoher Anteil der Alterskohorten, weswegen es dringend umzusteuern gilt.

Schüler:innen als „schwach“ einzustufen und dann mit schlechten Noten oder gar ohne Schulabschluss ins Erwachsenenleben zu entlassen, greift also zu kurz, denn einmal mit diesem Label versehen, werden wichtige Faktoren ausgeblendet, die sich auf das Lernen auswirken, zum Beispiel Gesundheit, Sprachkenntnisse oder sozioökonomischer Hintergrund. Dadurch verpassen Schule und Gesellschaft die Gelegenheit, die notwendige Förderung und Unterstützung sowie die Ressourcen zu bieten, die für Erfolg benötigt werden – und es besteht die Gefahr, dass an die Schülerin oder den Schüler keine Erwartungen

mehr gerichtet werden, denn warum sollte man von „schwachen Schüler:innen“ noch Leistung erwarten. Es droht ein Teufelskreis, in dem wir in Deutschland längst stecken: Über sechs Prozent der Schüler:innen schließen die Schule ohne Abschluss ab – und nach Corona steigt der Anteil derzeit weiter.

International besonders leistungsstarke Schulsysteme zeigen, dass das Gegenteil funktioniert: Gerade in der professionellen Arbeit mit belasteten und benachteiligten Schüler:innen gelingt es, Schulen über Sozialindizes kompensatorisch auszustatten, so dass zusätzliche Ressourcen an die Schulen gehen, deren Schüler:innen die stärkste Benachteiligung aufweisen. Zudem ist es wirksam, eine respektvolle und ermutigende Sprache zu verwenden, die sich auf das Wachstumspotenzial und die Stärken der Schüler:innen konzentriert. „Student Success Coordinators“ heißen die Förderkräfte im erfolgreichen Schulsystem von Ontario in Kanada.

## Der „Matthäus-Effekt“ im Bildungswesen

In Deutschland haben wir einen starken „Matthäus-Effekt“ im Bildungswesen: Dieser bildungssoziologisch untersuchte Effekt beschreibt das Phänomen, dass Schüler:innen, die mit einem anfänglichen Vorteil beginnen, im Laufe der Zeit weitere Vorteile sammeln, während diejenigen, die mit einem Nachteil beginnen, tendenziell weiter zurückfallen. Der Begriff stammt aus einem Bibelvers im Matthäus-Evangelium, in dem es heißt: „Denn wer da hat, dem wird

gegeben werden, und er wird die Fülle haben; wer aber nicht hat, dem wird auch, was er hat, genommen werden.“

Der Matthäus-Effekt ist problematisch, weil er soziale und wirtschaftliche Ungleichheiten aufrechterhalten und sogar noch verschärfen kann. Schüler:innen, die aus wohlhabenden Familien stammen, qualitativ hochwertige Schulen besuchen und Zugang zu einer Reihe von Bildungsmöglichkeiten und -ressourcen haben, sind eher in der Lage, akademische Erfolge zu erzielen, ein Hochschulstudium abzuschließen und gut bezahlte Arbeitsplätze zu erhalten. Umgekehrt haben Schüler:innen, die aus einkommensschwachen Familien stammen, Schulen mit geringen Ressourcen besuchen und nur begrenzten Zugang zu Bildungsmöglichkeiten haben, eher Schwierigkeiten in der Schule und brechen diese ab. Gute Beispiele sind Schulbibliotheken, Lehrergehälter und fachfremder Unterricht: Während Gymnasien eigentlich immer über Schulbibliotheken verfügen, ist dies an nichtgymnasialen Schularten längst nicht selbstverständlich – und traditionell verdienen Gymnasiallehrkräfte mehr und haben bessere Aufstiegschancen als Lehrkräfte an Grundschulen und nichtgymnasialen Schularten. Unterricht, den Lehrkräfte erteilen, die das jeweilige Fach nicht studiert haben, ist an Gymnasien selten, an nichtgymnasialen Schularten mittlerweile fast die Regel.

So verfestigt sich strukturell die soziale Ungleichheit. Der Matthäus-Effekt führt dazu, dass es wenig soziale Mobilität gibt und dass eine Gesellschaft auseinanderdriftet, was sich dann auch in der Segregation von Wohnvierteln zeigt. Die sozialen Schichten bleiben unter sich, die soziale Kohäsion der Gesellschaft nimmt ab. Das ist für die Demokratie gefährlich, wie schon jetzt Wählerdaten aus Deutschland zeigen, da Stadtteile entstehen, die politisch nicht mehr repräsentiert sind. Und in Wohnvierteln bilden sich selbst verstärkende Meinungsbubbles.

#### Neuer Fokus auf die Schulen

Die empirische Wende in der Bildungsforschung hat uns die Erkenntnis gebracht, dass letztlich nicht jeder seines Glückes Schmied ist, sondern dass Schul- und Bildungserfolg von unterschiedlichen Parametern abhängen, die Kinder und Jugendliche nicht selbst in der Hand haben. Vor allem der internationale Vergleich der Daten hat uns die Augen geöffnet, denn es gibt Systeme, die es deutlich besser schaffen, Schulen zu Räumen gesellschaftlicher Inklusion und sozialer Mobilität zu machen. Der Fokus auf starke und schwache Schüler bringt uns in Deutschland nicht weiter. Vielmehr findet jetzt in Wissenschaft und Praxis ein Perspektivenwechsel statt, der den Fokus auf die Schule als Institut legt: Es geht nicht um „schwache Schüler:innen“, sondern vielmehr um „starke Schulen“ – also Schulen, denen es gelingt, aus jedem Kind einen

**„Nicht das Kind  
muss sich  
der Schule anpassen,  
sondern die Schule  
passt sich – als Ort der  
Inklusion und  
adaptiven Förderung  
ausgestattet –  
dem Kind an.“**

starken Schüler oder eine starke Schülerin zu machen. Schulen also, die gezielt darauf hinarbeiten, die Auswirkungen des Matthäus-Effekts abzuschwächen, indem sie allen Schüler:innen unabhängig von ihrem Hintergrund gerechte Bildungschancen und hochwertige Bildungsressourcen bieten.

Hier setzt unser vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördertes Forschungsprojekt „Schule macht stark“ an: Wir untersuchen, wie Lehrkräfte und Schulleitungen an 200 Schulen „in sozial schwieriger Lage“ die Ausstattung und Situation ihrer Schule beurteilen, und erproben neue Formen der systemischen Unterstützung. Bis die in diesem Kontext diskutierten Modelle einer neuen Ausstattungs- und Handlungslogik von Schule in der Breite des Schulsystems ankommen, sind politisch und administrativ noch einige Hürden zu nehmen, wofür nicht die Wissenschaft zuständig ist. Doch wir Schulforscherinnen und -forscher können – besonders mithilfe des internationalen Vergleichs – zeigen, dass ein Teil der Probleme deutscher Schulen mit innovativen Ansätzen der Finanzierung und Organisation von Schulen gelöst werden kann. Das halten wir für eine gute Nachricht! Aber was bedeutet es konkret?

### Die Schule passt sich dem Kind an

Eine starke Schule ist eine adaptive Schule – sie ist in der Lage, auf die unterschiedlichen Bedürfnisse ihrer Schüler:innen einzugehen und ihnen zu helfen, ihr volles Potenzial auszuschöpfen. Nicht das Kind muss sich der Schule anpassen, sondern die Schule passt sich – als Ort der Inklusion und adaptiven Förderung ausgestattet – dem Kind an und garantiert durch passende Förderung und psychosoziale Unterstützung, dass alle Kinder und Jugendlichen bestimmte Bildungsstandards erreichen und ein positives Selbstkonzept ihrer Leistungsfähigkeit entwickeln. Eine starke Schule setzt hohe Erwartungen an die schulische Leistung auch von bildungsbenachteiligten Kindern und bietet ihnen einen anspruchsvollen, fachlich hochwertigen Unterricht. Sie ermöglicht allen ein Gefühl der Zugehörigkeit, eröffnet nicht nur Zugang zu kulturellen Ressourcen, sondern verfügt auch über fundierte Programme gegen Mobbing und Gewalt und hat Zusatzpersonal, das sich um die psychische Gesundheit und das Wohlbefinden der Schüler:innen kümmert. Eine starke Schule bildet starke Partnerschaften mit Familien, Vereinen und anderen Organisationen und kann so zusätzliche Ressourcen für ihre Schüler:innen aktivieren – und eine starke Schule setzt auf kontinuierliche Verbesserung: Lehrkräfte arbeiten in Teams, sie nutzen Daten (auch auf Einzelschüler:inenebene), um sicherzustellen, dass ihre Programme und Praktiken effektiv sind, und sie passen ihre Handlungsstrategien den Befunden an.

Im Forschungsprojekt „Schule macht stark“ hat unser Heidelberger Team beispielsweise die sogenannte „strategische

Kernroutine“ zur Sicherung der Basiskompetenzen in Mathematik und Deutsch entwickelt. Als absolutes Bildungsminimum gelten im internationalen Fachdiskurs die Mindeststandards (Kompetenzstufe II in der PISA-Studie) in den Basiskompetenzen Literacy und Numeracy, das heißt im Lesen, Schreiben und Rechnen. Die Basiskompetenzen bilden das Fundament des Lernens und aller darauf aufbauenden Lernprozesse. Ein fehlendes Grundverständnis für Zahlen, Mengen und Relationen führt beispielsweise zu Schwierigkeiten bei der Erfassung komplexer Prozesse und bei wichtigen Alltagsentscheidungen. Erst wenn ein Minimum an Grundbildung gesichert ist, können darauf aufbauend komplexe Lernsettings gestaltet werden, die Schüler:innen die weitreichenden fachlichen und überfachlichen Kompetenzen vermitteln, die sie zur erfolgreichen Bewältigung der Lebensrealität des 21. Jahrhunderts benötigen.

Bisher kommt das deutsche Schulsystem seiner Aufgabe, wenigstens das Bildungsminimum für alle Schüler:innen zu garantieren, nur unzureichend nach, wie die PISA-Studie für Sekundarschulen, die Internationale Grundschul-Lese-Untersuchung (IGLU-Studie) oder auch der Bildungstrend des Instituts zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) bereits seit zwei Jahrzehnten belegen: Rund ein Fünftel der Lernenden erreicht die Mindestkompetenzstandards nicht – besonders gefährdet sind Lernende mit sozioökonomisch benachteiligter Herkunft, die Schulen in sozial deprivierten Lagen besuchen.

### Chancengleichheit und Chancengerechtigkeit

In Kanada werden Schüler:innen, die die Mindestkompetenzstandards nicht erreichen, als „underserved“ bezeichnet: Das bedeutet, dass das reguläre Lernangebot ihren Bedürfnissen nicht gerecht wird und ohne gezielte Intervention die Gefahr negativ verlaufender Bildungsbiographien hoch ist. Auch in Deutschland gibt es diese stetig wachsende Gruppe der „underserved“ Lernenden. Betrachten wir exemplarisch die Lesekompetenz in Klasse 4: Lesen noch 2001 „nur“ Kinder in vier europäischen Staaten signifikant besser als Kinder in Deutschland, so waren es 2016 bereits Kinder aus 16 europäischen Staaten. In keinem anderen Land ist der Zusammenhang zwischen sozioökonomischem Hintergrund der Familie und Lesekompetenz so hoch wie in Deutschland – dieses Problem gilt es schnellstmöglich zu beheben.

Um alle Heranwachsenden so zu unterstützen, dass sie das in Mindestkompetenzstandards dargelegte Bildungsminimum unabhängig von ihrer Herkunft und Lernausgangslage erreichen können, muss das Problem der deutschen Bildungssysteme aufgebrochen werden, durch gleiche Behandlung aller Schüler:innen Ungleichheit zu reproduzieren. Ziel ist ein teilhabegerechtes Bildungssystem. Die Unterscheidung von Gleichbehandlung



**PROF. DR. ANNE SLIWKA** ist seit 2013 Professorin für Bildungswissenschaft mit dem Schwerpunkt Schulpädagogik an der Universität Heidelberg. Sie forscht unter anderem zu Schul- und Schulsystementwicklung in internationaler vergleichender Perspektive, zu Diversität, Differenzierung und Inklusion in Schulen sowie zu Bildung für Demokratie und Zivilgesellschaft. Nach einem Lehramtsstudium und dem Studium der Erziehungswissenschaft, Geschichte und Politischen Philosophie an den Universitäten Bonn, Oxford (England) und Paris (Frankreich) wurde sie 1999 in Oxford promoviert. Nach beruflichen Stationen als Lehrerin, Wissenschaftliche Mitarbeiterin und Projektleiterin übernahm sie 2005 eine Professur für Bildungswissenschaft an der Universität Trier. Vor ihrem Wechsel an die Universität Heidelberg war Anne Sliwka ab 2009 Professorin für Bildungswissenschaft und Prorektorin für Forschung, internationale Beziehungen und Diversität an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg.

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

(englisch „equality“), im deutschen Diskurs oft als „Chancengleichheit“ bezeichnet, und Chancen- oder Teilhabegerechtigkeit (englisch „equity“) lässt sich verdeutlichen am Bild unterschiedlich großer Kinder, die alle von einem gleich hohen Podest aus über eine Mauer auf einen Spielplatz klettern sollen: Während ausreichend große Kinder das problemlos schaffen können, wird kleineren Kindern diese Aufgabe erschwert oder sogar unmöglich gemacht. Chancengerechtigkeit bedeutet dagegen, dass den unterschiedlich großen Kindern unterschiedliche an ihrer Größe orientierte Hilfsmittel zum Überklettern der Mauer zur Verfügung gestellt werden, damit alle die Aufgabe meistern können.

Im schulischen Kontext bedeutet Gleichbehandlung, dass für jeden Lernenden einer Altersstufe die gleichen Ressourcen aufgewendet beziehungsweise die vermeintlich gleichen Ausgangsbedingungen geschaffen werden, ohne die individuellen Lernausgangslagen zu berücksichtigen. Teilhaberechtigkeit erfordert hingegen eine Zuweisung von Ressourcen, die sich passgenau an individuellen Lernausgangslagen und strategischen Zielen ausrichten. Ziel ist der gesicherte Erwerb der Basiskompetenzen unabhängig von Herkunft und Lernausgangslage. Erst wenn alle am Ende ihrer schulischen Laufbahn herkunfts- und begabungsunabhängig die Kompetenzschwellen erreichen, die sie für ein selbstbestimmtes Leben und aktive gesellschaftliche Partizipation benötigen, kann das Schulsystem als gerecht gelten.

Bei einer systemisch angelegten Teilhabegerechtigkeit finden Bemühungen nicht vereinzelt und isoliert statt, sondern der Staat stellt mit gezielt und koordiniert eingesetzten Strategien sicher, dass alle das Bildungsniveau erreichen, das als Minimalvoraussetzung für gesellschaftliche Teilhabe gilt. Daseinsvorsorge im Bereich der Grundbildung bedeutet folglich, dass der Staat ein adaptiv handelndes Schulsystem gewährleistet und mit Blick auf Hardware, Software und Personal so ausstattet, dass es durch Datenverfügbarkeit, datengestütztes Entscheidungshandeln, verbindliche Arbeitsprozesse und adaptive Zuweisung von Ressourcen Lernbedarfe fortlaufend diagnostizieren und darauf angemessen reagieren kann.

#### Die „strategische Kernroutine“

Die hohe Anzahl von „underserved“-Schüler:innen in Deutschland ist unter anderem auf die fehlende Passung zwischen dem schulischen Lernangebot und der individuellen Entwicklung der Lernenden zurückzuführen. Um ausnahmslos alle Heranwachsenden so zu unterstützen, dass sie die Mindestkompetenzstandards erreichen können, müssen individuelle Lernbedarfe systematisch diagnostiziert und zielgerichtet gefördert werden. Wie dies gelingen kann, zeigt die von uns entwickelte „strategische Kernroutine“ zur Sicherung der Basiskompetenzen, welche aus mehreren eng verzahnten Schritten besteht

und auf internationalen Best-Practice-Ansätzen basiert, die eine systematische digitale Lernstandsdiagnostik mit zielgenauen Interventionen verbinden.

Im ersten Schritt der Kernroutine wird zu Schuljahresbeginn bei jedem Kind die Lernausgangslage mit einem digitalen Assessment erhoben, also mit einem computergestützten adaptiven Diagnoseverfahren zur Einschätzung des individuellen Lernstands und Förderbedarfs, das auch im Laufe des Schuljahres für diagnostische Prozesse verwendet werden kann. Die Software analysiert die Daten und bereitet sie für Lehrkräfte auf. Digitalisierte Lernstandserhebungen bieten neben der Diagnostik weitere Unterstützung: So kann die Software unterschiedlich schwierige Aufgaben und Lernmaterialien in Form intelligenter tutorieller Systeme zur Verfügung stellen, außerdem ermöglicht sie die durch künstliche Intelligenz gestützte Auslagerung des Korrigierens, so dass Lehrkräfte ihre Zeit stattdessen für individuelle Förderung nutzen können.

Im zweiten Schritt interpretieren und analysieren die Lehrkräfte gemeinsam die gewonnenen Informationen und entscheiden auf Basis der Lernstandsdiagnostik über die Förderung. Sie arbeiten dazu ko-konstruktiv in Teams, die bei Bedarf von multiprofessionellem Personal unterstützt werden. Alle Entscheidungen werden transparent, digital einsehbar und datenschutzkonform gestaltet. Voraussetzung dafür sind anonymisierte Schüler-Identifikationsnummern, die in vielen Ländern bereits existieren.

Die geplanten Fördermaßnahmen besprechen die Lehrkräfte im dritten Schritt auf der Grundlage einer Infographik und eines professionellen Gesprächsprotokolls mit den Eltern, damit diese alle erforderlichen Informationen und Hilfestellungen zur Unterstützung ihrer Kinder erhalten. In einer schriftlichen Zielvereinbarung halten beide Seiten fest, wie sie sich gemeinsam um den Lernfortschritt der Kinder kümmern werden. Eine enge Kooperation zwischen Schule und Eltern ist wichtig, da das Engagement der Eltern einen großen Einfluss auf den Bildungserfolg hat und diese Informationen benötigen, um in eine positive, den Erfolg des Kindes fördernde Partnerschaft mit der Schule einzutreten.

Der vierte Schritt markiert den Übergang von der Erhebung und Planung zur Intervention, um das individuelle Lernen bestmöglich zu fördern, wofür es international unterschiedliche Organisationsmodelle gibt: Mit Zusatzpersonal können Lernende mit ähnlichen Förderbedarfen in passgenauen Gruppen im oder zusätzlich zum Unterricht gefördert werden. Genauso ist es möglich, einen Teil oder die Gesamtheit des Unterrichts in Deutsch und Mathematik in ein Lernband zu legen und in flexiblen Gruppen Schüler:innen von Woche zu Woche jeweils adaptiv nach ihrer Lernentwicklung bestimmten Lehrkräften zuzuweisen, die sie passgenau fördern.

COUNTERING THE MATTHEW EFFECT

# A NEW PERSPECTIVE FOR MORE EQUAL OPPORTUNITY

ANNE SLIWKA

What exactly do we mean when we classify pupils as “weak or “strong”? That is one of the questions investigated by educational opportunity researchers. First, there is the “labelling effect”: labelling a pupil as weak can turn into a self-fulfilling prophecy, because it can affect the pupil’s self-esteem, motivation to learn and sense of belonging to the school to an extent that ultimately leads to truancy or even to dropping out of school. Nothing is gained for the student, and society loses not just a young voice, but potentially also a committed citizen and competent professional – a setback that is all the more unfortunate in times of a challenged democracy and a growing shortage of skilled workers.

In Germany, we also observe a strong “Matthew effect” in the education system: students who start with an initial advantage tend to accumulate further advantages over time, while those who start with a disadvantage tend to fall further behind. Instead of “weak students”, the focus of science should be on “strong schools” – schools that succeed in turning every child into a strong student by providing equitable educational opportunities and quality educational resources regardless of individual background.

This is where our BMBF-funded research project “Schule macht stark” comes in. We are researching how teachers and school administrators of 200 schools “in challenging social situations” can assess their school's facilities and develop and test new forms of systemic support. As part of this programme, our Heidelberg team has developed a “strategic core routine” designed to help pupils achieve basic competency in mathematics and German. The high number of “underserved” students in Germany is due, among other things, to discrepancies between the school curriculum and the learners’ individual development. Schools need to systematically diagnose every pupil’s individual learning needs and provide targeted, adaptive support to make sure that no child is left behind. ●

PROF. DR ANNE SLIWKA joined Heidelberg University in 2013 as Professor of Education Studies with special focus on school education. Her research covers such topics as school and school system development in an international and comparative context, diversity, differentiation and inclusion in schools, and education on democracy and civil society. She trained as a teacher at the University of Bonn, then studied education science, history and political philosophy in Oxford (UK) and Paris (France) and earned her PhD in Oxford in 1999. Anne Sliwka worked as a teacher, research assistant and project leader before accepting a professorship for education science at the University of Trier in 2005. From 2009 until her transfer to Heidelberg University, she was Professor of Education Science and Vice-Rector of Research, International Relations and Diversity at Heidelberg University of Education.

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

**“It’s not about ‘weak pupils’,  
but rather about  
‘strong schools’ – schools that  
succeed in turning  
every child into a strong pupil.”**

# „Es geht nicht um ‚schwache Schüler:innen‘, sondern vielmehr um ‚starke Schulen‘ – also Schulen, denen es gelingt, aus jedem Kind einen starken Schüler oder eine starke Schülerin zu machen.“

Im letzten Schritt geht es um den Umgang mit Lernentwicklung und Leistungsbewertung: In der Vergangenheit wurden an staatlichen Schulen die Leistungen häufig bewertet, indem die Lernenden einer Klasse miteinander verglichen wurden, was aufgrund der unterschiedlichen Voraussetzungen ungerecht ist und oft demotivierend wirkte. Lernförderlich ist es stattdessen, die Bewertung an klar definierten (Mindest)anforderungen zu orientieren und dies mit fortlaufendem Feedback zur individuellen Lernentwicklung zu kombinieren. So erfahren die Schüler:innen, wo sie im Lernprozess stehen und was mit Unterstützung der Lehrkräfte als Nächstes zu tun ist. Davon profitieren nicht nur Schüler:innen mit Lernschwierigkeiten, sondern auch diejenigen, die sich weit über die Mindeststandards hinaus entwickeln.

#### **Bildung als langfristige Investition**

Diese Kernroutine erhöht erheblich die Wahrscheinlichkeit, dass alle Schüler:innen die Mindeststandards in den Basiskompetenzen erreichen, wie nicht nur Ergebnisse aus Kanada, sondern auch allgemeine Befunde der Lehr-Lern-Forschung zeigen. Durch die Einführung der strategischen Kernroutine an Schulen würden alle Lernenden adaptiv und passgenau bis zum Erreichen der Mindeststandards in den Basiskompetenzen (und darüber hinaus) gefördert, was ein Beitrag zu einer gerechteren Gesellschaft wäre. In

Ländern, in denen der Staat seine Schulen so ausstattet, dass alle Schüler:innen „stark“ werden können, nimmt die soziale Ungleichheit ab und es steigen nachweislich der gesellschaftliche Zusammenhalt und die Zufriedenheit aller Bevölkerungsschichten. Denn Länder mit einer in der Breite gebildeten Bevölkerung weisen eine robustere Demokratie, niedrigere Raten von Kriminalität, bessere Gesundheitswerte und eine höhere Innovationsrate auf.

International besonders leistungsstarke Bildungsnationen wie Kanada, Singapur und Estland zeigen, dass Bildung eine langfristige Investition ist, die im Laufe der Zeit erhebliche gesellschaftliche Erträge bringt. Starke Bildungsforschung und ambitionierte Bildungspolitik sind der Schlüssel zu starken Schulen und diese wiederum der zentrale Hebel, damit aus schwachen starke Schüler:innen werden. ●

**WEIBLICH**

**MÄNNLICH**

WEIBLICH MÄNNLICH

# STEREOTYPE ZUSCHREIBUNGEN ÜBERWINDEN

MONIKA SIEVERDING

**Handlungs- und durchsetzungsstarke Frauen müssen damit rechnen, als „unweiblich“ verurteilt zu werden. Männer wiederum sehen es häufig als Schwäche und damit als „unmännlich“ an, Stress einzugestehen oder Hilfe bei Problemen in Anspruch zu nehmen. Derartige Geschlechterstereotype, die kulturübergreifend zu beobachten sind, halten sich erstaunlich hartnäckig. Wie solche Zuschreibungen nicht nur die Fremd-, sondern auch die Selbstwahrnehmung beeinflussen und welche Auswirkungen das in verschiedenen Lebensbereichen und auf die physische wie auch psychische Gesundheit hat, dazu forscht die Psychologische Genderforschung und Gesundheitspsychologie an der Universität Heidelberg.**



Im Januar 2023 kündigte Jacinda Ardern, die Ministerpräsidentin von Neuseeland, überraschend ihren Rücktritt an. Bei den öffentlichen Reaktionen auf diesen Schritt und der Würdigung ihrer Arbeit wurde, unter anderem von den Premierministern Kanadas und Australiens, ihr besonderes Einfühlungsvermögen betont – eine Eigenschaft, die als typisch weibliche Qualität gilt. Gleichzeitig, und das ist das Besondere, wurde Jacinda Arderns Stärke im Führungsamt hervorgehoben – ein Attribut, das traditionell eher Männern zugeschrieben wird.

Dass Frauen in politischen Führungspositionen beide Qualitäten zugeschrieben werden, Einfühlsamkeit und Stärke, ist ein neues Phänomen. Wie sah es in der Vergangenheit aus? Erst gab es so gut wie gar keine Frauen in politischen Führungspositionen – und als Frauen seit den 1950er- und 1960er-Jahren in die Politik gingen und dort auch

Ämter anstrebten, hatten sie gegen massive Widerstände anzukämpfen. Wie schwer es beispielsweise Frauen in der deutschen Politik von männlichen Kollegen gemacht wurde, ist eindrucksvoll in dem Dokumentarfilm „Die Unbeugsamen“ aus dem Jahr 2020 anhand von Originalmaterial dokumentiert. Bisher wurde Politikerinnen, die Stärke und Durchsetzungskraft in ihrem Job demonstrieren, sehr häufig ihre Weiblichkeit abgesprochen. Ein prominentes Beispiel ist die erste britische Premierministerin Margaret Thatcher, die wegen ihrer Durchsetzungskraft und Stärke den Beinamen „Eiserne Lady“ bekam. Ein anderes Beispiel ist die ehemalige US-amerikanische Senatorin und Präsidentschaftskandidatin Hillary Clinton, die immer wieder mit dem Vorurteil konfrontiert wurde, sie sei nicht weiblich genug. Und solche Vorwürfe kamen nicht nur von männlichen Kollegen und Kommentatoren – ich erinnere mich an einen Kommentar in der „Süddeutschen Zeitung“, in dem eine Journalistin schrieb: „Hillary Clinton, die nicht nur behauptet, aus New York zu sein, sondern die auch behauptet, eine Frau zu sein (...)“

#### **Hartnäckige Geschlechterstereotype**

Von Alice Eagly, einer der Pionierinnen der empirischen Genderforschung in den USA, stammt die Rollen(in-)kongruenztheorie, welche die Vorurteile gegenüber Politikerinnen erklären kann. Nach dieser Theorie gelten die (traditionelle) weibliche Rolle und die Führungsrolle als nicht vereinbar, als inkongruent. Die Attribute, die eine Frau idealerweise haben sollte, um als „feminin“ oder „weiblich“ angesehen zu werden, sind (unter anderem): einfühlsam, hilfsbereit, fürsorglich und freundlich zu sein und auf ein attraktives Äußeres zu achten. Auch Attribute wie „zart“ oder „sanft“ gelten nach wie vor als Kennzeichen von Weiblichkeit. Die Attribute, die eine Führungsperson mitbringen sollte, will sie erfolgreich sein, sind dagegen: selbstbewusst, entscheidungsfreudig, durchsetzungsfähig, unabhängig. Und natürlich: stark.

Eine Frau stand früher auf jeden Fall und steht auch heute noch vielfach vor dem Dilemma: Werde ich als typisch weiblich angesehen, aber als ungeeignet für eine Führungsrolle? Oder werde ich als kompetent in einer Führungsrolle angesehen und riskiere, dass mir meine Weiblichkeit abgesprochen wird?

Geschlechterstereotype wurden seit den 1960er-Jahren immer wieder erforscht, auch im interkulturellen Vergleich. Und auch wenn sich manche Inhalte im Lauf der Jahre geändert haben, sind andere Bestandteile erstaunlich hartnäckig. In meiner Vorlesung zum Thema Psychologische Genderforschung fragte ich die Studierenden zum Beispiel seit Jahren, was in unserer Gesellschaft als „typisch männlich“ und was als „typisch weiblich“ gilt. Und regelmäßig kommen Merkmale wie „selbstbewusst“, „aggressiv“, „durchsetzungsfähig“ und „stark“ zur Beschreibung des

„Bisher wurde  
Politikerinnen, die  
Stärke und  
Durchsetzungskraft  
in ihrem Job  
demonstrieren, sehr  
häufig ihre Weiblichkeit  
abgesprochen.“

# „Die Nutzung der Begriffe ‚agentische‘ und ‚kommunale‘ Eigenschaften anstatt der Begriffe ‚maskuline‘ und ‚feminine‘ Merkmale hat den Vorteil, dass eine Entkopplung von Eigenschaften und biologischem Geschlecht möglich ist.“

männlichen Stereotyps und Merkmale wie „emotional“, „fürsorglich“, „warmherzig“ und „sanft“ zur Beschreibung des weiblichen Stereotyps. Das sind interessanterweise genau die Merkmale, die schon in den 1980er-Jahren in einer interkulturellen Vergleichsstudie als länderübergreifende Charakteristika für typisch männliches und typisch weibliches Verhalten identifiziert wurden.

## „Agentisch“ und „kommunal“

Die Attribute, die als typisch maskulin gelten, werden in der psychologischen Forschung auch als „agentische“ Eigenschaften bezeichnet, die typisch femininen Attribute als „kommunale“ Eigenschaften. Diese Begriffe gehen zurück auf den US-amerikanischen Psychologen David Bakan, der in den 1960er-Jahren die Konzepte „Agency“ („Handlungsorientierung“) und „Communion“ („Gemeinschaftsorientierung“) als zwei grundlegende „Seinsweisen“ der menschlichen Natur eingeführt hat. Agency, der Fokus auf das Individuum, war danach gekennzeichnet durch Kompetenzstreben, Selbstbehauptung und Durchsetzung nach außen. Communion, die Verankerung des Individuums in der Gemeinschaft, war charakterisiert durch das Bestreben, Harmonie und Gemeinsamkeit herzustellen. Beide Prinzipien – Agency und Communion – werden benötigt, damit ein soziales System wie beispielsweise die Familie funktionieren kann. Während David Bakan noch davon ausging, dass mit den unterschiedlichen reproduktiven Funktionen von Männern und Frauen die Zuordnung zu Agency und Communion klar begründet werden könne, wird eine solche Gleichsetzung inzwischen als sozial konstruiert abgelehnt.

Die Nutzung der Begriffe „agentische“ und „kommunale“ Eigenschaften anstatt der Begriffe „maskuline“ und „feminine“ Merkmale hat den Vorteil, dass eine Entkopplung von Eigenschaften und biologischem Geschlecht möglich ist. Auch wenn im Durchschnitt Männer sich selbst als agentischer beschreiben und Frauen sich selbst als kommunaler, gibt es Männer, die wenig agentisch und sehr kommunal sind, und es gibt Frauen, die sehr agentisch und wenig kommunal sind. Personen, die ein überdurchschnittliches Maß an agentischen und kommunalen Eigenschaften aufweisen, werden auch als „androgyn“ bezeichnet (und wer beide Eigenschaften nur in geringem Maß aufweist, gilt als „undifferenziert“).

## Auswirkung auf Fremd- und Selbstwahrnehmung

Gesellschaftliche Geschlechterstereotype, also Bilder im Kopf, wie Männer und Frauen sind oder idealerweise sein sollten, haben eine enorme Wirkung auf die Fremdwahrnehmung von Menschen. Besonders wenn die Erwartung nicht mit dem Verhalten übereinstimmt, sind Sanktionen wahrscheinlich: Beispiele für unmittelbare Reaktionen sind abwertende Kommentare oder nonverbale Signale – etwa, wenn eine Frau besonders durchsetzungsfähig und

forsch ist, oder wenn ein Mann offen Unsicherheit oder gar Schwäche zeigt und das als unmännlich sanktioniert wird.

Geschlechterstereotype beeinflussen aber auch die Selbstwahrnehmung und das (Geschlechterrollen-)Selbstkonzept und darüber das Erleben und Verhalten von Männern und Frauen in verschiedenen Lebensbereichen. Zum Beispiel wirken sie sich darauf aus, welche Ausbildung oder welcher Beruf gewählt wird und ob eine berufliche Karriere angestrebt wird und gelingt. Wir haben beispielsweise in einer Längsschnittstudie mit Medizinerinnen und Medizinern untersucht, welche Prädiktoren für einen beruflichen Erfolg 15 Jahre nach Beginn des Medizinstudiums bedeutsam sind. Es zeigte sich, dass neben anderen Faktoren wie der Länge der Berufsunterbrechungen das Geschlechterrollen-Selbstkonzept eine wichtige Rolle spielt: Personen, die sich am Anfang des Studiums in hohem Maß agentische Eigenschaften zugeschrieben hatten, waren 15 Jahre später erfolgreicher in ihrem Beruf als Personen, die ein geringes Maß an agentischen Eigenschaften aufwiesen. Ähnliche Befunde wurden in anderen Studien zur Vorhersage von beruflichem Erfolg berichtet, so in den Erlanger Längsschnittstudien, in denen Personen aus unterschiedlichen Fächern nach ihrem Studienabschluss wiederholt befragt wurden.

#### Field of Focus 4: Selbstregulation und Regulation

Im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder hat die Universität Heidelberg einen Großteil ihrer Forschung und Lehre unter dem Dach der großen Forschungsfelder themenbezogen zusammengeführt. Mit diesen vier „Fields of Focus“ (FoF) nutzt sie ihr Potenzial, durch Zusammenarbeit über die Grenzen der Disziplinen hinweg komplexe und für die Gestaltung von Zukunft zentrale Problemstellungen kompetent zu bearbeiten und damit gesellschaftliche Verantwortung zu übernehmen. FoF 1 behandelt „Molekulare Grundlagen des Lebens, von Gesundheit und Krankheit“, FoF 2 „Muster und Strukturen in Mathematik, Daten und in der materiellen Welt“, FoF 3 „Kulturelle Dynamiken in globalisierten Welten“ und FoF 4 „Selbstregulation und Regulation: Individuen und Gesellschaften“. Das zentrale Anliegen von FoF 4 besteht darin, menschliche (Selbst-)Regulationsprozesse auf der Ebene von Individuen und Organisationen im interdisziplinären Dialog besser zu verstehen. An dieser Arbeit sind insbesondere Fächer der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften, der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften und Sozialwissenschaften sowie der Juristischen Fakultät beteiligt, daneben auch interdisziplinäre Forschungsverbände, Forschungsstellen sowie außeruniversitäre Partner.

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

#### Gesundheitliche Konsequenzen

Während Geschlechterstereotype die beruflichen Karrieren von Frauen erschweren können, können sie für Männer eine maßgebliche Barriere im Bereich Prävention und Gesundheitsfürsorge sein – auch hier kann man von Rolleninkongruenz sprechen. Die Rolle eines „idealen“ Mannes, der stark, selbstständig, selbstbewusst und unabhängig ist, ist nicht vereinbar mit der Rolle einer Person, die sich um ihren Körper und ihre Gesundheit sorgt und aus diesem Grund auch präventiv professionelle Beratung und Unterstützung zum Beispiel von einer Ärztin oder einem Psychotherapeuten sucht. Die Inanspruchnahme von Hilfe gilt als „unmännlich“, und so formulierte es ein Mediziner in einer meiner Studien zum Thema Stress und Stressbewältigung folgendermaßen: „Ich bewältige meinen Stress selbst!“ Ein anderer sagte: „Ich finde Stress positiv.“ Eine besonders häufige Antwort von Männern ist diese: „Ich habe keinen Stress!“

Somit ist es nicht verwunderlich, dass in vielen repräsentativen Befragungen zum Thema Stress Frauen im Durchschnitt höhere Werte erreichen, denn das Wahrnehmen und Zugeben von Stress ist nicht vereinbar mit der traditionellen männlichen Rolle. Gestresst zu sein oder professionelle Hilfe für psychische oder physische Probleme in Anspruch zu nehmen, wird von vielen Männern als Schwäche angesehen. Aber das heißt nicht, dass Männer weniger gestresst sind als Frauen – es heißt, dass der männliche Stress schwerer zu erfassen ist.

In einer Laborstudie haben wir eine Bewerbungssituation simuliert, in der typische Aufgaben absolviert werden sollten. Unter anderem sollte ein schriftlicher Leistungstest unter Zeitdruck bearbeitet werden, außerdem sollten die Teilnehmenden in einem Vortrag ihre eigenen Qualifikationen vorstellen. In dieser Studie haben wir sowohl subjektive als auch körperliche Stressindikationen wie Blutdruckreaktivität untersucht. Es stellte sich heraus, dass Männer im Durchschnitt geringeren subjektiven Stress berichteten als Frauen – bei den Blutdruckwerten war es jedoch umgekehrt, hier reagierten die Männer mit stärkeren Anstiegen. Eine genauere Analyse ergab, dass nicht das biologische Geschlecht für diese Unterschiede verantwortlich war, sondern das Geschlechterrollen-Selbstkonzept: Männer (und Frauen), die ein hoch agentisches (das heißt ein eher maskulines) Selbstkonzept aufwiesen, beschrieben sich trotz erhöhter Blutdruckreaktionen gleichzeitig als besonders wenig gestresst. Eine solche Diskrepanz zwischen subjektiven und körperlichen Stressreaktionen könnte ein Gesundheitsrisiko sein, insbesondere dann, wenn sie länger andauert oder häufig auftritt. Denn Personen, die ihre körperlichen Stressreaktionen nicht wahrnehmen (wollen), warten oft zu lange, bis sie kürzertreten und medizinische oder psychologische Beratung oder Therapie in Anspruch

FEMALE MALE

# OVERCOMING STEREOTYPES

MONIKA SIEVERDING

Gender stereotypes define attributes which are considered typical or appropriate for men and women. Examples of masculine (also called agentic) attributes are self-confidence, independence, activeness and strength. Examples of feminine (also called communal) attributes are sensitivity, affection, emotion and tenderness. Such gender stereotypes that are common to different cultures influence the self-concept and behaviour of individuals. They also influence the way individuals are seen and treated by others.

Role (in-)congruity theory posits that women and men are confronted with conflicting expectations, especially when they pursue a career in nontraditional fields or show nontraditional behaviour. For example, the “feminine” attributes that women are expected to display are not congruent with the attributes expected from a (political) leader. This is one of the reasons why women face more difficulties in advancing to leadership positions and why women leaders often feel more harshly criticised than men in similar positions. On the other hand, the “masculine” attributes expected to be displayed by men are not compatible with admitting to having problems or being stressed or asking for help. This is one reason why men on average report less stress than women and why many preventive measures for mental or physical health are underused by men.

Gender stereotypes can thus become barriers for women in their professional career, on the one hand, and barriers for men in their care for their own mental and physical well-being, on the other. The androgyny hypothesis states that individuals who are able to realise their agentic and communal attributes independently of their biological sex, i.e. who are “androgynous”, enjoy more flexibility in their role behaviour. In the context of this article, this means being strong when it matters and admitting weakness when necessary. ●

PROF. DR MONIKA SIEVERDING accepted the Chair of Psychological Gender Research and Health Psychology at Heidelberg University's Institute of Psychology in 2005 and heads the Institute's eponymous research unit. After studying psychology at the University of Marburg, she worked as a researcher in a social-psychiatric pilot project in Lübeck. She earned her doctorate at the department of Medical Psychology at the FU Berlin, where she also completed her habilitation in 1999. Before her transfer to Heidelberg, she was a visiting professor for psychological gender research at FU's Department of Psychology. Monika Sieverding's research interests include gender roles in the context of health and career development, social norms and health-relevant behaviour, and self-regulation processes in health and illness.

Contact: [monika.sieverding@psychologie.uni-heidelberg.de](mailto:monika.sieverding@psychologie.uni-heidelberg.de)

**“While gender stereotypes may hinder women’s careers, they may also create a major barrier for men when it comes to healthcare and disease prevention.”**



**PROF. DR. MONIKA SIEVERDING** ist seit 2005 Professorin für Psychologische Genderforschung und Gesundheitspsychologie am Institut für Psychologie der Universität Heidelberg, an dem sie die gleichnamige Arbeitseinheit leitet. Nach ihrem Psychologiestudium an der Universität Marburg und wissenschaftlicher Begleitforschung in einem sozial-psychiatrischen Modellprojekt an der Medizinischen Hochschule Lüneburg wurde sie an der FU Berlin promoviert, an der sie sich 1999 auch habilitierte. Anschließend forschte sie dort bis zu ihrem Wechsel nach Heidelberg als Gastprofessorin für Psychologische Genderforschung am Institut für Psychologie. Zu Monika Sieverdings Forschungsschwerpunkten zählen neben Geschlechterrollen im Kontext von Gesundheit und beruflicher Entwicklung unter anderem soziale Normen und gesundheitsrelevantes Verhalten sowie Selbstregulationsprozesse im Umgang mit Krebserkrankungen.

Kontakt: [monika.sieverding@psychologie.uni-heidelberg.de](mailto:monika.sieverding@psychologie.uni-heidelberg.de)

nehmen. Die Folgen können psychischer Art sein wie ein Burn-out oder eine Depression, aber auch körperlicher Art wie ein Herzinfarkt.

Dieses Phänomen untersuchen wir zurzeit genauer am Psychologischen Institut in Kooperation mit dem Institut für Medizinische Psychologie in einem FoF-4-Projekt (siehe Infokasten) zum Thema „Stress und Selbstregulation in Abhängigkeit von Geschlecht und Geschlechterrollen-Selbstkonzept“. Dafür rekrutieren wir eine größere Stichprobe von berufstätigen Personen, und zwar nicht nur in einer Laborstudie, sondern auch über sogenanntes ambulantes Assessment, bei dem wir Daten im Alltag der Untersuchten und somit direkt in konkreten Situationen erfassen. Neben subjektiven Stresseinschätzungen werden in diesem Projekt Cortisolwerte als Indikatoren der physiologischen Stressreaktion erfasst.

#### **Emanzipierung von Geschlechterstereotypen**

Die US-Psychologin Sandra Bem hatte in den 1970er-Jahren die sogenannte „Androgynie-Hypothese“ aufgestellt: Nach dieser Hypothese weisen solche Personen unabhängig von ihrem biologischen Geschlecht die höchste psychische Gesundheit auf, die über ein hohes Maß an agentischen (maskulinen) und kommunalen (femininen) Eigenschaften verfügen, also als androgyn bezeichnet

werden. Zunächst fand diese Hypothese wenig Unterstützung, da insbesondere in Fragebögen mit Selbstausskünften zu psychischer Gesundheit vor allem Zusammenhänge zu maskulinen Eigenschaften gefunden wurden. Inzwischen mehren sich jedoch aus verschiedenen Forschungsfeldern Hinweise, die die Androgynie-Hypothese unterstützen.

Androgyne Personen können auf die Anforderungen des Lebens in verschiedenen Bereichen flexibel reagieren: Sie können stark sein, wenn es darauf ankommt, zum Beispiel, um sich in der Politik, in der Wirtschaft, im Berufsleben oder auch in der Familie durchzusetzen. Und dieselben Personen können fürsorglich und einfühlsam sein, wenn es erforderlich ist: im Umgang mit Familienmitgliedern, mit Kolleginnen und Mitarbeitern – aber nicht zuletzt auch im Umgang mit sich selbst.

Die Herausforderung für die einzelne Person wie für die Gesellschaft besteht darin, sich von überholten Geschlechterstereotypen zu emanzipieren und damit mehr Freiräume zu ermöglichen im Erleben und Verhalten von Menschen unabhängig von ihrem Geschlecht und ihrer Geschlechtsidentität. ●

**„Während Geschlechterstereotype die beruflichen Karrieren von Frauen erschweren können, können sie für Männer eine maßgebliche Barriere im Bereich Prävention und Gesundheitsfürsorge sein.“**

**AM  
WENIGSTEN**

**SCHLLECHT?**

AM WENIGSTEN SCHLECHT?

# LEISTUNG, QUALITÄT UND RESILIENZ DEMOKRATISCHER SYSTEME

AUREL CROISSANT

**US-Präsident Abraham Lincoln beschrieb einst die Demokratie als „Regierung des Volkes, durch das Volk und für das Volk“. Mittlerweile kennt die Politikwissenschaft verschiedenste Demokratiemodelle wie pluralistisch-repräsentative Demokratien, direkte Demokratien, beteiligungsorientierte Demokratien, Konkurrenz- oder Konkordanzdemokratien – je nachdem, welche Perspektiven, Parameter und Zielsetzungen zum Tragen kommen. Aber was sind die Stärken und Schwächen der Demokratie? Und gibt es auch Kriterien für „starke“ beziehungsweise „schwache“ Demokratien? Mit Fragen wie diesen beschäftigt sich auch die Forschung am Institut für Politische Wissenschaft der Universität Heidelberg.**

D

Der britische Staatsmann Winston Churchill formulierte einmal, dass die Demokratie die schlechteste Regierungsform sei – abgesehen von all den anderen Formen, die von Zeit zu Zeit ausprobiert wurden. Sein Zynismus war vielleicht menschlich nachvollziehbar, hatten doch die britischen Wähler:innen ihn nur wenige Monate nach dem Sieg Großbritanniens im Zweiten Weltkrieg als Premierminister abgewählt. Das Bonmot ruft jedoch in Erinnerung, dass „die“ Demokratie zweifelsohne viele Schwächen hat. Tatsächlich findet sich vor dem 19. Jahrhundert kaum ein politischer Denker, der nicht die Ansicht vertreten hätte, dass die Volksherrschaft eine durchweg schreckliche Regierungsform sei. Im 19. Jahrhundert jedoch setzte ein Wandel in der Bewertung der Demokratie ein, und im letzten Viertel des 20. Jahrhunderts schien sie sich als eine globale Norm durchgesetzt zu haben. Inzwischen kann es sich kaum noch eine Regierung leisten, nicht wenigstens Lippenbekenntnisse zur Demokratie abzugeben. Tatsächlich wuchs die Zahl der Demokratien weltweit von 36 im

Jahr 1970 auf 94 im Jahr 2010; ihr Anteil an allen Staaten verdoppelte sich im gleichen Zeitraum von 25 Prozent auf 53 Prozent, wie etwa die jährlich aktualisierten Daten des schwedischen V-Dem Institute (Varieties of Democracy) zeigen.

Seit einigen Jahren scheint die Welt der Demokratien aber gehörig in Unordnung geraten zu sein: Es mehren sich kritische Einschätzungen zur Qualität der real existierenden Demokratien, zu ihrer Problemlösungs- und Widerstandsfähigkeit sowie zu ihren Stärken und Schwächen relativ zu nicht demokratischen Herrschaftsformen (sogenannten Autokratien). Manch unzufriedene Demokrat:innen und Klimabewegte verzweifeln an der von ihnen so empfundenen Handlungs- und Reformschwäche der Demokratie. Mächtigeren Autokraten wie der ehemalige US-Präsident Donald Trump versuchen die vermeintlichen Schwächen ihrer Demokratien mit dem eigenen Anspruch als starke Führer („I alone can fix it“) zu kontrastieren. Lupenreine Diktatoren wie Wladimir Putin oder Xi Jinping wollen der schwächelnden „soft power“ der Demokratien die eigene „sharp power“ entgegensetzen. Sie alle eint, dass die Demokratie als eine inhärent schwache Regierungsform wahrgenommen wird.

#### Ein „essenziell umstrittenes Konzept“

Die Stärken und Schwächen der Demokratie können nicht losgelöst von den normativen Erwartungshaltungen an die Demokratie diskutiert werden. Diese variieren

naturgemäß mit dem Verständnis dessen, was eine Demokratie sein sollte oder ist.

Demokratie kommt bekanntlich aus dem Griechischen und bedeutet zunächst einmal nur „Herrschaft des (Staats-)Volkes“, und zwar in dem Sinne, dass die Mehrheit der mitwirkungsberechtigten Angehörigen des Volkes entscheidet. Ebenfalls weithin anerkannt ist, dass es sich bei der Demokratie um ein „essenziell umstrittenes Konzept“ handelt, also um eine abstrakte Idee, die aufgrund divergierender Wertvorstellungen so unterschiedlich interpretiert wird, dass keine allgemein verbindliche Festlegung möglich ist.

Weder gibt es also ein einheitliches Demokratiemodell noch eine einheitliche normative Vorstellung davon, was eine starke oder schwache Demokratie ausmacht. Der Blick auf die verschiedenen Demokratietheorien legt nahe, dass beteiligungsorientierte Demokratievorstellungen, die Demokratie im Kern als Methode der Bürgerpartizipation verstehen, und substanzialistische, also an Politikergebnissen wie beispielsweise soziale Gerechtigkeit und Gemeinwohl orientierte Demokratievorstellungen einerseits sowie liberale und prozedurale Demokratiemodelle andererseits, sehr stark in ihrer Einschätzung einer „starken“ Demokratie divergieren.

So kontrastiert etwa der amerikanische Demokratietheoretiker Benjamin Barber in seiner normativen Analyse „Strong

**„Demokratische Resilienz wird auf Jahre und Jahrzehnte hinaus ein zentrales Thema der empirischen Demokratieforschung bleiben.“**

Democracy“ (1984) „starke“, bürgerbeteiligungsorientierte Systeme und „magere“, pluralistische Demokratien. Letztere seien mit einer ganzen Reihe von strukturellen Schwächen behaftet, zu denen Barber vor allem das partizipationsfeindliche Repräsentationssystem, das Fehlen von Mechanismen der Herstellung öffentlicher Einstellungen und Ziele sowie die mühsam verschleierte Förderung durchsetzungsstarker privater Interessen auf Kosten von Mechanismen der Gemeinwohlorientierung zählt. Als starke Demokratie hingegen sieht Barber eine Politik der „Selbstregierung der Bürger“, welche durch Institutionen betrieben wird, die eine dauerhafte Beteiligung der Bürger:innen an der Festlegung der Tagesordnung, der Beratung, der Gesetzgebung und der Durchführung von Politiken erleichtern. Hierdurch wird eine Form der nicht konformistischen Bürgergemeinschaft erzeugt oder reproduziert, in der Freiheit und Gleichheit gefördert und politisches Leben aufrechterhalten werden. Gegenüber Barbers idealistischer Überhöhung von Partizipation, Bürgersinn und Gemeinwohl als Kennzeichen einer „starken“ Demokratie kann die pluralistische Demokratie nur „schwach“ erscheinen. Doch die von Barber vorgeschlagenen Demokratiereformen beschränken sich auf schwache, teils gut gemeinte, aber schlecht durchdachte Ergänzungen der real existierenden repräsentativen Demokratien.

Stärker erfahrungswissenschaftlich informierte Theoretiker zeichnen ein differenziertes Bild der Repräsentativdemokratie. In seiner 1835/1840 verfassten und bis heute einflussreichen Analyse der Demokratie in Amerika hat der französische Politiker und Demokratieforscher Alexis de Tocqueville einige ihrer zentralen Stärken und Schwächen herausgearbeitet. Zu den Schwächen gehört demnach eine beunruhigende Fehleranfälligkeit des demokratischen Entscheidungsprozesses, zu den Stärken zählt die beachtliche Fähigkeit zur Fehlerkorrektur. Die Demokratie zeige zudem Innovationskraft, Lernfähigkeit und Entwicklungsdynamik und fördere damit die allgemeine Wohlfahrt, wovon auch schwächere Gesellschaftsmitglieder profitierten. Allerdings korrespondiere all dies mit der notorischen Rekrutierungs-

# „Es gibt weder ein einheitliches Demokratiemodell noch eine einheitliche normative Vorstellung davon, was eine starke oder schwache Demokratie ausmacht.“

schwäche des politischen Systems, das eher mediokre Gestalten anziehe, einer „fieberhaften Erregung“ des politischen Wettbewerbs und dessen Anfälligkeit für Gefälligkeiten und die Verteilung von Wohltaten. Daher tendiere die Demokratie zur expansiven und kurzsichtigen Staats-tätigkeit, auch auf Kosten der Befriedigung zukünftiger Bedarfe. Durch die Gewährung von Teilhaberechten der Bürger:innen stärke die freiheitliche Demokratie den Sinn der Einzelnen für die Achtung von Recht und Gesetz sowie ihre bürgerschaftliche Gesinnung. Dem entgegen stehe die im demokratischen Mehrheitsprinzip angelegte Gefahr der Tyrannei der Mehrheit über die Minderheit und den Einzelnen. So drohe die „unwiderstehliche Stärke“ der Mehrheit zur freiheitsbedrohenden Schwäche der Demokratie zu werden. Schließlich stellt Tocqueville fest, dass die Vorzüge der Demokratie sich nur langfristig entfalten können, die Schwächen jedoch schon nach kurzer Zeit wirken – die moderne Forschung spricht diesbezüglich von der Demokratie als einer „stock variable“.

## Verschiedene Varianten starker Demokratien

Die normative Demokratietheorie erkundet Maßstäbe, anhand derer beurteilt werden kann, wie eine Demokratie beschaffen sein sollte, um als stark gelten zu können. Die empirische Demokratieforschung fragt hingegen, wie „schwach“ oder „minder“ eine Demokratie tatsächlich ist.

In der aktuellen empirisch-vergleichenden Demokratieforschung lassen sich verschiedene Perspektiven auf die Stärken und Schwächen der Demokratie unterscheiden. Entsprechend gibt es auch nicht die eine Form der starken (oder schwachen) Demokratie, sondern verschiedene Varianten von starken beziehungsweise schwachen Demokratien. Eine Perspektive fragt nach der Leistungsbilanz von Demokratien („Performanz“), die zweite Betrachtungsweise nach der Fähigkeit des demokratischen Regimes, seinen eigenen demokratischen Anspruch einzulösen („Qualität“), und ein dritter Forschungsstrang untersucht die Fähigkeit einer Demokratie,

Schocks oder Krisen zu überstehen, ohne ihren demokratischen Charakter zu verlieren („Resilienz“).

### Leistung als Maßstab der Stärke

Demokratieforschung in der Tradition von Alexis de Tocqueville fragt nach den Leistungsvorteilen oder den Schwächen der Demokratie bei der Erbringung und Gewährleistung begehrter politischer, sozialer, ökonomischer oder auch ökologischer Güter und Rechte. In diesem Sinne bestimmt sich Stärke der Demokratie aus ihrer messbaren Leistungsbilanz. Die damit korrespondierenden Forschungsergebnisse lassen sich in einem Doppelbefund zusammenfassen: Einerseits schneiden die Demokratien bei der Bereitstellung von öffentlichen Gütern und der Sicherung von Menschen- und Bürgerrechten im Durchschnitt besser ab als Nichtdemokratien. Außerdem sind sie weniger anfällig für schwere Wirtschaftskrisen, sorgen sich mehr um Zukunftsgüter und besitzen den Vorteil von Regeln für einen friedlichen und berechenbaren Machtwechsel.

Andererseits gibt es innerhalb der Gruppe der Demokratien beträchtliche Unterschiede. Als besonders erfolgreiche Regierungsform gelten vor allem die etablierten Demokratien des Globalen Nordens – allerdings profitieren diese, wie die empirische Forschung lehrt, von vorteilhaften gesellschaftlichen, geographischen, klimatischen und institutionellen Rahmenbedingungen. Für viele der meist jungen Demokratien in Ländern des Globalen Südens gilt dies nicht – sie zeigen oftmals Leistungsschwächen, welche dazu beitragen, dass die Bürger:innen die Demokratie häufig nicht als die am wenigsten schlechte Herrschaftsform wahrnehmen.

### Qualität als Maßstab der Stärke

Eine zweite Betrachtungsweise fokussiert auf die Fähigkeit des demokratischen Regimes, seinen eigenen demokratischen Anspruch einzulösen. In dieser Hinsicht ist eine Demokratie „stark“, wenn sie eine größtmögliche Realisierung der zugrunde gelegten Prinzipien erreicht und dieses gelebte Anspruchsniveau auf Dauer halten kann. Hier dient als Maßstab der Stärke oder Schwäche einer Demokratie also die

(demokratische) „Qualität“ ihrer Institutionen, Verfahren und Prozesse. Wiederrum ergibt der knappe Durchgang durch die empirische Forschung einen ambivalenten Doppelbefund.

Zum einen diagnostizieren viele Forscher:innen seit Jahren eine demokratische Regression sowohl in industrialisierten OECD-Demokratien als auch in vielen Ländern des Globalen Südens. In ihrem aktuellen Jahresbericht schreiben etwa die Forscher:innen des V-Dem Institute, dass vier von zehn Menschen weltweit in Staaten lebten, in denen sich in den letzten zehn Jahren grundlegende demokratische Freiheiten sowie die Möglichkeiten zur Teilhabe an freien und fairen Wahlen substanziell verschlechtert hätten. Auch die Rechtsstaatlichkeit und die unabhängige Justiz hätten vielerorts gelitten. Zugunommen habe hingegen das Ausmaß, in dem materielle und immaterielle Ungleichheiten die Fähigkeit der Bürger:innen zur Ausübung ihrer formalen Rechte und Freiheiten behinderten. Andere Demokratiebarometer kommen zu vergleichbaren Ergebnissen.

Die Forschung benennt verschiedene Faktoren, welche die Demokratie aktuell schwächen: Hierzu gehört einerseits die Entfremdung vieler Bürger:innen in westlichen Ländern von der Demokratie aufgrund der wachsenden Kluft zwischen der wahrgenommenen Realität der Repräsentativdemokratie und dem Anspruchsideal der demokratischen Selbstbestimmung. Andererseits trägt die zunehmende Verlagerung vieler politischer Entscheidungen in technokratische Gremien wie Zentralbanken, internationale Organisationen, die Europäische Kommission und (Verfassungs-) Gerichte, die kaum mehr vom Wahlvolk legitimiert oder kontrolliert werden, zur Demokratieverdrossenheit der Gesellschaft bei. Hinzu kommen Identitätskonflikte infolge des kulturellen und demographischen Wandels sowie technologische und wirtschaftliche Veränderungen, die von einem Teil des Wahlvolkes als Bedrohung empfunden werden. Dies heizt die Polarisierung der Gesellschaft an. In den sich entwickelnden Demokratien liegt dagegen der Schwäche der Demokratie häufig ein „Syndrom“ zugrunde: Strukturelle Verletz-

lichkeiten wie eine schwache Wirtschaftsentwicklung, schwache Institutionen und die schwache Kontrolle von Militär und Sicherheitsdiensten verbinden sich mit dem Machtstreben demokratisch gewählter Regierungen, was die Demokratie von innen heraus aushöhlt.

Allerdings stoßen Behauptungen zur Krise geschwächter Demokratien auch auf Widerspruch. Zwar zeigen prominente Beispiele wie die USA unter Donald Trump, Viktor Orbans Ungarn, die Türkei unter Recep Tayyip Erdoğan oder Jair Bolsonaros Brasilien eine substanzielle Schwächung der Demokratie, bei genauerer Betrachtung wird jedoch deutlich, dass andererseits viele Demokratien heutzutage wesentlich demokratischer sind als früher – man vergleiche etwa die Bundesrepublik Deutschland der Adenauer-Jahre mit heute. Aber auch andernorts besitzen Frauen, sexuelle und ethnische Minderheiten, Zugewanderte oder junge Menschen deutlich bessere bürgerliche und politische Teilhabemöglichkeiten. Die auf subjektiven Experteneinschätzungen basierenden Daten der Demokratiebarometer à la V-Dem korrespondieren kaum mit objektiven (statistischen) Kennziffern von Demokratiequalität. Allerdings ist unklar, ob dies an mangelnder Validität der statistischen Indikatoren liegt oder an Reliabilitätsproblemen der Experteneinschätzungen. Schließlich scheint trotz aller Krisen, Herausforderungen und (vermeintlichen) Schwäche die Widerstandsfähigkeit vieler Demokratien bemerkenswert stark zu sein – was zum dritten Bewertungsmaßstab führt.

### Resilienz als Maßstab der Stärke

Denn die Stärke einer Demokratie kann drittens auch definiert werden im Hinblick auf die Fähigkeit eines demokratischen Systems, größere externe oder interne Schocks zu absorbieren und sich zu reorganisieren, ohne seine demokratische Identität zu verlieren. Damit wird das Maß an „Resilienz“ zum Gradmesser starker oder schwacher Demokratien. Der Begriff der „Resilienz“ hat in den vergangenen Jahren Eingang in diverse Wissenschaftsdiskurse gefunden und wird auch deshalb verschiedentlich als Modewort

**„Die Stärken und Schwächen der Demokratie können nicht losgelöst von den normativen Erwartungshaltungen an die Demokratie diskutiert werden.“**

# „Präventive und reaktive Resilienz bestimmen zusammen die Robustheit (Stärke) oder Verletzlichkeit (Schwäche) einer Demokratie.“

bezeichnet, womit wohl gemeint ist, dass eine „spezifische kontextuelle Kennlichkeit“ verloren ging, wie Horst Kahrs und Thomas Falkner in einer Ende 2020 erschienenen Untersuchung zu demokratischer Resilienz und resilienter Demokratie konstatieren.

Diese für die Demokratieforschung recht neue Betrachtungsweise betont Eigenschaften wie Elastizität und Anpassungsfähigkeit als Merkmale systemischer Stärke von Demokratien. Einen besonderen Schub erhielt sie in den vergangenen Jahren durch das Zusammenfallen von globaler Demokratieregression und COVID-19-Pandemie, die auch ein Stresstest politischer Institutionen und demokratischer Prozesse war. Demnach lässt sich zwischen einer präventiven und einer reaktiven Komponente der Resilienz unterscheiden: Präventive Resilienz äußert sich im Bereich des Regierens zuallererst im Einsatz stressabwehrender Instrumente. Hier wäre aus bundesdeutscher Perspektive zum Beispiel das Instrumentarium der wehrhaften Demokratie, unter anderem Parteienverbote für demokratie- und verfassungsfeindliche Organisationen, zu nennen. Reaktive Resilienz

hingegen zeigt sich im Einsatz stressabsorbierter Strategien und Mechanismen, etwa friedliche Massenproteste gegen die machtarrondierenden Herrschaftsstrategien und für die Amtsenthebung der südkoreanischen Präsidentin Park Geun-hye in den Jahren 2016 und 2017. Gemeinsam trägt beides dazu bei, dass gestresste Demokratien sich anpassen und erholen. Präventive und reaktive Resilienz bestimmen also zusammen die Robustheit (Stärke) oder Verletzlichkeit (Schwäche) einer Demokratie.

Im Unterschied zu der Forschung zur Leistungsfähigkeit und Qualität von Demokratien steht die Messung der demokratischen Resilienz noch am Anfang. Es fehlen daher bislang die validen Indikatoren und zuverlässigen Daten für empirische Analysen. Erste Analysen deuten jedoch darauf hin, dass unterschiedliche institutionelle Teilregime der Demokratie, beispielsweise freie und faire Wahlen, wechselseitige Gewaltkontrolle und richterliche Unabhängigkeit oder Minderheitenrechte und deren Schutz durch die Gerichte, auf verschiedene Mechanismen der Resilienz verweisen und dass sich reaktive Resilienz zumindest zum Teil aus



**PROF. DR. AUREL CROISSANT** ist seit 2006 Professor am Institut für Politische Wissenschaft der Universität Heidelberg. Er forscht empirisch-vergleichend zu Fragen von Demokratie und Diktatur, Militär und Politik sowie zu den politischen Systemen im pazifischen Asien und ist Mitherausgeber der politikwissenschaftlichen Zeitschrift „Democratization“. Vor seiner Berufung nach Heidelberg war Aurel Croissant nach Studium und Promotion an der Universität Mainz als Assistant Professor am Department for National Security Affairs an der Naval Postgraduate School im kalifornischen Monterey (USA) tätig.

Kontakt: aurel.croissant@ipw.uni-heidelberg.de

THE LEAST BAD OPTION?

# THE POWER, QUALITY AND RESILIENCE OF DEMOCRATIC SYSTEMS

AUREL CROISSANT

Democracy has its strengths and its weaknesses. These strengths and weaknesses cannot be discussed without reference to the normative expectations regarding democratic systems. Normative democratic theory examines the standards used to determine what qualities a democracy should have in order to be considered strong. Empirical democracy research asks how “weak” or “diminished” existing democracies really are. Since democracy itself is the subject of controversial debates, there is no universally accepted, normative concept of what constitutes a strong or weak democracy.

For instance, participatory and substantialist concepts of democracy, on the one hand, and liberal and procedural democratic models, on the other, differ greatly in their assessments of a “strong” democracy. Both praise for participatory democracy and criticism of representative democracy in republican models of democratic systems must be taken with a grain of salt. It goes without saying that representative democracy has any number of potential flaws and weaknesses. They are, however, balanced by benefits and strengths that have established democracy’s reputation as the empirically least bad form of government in the places where they manifest themselves. Empirical research of various criteria such as effectiveness, democratic quality and systemic resilience have shown significant differences within the group of existing democracies.

The number of resilient, effective and fully functional democracies is much smaller than that of “weaker” democracies of diminished quality. A great deal of empirical research has been done on the effectiveness and quality of democratic systems. By contrast, we have only just begun to investigate the resilience of democracies as an important factor of their systemic strength. Democratic resilience will remain a key topic of empirical democracy research for years to come. ●

PROF. DR AUREL CROISSANT has held a professorship at Heidelberg University's Institute for Political Science since 2006. He conducts empirical and comparative research on questions of democracy and dictatorship, armed forces and politics, and on political systems in Pacific Asia; he is also co-editor of the political science journal "Democratization". Prior to his current tenure as W3 professor in Heidelberg, Aurel Croissant studied and earned his PhD at the University of Mainz and then worked as Assistant Professor at the Department for National Security Affairs of the Naval Postgraduate School in Monterey, California (USA).

Contact: aurel.croissant@ipw.uni-heidelberg.de

**“The combination of preventive and reactive resilience determines the robustness (strength) or vulnerability (weakness) of a democracy.”**

anderen Quellen speist als die adaptive Resilienz. Daher ist es eigentlich auch nicht richtig, von „einer“ demokratischen Resilienz zu sprechen. Vielmehr gehen meine Kolleg:innen aus Korea, Taiwan sowie einigen anderen (süd)ostasiatischen Ländern und ich in unserer laufenden Kollaboration der Hypothese nach, dass demokratische Resilienz ein multidimensionales und multifaktorielles Phänomen ist, das nach Demokratiebereich, sozio-kulturellem Kontext und Art der Herausforderung variiert.

### Bestehende Demokratien geraten verstärkt unter Stress

Die Demokratie hat Stärken und Schwächen. Alle real existierenden Demokratien kombinieren in unterschiedlicher Form verfassungs- und prozesspolitische sowie ergebnisbezogene Vorzüge und Nachteile. Innerhalb der Gruppe der Demokratien bestehen erhebliche Unterschiede hinsichtlich der sozioökonomischen Leistungsfähigkeit, der demokratischen Qualität und

der systemischen Resilienz. Die Gruppe der widerstandsfähigen, leistungsstarken und voll funktionsfähigen Demokratien ist deutlich kleiner als die Kategorie der „schwächeren“ Demokratien von minderer Qualität. Ferner scheint die Gruppe der Demokratien minderer Qualität anzuwachsen und bestehende Demokratien geraten verstärkt unter Stress.

Zur Leistungsfähigkeit und Qualität von Demokratien gibt es viel Forschung, während die Analyse der Resilienz demokratischer Systeme als wichtiger Maßstab ihrer systemischen Stärke noch am Anfang steht. Angesichts der wachsenden Zahl an externen und internen Stressfaktoren sowie der in immer kürzeren Abständen auftretenden latenten Krisenmomente wird demokratische Resilienz auf Jahre und Jahrzehnte hinaus ein zentrales Thema der empirischen Demokratieforschung bleiben. Das gilt besonders im Hinblick auf die Widerstandskraft der Demokratien im pazifischen Asien, einer Region, die

von entscheidender Bedeutung für die Zukunft der Demokratie im 21. Jahrhundert ist: Sie kennt sowohl Beispiele für demokratischen Rückschritt und Scheitern als auch für demokratische Widerstandsfähigkeit und Adaption. Sie deskriptiv zu beschreiben, analytisch zu fassen sowie empirisch und theoretisch zu erklären, wird in den nächsten Jahren ein Schwerpunkt der vergleichenden Demokratieforschung in Heidelberg und an kooperierenden Forschungsinstitutionen aus der Region sein. ●

#### Herausgeber

Universität Heidelberg  
Der Rektor  
Kommunikation und Marketing

#### Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Olaf Bubenzer  
Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)  
Prof. Dr. Beate Ditzgen  
Prof. Dr. Nikolas Jaspert  
Prof. Dr. Harald Klüter  
Prof. Dr. Marcus A. Koch  
Prof. Dr. Carsten Könneker  
Prof. Dr. Dr. h.c. Thomas Pfeiffer  
Prof. Dr. Anja Stukenbrock  
Prof. Dr. Joachim Wambsganz  
Prof. Dr. Reimut Zohlhörer

#### Redaktion

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

#### Layout

KMS TEAM GmbH, München

#### Druck

ColorDruck solutions  
Print Media Group GmbH  
Gutenbergstraße 4  
69181 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:

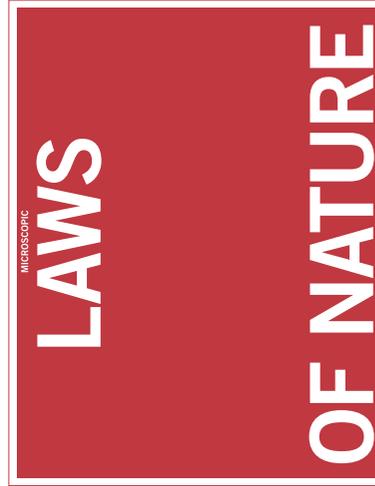
<https://www.uni-heidelberg.de/de/presse-medien/publikationen/forschungsmagazin>

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



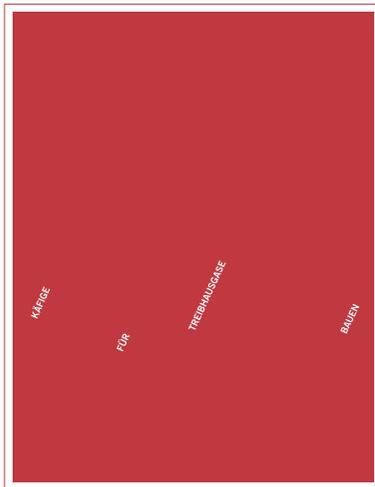
SPORTWISSENSCHAFT  
**ZWISCHEN PRÄVENTION UND REHABILITATION**  
MUSKELTRAINING FÜR KOPF UND HERZ  
PHILIPP WANNER & SIMON STEIB

**114**



THEORETICAL PHYSICS  
**MICROSCOPIC LAWS OF NATURE**  
PREDICTING THE PROPERTIES OF COMPLEX SYSTEMS  
MAURITS W. HAVERKORT

**122**



ORGANISCHE CHEMIE  
**KÄFIGE FÜR TREIBHAUSGASE BAUEN**  
NEUE MATERIALIEN MIT SCHWACHEN WECHSELWIRKUNGEN  
MICHAEL MASTALERZ

**130**



COMPUTER ENGINEERING  
**SOFTER, SMARTER, STRONGER**  
FROM EXOSKELETONS TO EXOSUITS  
LORENZO MASIA

**138**

# KAPITEL

# IV

# ZWISCHEN

**PRÄVENTION  
UND REHABILITATION**

ZWISCHEN PRÄVENTION UND REHABILITATION

# MUSKELTRAINING FÜR KOPF UND HERZ

PHILIPP WANNER & SIMON STEIB

**Eine schwache Muskulatur erhöht vor allem bei älteren Menschen die Gefahr von Stürzen, während starke Muskeln in jedem Lebensalter nicht nur Verspannungen und Schmerzen vorbeugen, sondern sich vielfältig positiv auf die Gesundheit auswirken – bis hin zu einer Steigerung der Hirngesundheit. Trotzdem ist die Mehrheit der Menschen nicht ausreichend körperlich aktiv, obwohl Bewegung gerade auch für die Gesundheit von älteren Personen wichtig wäre. Wie kann die Alltagsmobilität am besten gefördert werden und wie kann körperliches Training Lern- und Gedächtnisprozesse im Alter verstärken? Diesen und weiteren Fragen gehen Sportwissenschaftler:innen an der Universität Heidelberg nach.**

# E

Ein sommerlicher Sonntagnachmittag in Heidelberg: In der Bahn- und Weststadt zieht es die Menschen in die Fitnessstudios, in denen sie gut gelaunt zuerst auf dem Stepper mit strengem Blick auf die Smartwatch ihr „Cardio-Programm“ absolvieren, danach an teils futuristischen Fitnessgeräten ihre Muskeln stärken und abschließend an der Smoothie-Bar einen

Gemüsedrink zu sich nehmen. Im Norden von Heidelberg, in Neuenheim und Handschuhsheim, machen sich einige Gruppen von Senior:innen bereit, die Elektronik ihrer E-Bikes zu starten, um den Königstuhl zu bezwingen. In der Altstadt hingegen greift die Studierenden-WG nach einer durchzechten Nacht in der „Unteren“ zum Smartphone, startet die Fitness-App und führt nach Instruktion des digitalen Coaches Übungen namens „Burpee“ und „Jumping Jack“ durch. In Rohrbach und Kirchheim starten Tour-de-France-ähnliche Nordic-Walking-Kolonnen, ausgestattet mit Stöcken und verspiegelter Sonnenbrille, um über die angrenzenden Feld- und Waldwege hinwegzupilgern.

Gesundheitsbewusste Menschen von Jung bis Alt treiben Sport, und auch in den Me-

dien ist das Thema omnipräsent – die unzähligen Berichte, Informationen und Werbeanzeigen zum Gesundheitspotenzial körperlichen Trainings sind kaum zu übersehen. Doch entspricht dieser Gesundheitshype um Sport und Bewegung der Realität? Wie viel bewegen wir uns wirklich, welches Maß an Bewegung ist gesund, und für wen ist regelmäßige körperliche Aktivität besonders wichtig?

## Volkskrankheit „Bewegungsmangel“?

Glaubt man der eingangs dargestellten Szenerie, ist Bewegungsmangel für unser Gesundheitssystem keine relevante Herausforderung. Ein Blick in die Fachliteratur offenbart jedoch, dass dies eine eher selektive Wahrnehmung ist, die nicht der Wirklichkeit entspricht: Laut einer groß angelegten aktuellen Untersuchung mit objektiv erfassten Daten zur körperlichen Aktivität von mehr als 40.000 Erwachsenen mittleren und höheren Alters in Europa und Nordamerika beträgt die durchschnittliche tägliche Sitzzeit 8,5 bis 10,5 Stunden – demgegenüber stehen lediglich acht bis 35 Minuten pro Tag mit moderater bis anstrengender körperlicher Aktivität, also beispielsweise Radfahren, zügiges Spaziergehen oder strukturierter Sport. Das primäre Gesundheitsproblem besteht darin, dass laut Schätzungen der Untersuchung Personen mit einer geringen körperlichen Aktivität ein um etwa 65 Prozent erhöhtes Risiko aufweisen, vorzeitig zu sterben – bei besonders sedentärem Verhalten, das heißt sehr viel Zeit im Sitzen oder Liegen, ist dieses Risiko sogar um rund 260 Prozent erhöht.

Leiden wir also in Wirklichkeit an einer Volkskrankheit „Bewegungsmangel“? Tatsächlich zählt die kürzlich veröffentlichte „Global Burden of Disease“-Studie, die unter anderem die Ursachen für

# „Umfangreiche regelmäßige körperliche Aktivität wird mit einem verminderten Risiko für bestimmte neurodegenerative Erkrankungen assoziiert – beispielsweise besteht ein bis zu 40 Prozent geringeres Alzheimerisiko.“

Sterblichkeit und Krankheiten untersucht, körperliche Inaktivität zu den Risikofaktoren. Allerdings wurde dieser Risikofaktor mittlerweile deutlich herabgestuft: Während in der Veröffentlichung von 2010 geringe körperliche Aktivität noch auf Platz zehn der Risikofaktoren für verlorene gesunde Lebensjahre („disability-adjusted life years“) lag, rangiert sie in der 2019 veröffentlichten Ausgabe bei den Frauen auf Platz 19 von 20 und bei den Männern auf Platz 18 von 19. Die Autor:innen kommen zu dem Schluss, dass die Zahl der zurechenbaren Todesfälle von circa 3,2 Millionen im Jahr 2010 auf etwa 1,2 Millionen im Jahr 2019 gesunken ist. Daraus könnte man voreilig schlussfolgern, dass mittlerweile eine größere Sensibilität für die Gesundheitspotenziale von Bewegung und Sport besteht – aber wie in einigen Fachartikeln bereits kritisch diskutiert, verweist der Rückgang der Zahlen vielmehr auf eine Simplifizierung des Untersuchungsgegenstandes. Trotz der Multidimensionalität von Bewegung und Sport wird körperliche Aktivität meist nur als ein

globaler Faktor berücksichtigt und mittels des Gesamtumfangs der Bewegung stark vereinfacht charakterisiert. Bedeutsame Parameter, wie etwa die Intensität und Art der Bewegung, bleiben weitestgehend unberücksichtigt, obwohl diese wesentlichen Einfluss auf die Gesundheitswirkungen nehmen. Folglich gehen einige Autor:innen von einer erheblichen Unterschätzung der verlorenen gesunden Lebensjahre und der Todesfälle aus, die mit körperlicher Inaktivität assoziiert sind.

## **Vielfältige gesundheitliche Effekte**

Welche positiven Gesundheitseffekte hat nun regelmäßige Bewegung konkret? Laut den aktuellen nationalen Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung für Deutschland sinkt für körperlich aktive Personen im Vergleich zu inaktiven Personen nicht nur das Gesamtsterblichkeitsrisiko, auch das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen reduziert sich um bis zu 30 Prozent, da beispielsweise kardiometabolische Risikofaktoren positiv beeinflusst werden. Zudem verringert sich die Gefahr,

Diabetes mellitus Typ 2 zu entwickeln, um etwa 40 Prozent, die Wahrscheinlichkeit, an Krebsarten wie Darm-, Brust- oder Gebärmutterkrebs zu erkranken, liegt um bis zu 30 Prozent niedriger, und auch das Risiko für muskuloskeletale Erkrankungen wie Osteoporose nimmt durch Bewegung ab.

Zugleich fördert regelmäßige körperliche Aktivität nicht nur physische, sondern auch psychische Ressourcen: Eine stetig wachsende Evidenz lässt darauf schließen, dass regelmäßige Bewegung der Entwicklung von Depressionen entgegenwirken kann, den Schlaf verbessert und kognitive Funktionen fördert. Darüber hinaus wird umfangreiche regelmäßige körperliche Aktivität sogar mit einem verminderten Risiko für die Entwicklung bestimmter neurodegenerativer Erkrankungen assoziiert – beispielsweise besteht ein bis zu 40 Prozent geringeres Alzheimerisiko. Bewegung ist jedoch nicht nur im Sinne der Gesundheitsförderung und Prävention effektiv, um einen gesunden Lebensstil

aufrechtzuerhalten, sondern sie stellt auch eine zentrale rehabilitative Maßnahme bei einer Vielzahl von Erkrankungen dar: Getreu dem vom American College of Sports Medicine (ACSM) aufgestellten Leitspruch „Exercise is Medicine“ gibt es mittlerweile eine überzeugende Evidenzbasis dafür, dass Bewegung effektiv bei der Behandlung von mehr als 25 Herz-Kreislauf-, Lungen-, Krebs-, muskuloskelettalen, metabolischen, neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen unterstützt.

Doch welche und wie viel Bewegung ist notwendig, um gesundheitlich möglichst stark davon zu profitieren? Auf diese Frage liefert die Weltgesundheitsorganisation WHO eine relativ klare Antwort:

#### **Empirie und Wissenstransfer**

Das 1931 als „Institut für Leibesübungen“ gegründete Institut für Sport und Sportwissenschaft (ISSW) der Universität Heidelberg ist eine der traditionsreichsten und größten sportwissenschaftlichen Einrichtungen in Baden-Württemberg. Sein besonderes Profil gewinnt das Institut durch die konsequente Betonung empirischer Forschungsprogramme, eine Akzentuierung des Wissenstransfers in der Forschung sowie in jüngerer Zeit eine thematische Fokussierung auf Sport und Bewegung über die gesamte Lebensspanne. Der Arbeitsbereich „Bewegung, Training und aktives Altern“ beschäftigt sich mit der menschlichen Motorik und der Frage, wie diese mit gezielten Interventionsmaßnahmen optimal trainiert werden kann. Ziel der primär experimentellen und interventionellen Arbeiten ist es, theoriegeleitete und evidenzbasierte Trainingsmaßnahmen zu entwerfen und zu evaluieren, wobei ein Schwerpunkt auf der Förderung der Alltagsmobilität liegt. Basis dafür ist die Forschung zu Grundlagen von motorischen Kontroll- und Lernprozessen über die Lebensspanne, im Spektrum zwischen verletzungsbedingten Störungen und neurodegenerativen Erkrankungen.

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

Erwachsene sollten pro Woche mindestens 150 bis 300 Minuten moderat-intensiv oder mindestens 75 bis 150 Minuten anstrengende ausdauerorientierte körperliche Aktivität ausüben. Als moderate körperliche Aktivität zählen beispielsweise Fahrradfahren bei moderater Geschwindigkeit oder schnelles Gehen, während Joggen oder schnelles Schwimmen Beispiele für anstrengende körperliche Aktivität darstellen. Eine gleichwertige Kombination aus moderater und anstrengender körperlicher Aktivität ist dabei auch möglich. Für zusätzliche Gesundheitseffekte sollten zudem an mindestens zwei Tagen pro Woche muskelkräftigende Übungen durchgeführt werden, wie beispielsweise Krafttraining im Fitnessstudio oder funktionsgymnastische Übungen. Diese Empfehlungen müssen jedoch nicht zwingend über strukturiertes Sporttreiben erfüllt werden – vielmehr kann und soll Aktivität sinnvoll in den Alltag integriert werden, etwa durch Radfahren zur Arbeit oder regelmäßige Gartenarbeit. Schließlich wird empfohlen, sitzende Tätigkeiten zu reduzieren, wenngleich es bisher keine ausreichende Datenlage für die Festlegung eines entsprechenden Schwellenwerts gibt. Vergleichbare Leitlinien finden sich

auch in den „Nationalen Empfehlungen für Bewegung und Bewegungsförderung für Deutschland“, die im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit veröffentlicht wurden.

#### **Mit Bewegung gesund altern**

Vor diesem Hintergrund ist der Aufbau und Erhalt eines aktiven Lebensstils von großer Bedeutung – vor allem auch für gesundes Älterwerden. Noch deutlicher wird diese Bedeutung mit Blick auf den demographischen Wandel: Projektionen des Statistischen Bundesamtes gehen davon aus, dass sich in Deutschland im Jahr 2060 der Anteil der Personen über 67 Jahren im Vergleich zum Jahr 2000 etwa verdoppelt haben wird und dann bei rund einem Viertel der Gesamtbevölkerung liegen wird. Aufgrund der stetig steigenden Lebenserwartung wird zudem ein besonders starker Anstieg bei den hochbetagten Personen über 85 Jahren erwartet. Die körperliche Aktivität nimmt im Lauf des Lebens jedoch in der Bevölkerung deutlich ab, während sedentäres Verhalten und ein vermehrt sitzender Lebensstil hingegen zunehmen – ein Phänomen, das vorherrschende Altersbilder zusätzlich noch verstärken. Die Folge sind

**„Zielgruppenspezifische und individuell angepasste Belastungsvorgaben sind eine Grundvoraussetzung für ein effektives und zugleich sicheres Training.“**



**PROF. DR. SIMON STEIB** ist seit 2020 Professor am Institut für Sportwissenschaft der Universität Heidelberg mit dem Schwerpunkt Bewegung, Training und aktives Altern. Zuvor war er nach seinem Studium der Sportwissenschaft an der Universität Erlangen-Nürnberg von 2008 bis 2019 am Department für Sportwissenschaft und Sport der Universität Erlangen-Nürnberg tätig, an dem er promoviert wurde und sich habilitierte, und von 2019 bis 2020 am Lehrstuhl für Bewegungswissenschaft der Technischen Universität München. Forschungsaufenthalte führten ihn zudem an die McGill University Montréal und die University of Calgary (beide Kanada). Simon Steibs Forschung beschäftigt sich mit alters- und krankheitsbedingten Veränderungen der menschlichen Motorik und des motorischen Lernens sowie mit der Ableitung zielgruppenspezifischer Bewegungsinterventionen.

Kontakt: [simon.steib@issw.uni-heidelberg.de](mailto:simon.steib@issw.uni-heidelberg.de)

bewegungsmangelbedingte Abbauprozesse und ein damit einhergehender Funktionsverlust – wer rastet, der rostet! Die daraus entstehende Belastung des Gesundheitssystems, etwa durch zunehmende Gebrechlichkeit, Pflegebedürftigkeit oder Stürze, ist enorm. Die gute Nachricht ist, dass auch noch im höheren Alter Bewegung die Gesundheit fördert und Muskulatur und Herz-Kreislauf-System gut trainierbar sind. Bereits geringfügige Aktivitätssteigerungen und niedrigintensive Trainingsreize können hier bedeutsame Gesundheitseffekte erzielen. Dies scheint zudem relativ unabhängig davon zu sein, wie sportlich aktiv jemand zuvor in seinem Leben war – auch ein Späteinstieg lohnt sich also noch.

Für das körperliche Training im Seniorenalter geben Fachgesellschaften wie die ACSM konkrete Empfehlungen: So soll an mindestens zwei Tagen pro Woche ein progressiv gesteigertes Training für die

wichtigsten Muskelpartien bei moderater bis starker Anstrengung erfolgen, am besten kombiniert mit funktionellen Alltagsübungen wie beispielsweise Treppensteigen. Zur Stärkung des Herz-Kreislauf-Systems werden täglich entweder mindestens 30 bis 60 Minuten moderate Ausdaueraktivitäten wie Spaziergänge, Gartenarbeit oder leichtes Radfahren empfohlen oder mindestens 20 bis 30 Minuten anstrengendere Aktivitäten wie Walking, Aquajogging, Schwimmen oder zügiges Radfahren. Regelmäßiges Gleichgewichtstraining zur Vorbeugung von Stürzen und Beweglichkeitstraining zum Erhalt des Bewegungsausmaßes in den wichtigsten Gelenken komplettieren die Empfehlungen. Neben diesen allgemeinen Hinweisen gibt es zudem spezifische Empfehlungen und Leitlinien etwa für Bewegungsinterventionen zur Sturzprävention oder auch für Trainingsmaßnahmen bei Personen mit chronischen Erkrankungen.



**DR. PHILIPP WANNER** studierte Sportwissenschaft an der Technischen Universität München und wurde 2021 am Department für Sportwissenschaft und Sport der Universität Erlangen-Nürnberg promoviert. Seit 2021 ist er als Postdoktorand am Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg tätig. Seine Forschungsinteressen richten sich auf die Analyse sowie Optimierung motorischer Kontroll- und Lernprozesse. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Untersuchung von Personen mit Bewegungsstörungen und nach Sportverletzungen.

Kontakt: [philipp.wanner@issw.uni-heidelberg.de](mailto:philipp.wanner@issw.uni-heidelberg.de)

**„Ähnlich wie ein  
Medikament wirkt auch  
Bewegung in  
Abhängigkeit zur verabreichten Dosis,  
also der Intensität, der  
Dauer und der  
Art der Belastung.“**

BETWEEN PREVENTION AND REHABILITATION

# MUSCLE TRAINING FOR THE HEAD AND THE HEART

PHILIPP WANNER &amp; SIMON STEIB

Physical activity is an effective and cost-efficient strategy to promote health across the lifespan. Persons who are physically active or exercise regularly show a 30% reduction in all-cause mortality risk. Furthermore, physical activity prevents numerous diseases and has been shown to be an effective complementary therapeutic intervention for more than 25 chronic health conditions. Recent evidence suggests that physical activity and exercise not only strengthen the musculoskeletal and cardiovascular systems, but also promote brain health and improve cognitive function. Thus, exercise appears to be a veritable “polypill”.

Despite strong evidence of its health-promoting effects and the wide dissemination of physical activity guidelines, the majority of people do not meet activity recommendations. The development of effective exercise interventions for older adults as well as people with neurodegenerative diseases, and the investigation of the plasticity-enhancing effects of exercise are key research interests of the Human Movement, Training and Active Aging Department at the Institute of Sports and Sports Sciences. ●

PROF. DR SIMON STEIB joined Heidelberg University's Institute of Sports and Sports Sciences in 2020 as a professor specialising in human movement, training and active ageing. From 2008 to 2019, following his studies of sports science at Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), he first worked in his alma mater's Department of Sport Science and Sport, where he earned his doctorate and teaching credentials, then accepted a position at the Chair of Human Movement Science of the Technical University of Munich, where he remained until 2020. He completed research stays at McGill University in Montreal and at the University of Calgary (both in Canada). Simon Steib investigates age- and disease-related changes of human motor function and motor learning, and develops exercise interventions for different target groups over the life span.

Contact: [simon.steib@issw.uni-heidelberg.de](mailto:simon.steib@issw.uni-heidelberg.de)

DR PHILIPP WANNER studied sports science at the Technical University of Munich and obtained his doctorate in 2021 from the Department of Sport Science and Sport of FAU. He accepted a postdoc position at Heidelberg University's Institute of Sports and Sports Sciences in 2021. His research focuses on the analysis and optimisation of motor control and learning processes, with particular regard to persons with locomotor disorders resulting from sports injuries.

Contact: [philipp.wanner@issw.uni-heidelberg.de](mailto:philipp.wanner@issw.uni-heidelberg.de)

**“Even a modest increase in physical activity and low-intensity training stimuli can yield important health effects for older adults.”**

### Die richtige Dosis an Bewegung

Wie sollte nun eine optimale und zielgruppenangepasste Gestaltung von Bewegungsinterventionen aussehen, die die Mobilität über die Lebensspanne verbessern? Mit dieser Frage beschäftigen wir uns in unserer Forschung am Arbeitsbereich „Bewegung, Training und aktives Altern“ des Instituts für Sport und Sportwissenschaft. Ein wesentlicher Aspekt unserer Forschung ist dabei die Untersuchung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen: Denn ähnlich wie ein Medikament wirkt auch Bewegung in Abhängigkeit zur verabreichten Dosis, also der Intensität, der Dauer und der Art der Belastung. Entsprechend wichtig ist es, zielgruppenspezifische und individuell angepasste Belastungsvorgaben auszusprechen – eine Grundvoraussetzung für ein effektives und zugleich sicheres Training.

Bezogen auf Krafttraining im höheren Erwachsenenalter konnten wir beispielsweise intensitätsabhängige Wirkungseffekte zeigen, die, entgegen bisheriger Annahmen, vor allem Trainingsprogramme mit erhöhter Ausführungsgeschwindigkeit beziehungsweise höheren Belastungsintensitäten bevorzugen. Für die Verbesserung der Alltagsfunktion erscheinen solche Programme am wirkungsvollsten und bei entsprechend systematischer Heranführung der Trainierenden auch sicher durchführbar. Wie bereits dargelegt, stärken körperliche Aktivität und gezieltes Training im Alter jedoch nicht nur das muskuloskeletale und kardiovaskuläre System, sondern es gibt sehr robuste Hinweise darauf, dass auch die kognitive Leistung erhöht beziehungsweise dem altersbedingten Abbau entgegengewirkt wird: Auf der Basis groß angelegter Studien vermutet man als Ursache eine trainingsbedingte Verbesserung der Durchblutung des Gehirns und eine erhöhte Ausschüttung bestimmter Neurotransmitter und Wachstumshormone, die wiederum die Funktion des Nervensystems positiv beeinflussen.

In diesem Zusammenhang interessieren wir uns in unserer Arbeitsgruppe insbesondere dafür, inwiefern mit körperlichem Training Lern- und Gedächtnisprozesse im Alter verstärkt werden können. Diese wiederum sind entscheidend für die Effek-

tivität bewegungstherapeutischer Maßnahmen, etwa in der Gangtherapie oder in Sturzpräventionsprogrammen. Hier interessiert uns das Potenzial gezielter körperlicher Trainingsreize zur Verstärkung sogenannter Plastizitätsprozesse im Gehirn, also nutzungsbedingter funktioneller und struktureller Veränderungen des Gehirns, die eine Grundvoraussetzung für Bewegungslernprozesse darstellen. Besonders bei älteren Personen und bei Patient:innen, die an der Parkinson-Erkrankung leiden, konnten wir in verschiedenen Interventionsstudien zeigen, dass körperliches Training Lern- und Gedächtnisprozesse verstärken kann. Hierin liegt aus unserer Sicht ein möglicher Erklärungsansatz für die positiven Effekte von körperlicher Aktivität und Training auf die Hirngesundheit. Diese Erkenntnis könnte zudem ein Ansatzpunkt sein, um bewegungstherapeutische Maßnahmen bei Personen mit neurodegenerativen Erkrankungen oder kognitiven Einschränkungen wie Demenz zu optimieren.

### Viel zu tun für die künftige Forschung

Über die gesamte Lebensspanne können regelmäßige körperliche Aktivität und gezieltes Training die Gesundheit vielfältig

und nachhaltig fördern: Vorbeugung zahlreicher Erkrankungen, Reduzierung des Gesamtsterblichkeitsrisikos, wirksame komplementäre Therapiemaßnahme bei einer Vielzahl chronischer Krankheiten, Stärkung des muskuloskeletalen und kardiovaskulären Systems und darüber hinaus auch eine Förderung der Hirngesundheit und folglich Verbesserung kognitiver Funktionen – angesichts all dieser positiven Auswirkungen könnte man Bewegung als wahre Wunderpille bezeichnen. Aber obwohl diese gesundheitsfördernden Effekte körperlicher Aktivität erwiesen sind und die Bevölkerung auch mit entsprechenden Empfehlungen zu mehr Bewegung angeregt wird, ist dennoch ein großer Teil der Bevölkerung nicht ausreichend körperlich aktiv: Laut WHO erfüllen in Deutschland etwa 40 Prozent der Erwachsenen die Bewegungsempfehlungen nicht, bei den Über-70-Jährigen bewegen sich sogar etwa 60 Prozent nicht ausreichend. Die Entwicklung zielgruppenspezifischer Bewegungsinterventionen für Menschen in der zweiten Lebenshälfte und die Untersuchung der plastizitätsfördernden Effekte von körperlicher Aktivität und Training sind daher wichtige Facetten unserer zukünftigen Forschung in diesem Feld. ●

„Bereits geringfügige  
Aktivitätssteigerungen und  
niedrigintensive Trainings-  
reize können im höheren  
Alter bedeutsame  
Gesundheitseffekte erzielen.“

MICROSCOPIC

**LAWNS**

**OF NATURE**

MICROSCOPIC LAWS OF NATURE

# PREDICTING THE PROPERTIES OF COMPLEX SYSTEMS

MAURITS W. HAVERKORT

While it is possible to describe and predict the properties of a simple molecule or crystal using the microscopic laws of quantum mechanics, it is much more difficult to predict the behaviour of complex systems. This is because, at each complexity level, new phenomena can emerge that are not intuitively obtained from the underlying microscopic laws. They arise from competing interactions between the constituents that form the material. The resulting interplay between weak and strong interactions can lead to complex emergent properties. Developing and improving new methods to model such systems both at microscopic and macroscopic scales is at the heart of research carried out at Heidelberg University's Institute for Theoretical Physics.

T

The microscopic laws of nature that underlie the physical phenomena we see in our daily lives are known in great detail. The Maxwell equations, combined with the Schrödinger equation, provide a detailed description of the properties of small systems, like a single Hydrogen atom. When introduced in 1927, Schrödinger's theory of quantum mechanics was quickly and widely accepted as its predictions agree well with experiments. For example, the equations explain the discrete absorption and emission spectrum of atoms. When atoms in a diluted gas are heated, they emit light of a distinct colour. Each element emits light at a set of element-specific wavelengths. The wavelength and thus the energy of the photons emitted is given by the difference between the discrete allowed energies the electrons can have when bound to the nucleus. Schrödinger's equation not only explains why the light frequencies emitted and absorbed by atoms are discrete. It can also be used to quantitatively predict the energies of the photons that are emitted.

### Interactions between fundamental particles

Schrödinger's equation is not the most precise microscopic equation to describe the interaction between fundamental particles. Inclusion of relativistic effects into the Schrödinger equation leads to the Dirac equation. The Dirac equation introduces the spin of the electron as well as the existence of anti-particles into the description of quantum mechanics. Besides this important qualitative change, the Dirac equation leads to quantitative changes. However, for the description of matter at ambient pressure and temperature, the changes induced by the relativistic effects captured in the Dirac equation are of the order of a few percent. For an even more precise agreement between theoretical predictions and experimental observations of small systems one needs to include the interaction between photons and matter as described in the theory of Quantum Electro Dynamics. It predicts the magnetic moment of an electron, related to its angular momentum, with at least 14 digits of accuracy. If one wants to calculate the binding energy of the electron in hydrogen-like atoms with even higher precision one needs to include the internal structure and extent of the nucleus. Nucleons are built up from quarks and gluons and their interactions are given by the equations of Quantum Chromo Dynamics. The model that brings all



**PROF. DR MAURITS W. HAVERKORT** joined Heidelberg University's Institute for Theoretical Physics in 2016 and has served as the institute's director since 2022. He studied physics at the University of Groningen (Netherlands) and in 2005 earned his doctorate at the University of Cologne, where he subsequently worked as a postdoc. In 2008 he accepted a research position at the Max Planck Institute for Solid State Research. Following a stint as visiting researcher at the University of British Columbia in Vancouver (Canada), he transferred to the Max Planck Institute for Chemical Physics of Solids in Dresden. Maurits Haverkort's research focuses on understanding and predicting the properties of quantum materials with competing local and itinerant interactions. The numerical methods he developed are used to predict, understand and optimise a number of different material properties in various fields of research, among them solar cells, nuclear waste and battery research.

Contact: [m.w.haverkort@thphys.uni-heidelberg.de](mailto:m.w.haverkort@thphys.uni-heidelberg.de)

particles and interactions together is known as the Standard Model of particle physics, which was developed in the 1970s and has since been tested to a great extent.

### Testing the Standard Model

One can test the Standard Model by looking at systems with higher energy, as done in particle colliders, or by looking at systems with very high precision. Our group contributes to high-precision tests by providing accurate calculations of quantum few body systems. We perform high-precision theoretical calculations of multi-electron ions, in collaboration with Dr Zoltán Harman of the Max Planck Institute for Nuclear Physics, in the framework of IsoQuant, a DFG-funded Collaborative Research Centre on quantum systems in extreme conditions based at Heidelberg University. Another research collaboration where our group contributes to high-precision physics is the Research Unit ECHO lead by Prof. Dr Christian Enns and Junior Professor Dr Loredana Gastaldo, also from Heidelberg University. ECHO aims to determine the neutrino mass, one of the few undetermined parameters in the Standard Model. An isotope of the element Holmium can decay to an excited state of Dysprosium and a neutrino. The total energy released is shared between the neutrino and the Dysprosium ion. Comparing the experimentally observed decay probability as a function of the neutrino energy to the theoretically predicted value allows one to determine the neutrino mass. In our group we calculate the decay rate as a function of the released neutrino energy. We solve the Dirac equations for the ground-state of a Holmium nucleus with 67 electrons and for the dynamics of this system after the nucleus decays to Dysprosium.

High-precision measurements are exciting tests of the Standard Model. At the same time, for the prediction of most of the physical phenomena we see in our daily lives, the Schrödinger equation, with some first-order corrections given by the Dirac equation, is accurate enough as an underlying microscopic theory. This notion led Dirac in 1929 to state: "The underlying physical laws necessary for the mathematical theory of a large part of physics and the whole of chemistry are thus completely known". That said, it is astounding that these few and relatively simple equations should explain the wealth of physical phenomena we see around us. On the one hand, to be able to predict the properties of a molecule or crystal, starting from the Schrödinger equation, sounds plausible. On the other hand, using the Schrödinger equation to predict the behaviour of complex systems such as human decision-making sounds rather implausible. As stated by Nobel Prize laureate P. W. Anderson in his paper 'More is Different': "The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from those laws and reconstruct the universe." At each complexity level, new phenomena can emerge that are not

intuitively obtained from the underlying microscopic laws and are best treated by new, overarching theories.

### Predicting the properties of complex systems

One challenge in predicting the properties of complex systems, starting from the microscopic laws of quantum mechanics, originates from the complexity of these equations. In classical physics, the state of a material is described by the positions and velocities of all particles involved. The number of variables needed to describe a system scales linearly with the number of particles. With modern computers one can model really large classical systems, such as classical molecular dynamics simulations of bio-molecules or electro-hydrodynamics calculations of star formation. In quantum mechanics, the state of a material that describes all its properties is given by a wave-function. The wave-function for a single particle can be written as the sum over a set of basis-functions each multiplied by a complex number. One can generate a wave-function for  $n$  particles by multiplying  $n$  different one-particle wave-functions. This however is not a general  $n$ -particle state. A general  $n$ -particle state is given by a sum over all possible different products of  $n$  one-particle states, each of them again multiplied by a complex number. The number of terms in this sum scales (worse than) exponentially with the number of particles. A quantum superposition, i.e. the fact that an  $n$ -particle quantum state is not given by the product of the wave-functions of the individual particles but by a sum over different products, is essential for the functioning of a quantum computer. At the same time, it hinders the possibility to calculate and predict the behaviour of a quantum system on a regular computer.

The challenge in predicting the properties of complex systems comes from the fact that some complex systems do not seem to behave in a way one would expect judging from the behaviour of their constituents. The electrons in

many molecules and metal crystals will start to oscillate in an oscillating electromagnetic field. In complex molecules like photosystem II, which consists of several thousand carbon and hydrogen atoms as well as a centre containing four manganese ions, many more effects happen. The former follows the simple behaviour one would expect from the underlying microscopic laws, the latter is not straightforward to predict.

This raises the question of how to model complex materials such that we can predict their properties. Modelling macroscopic quantum systems requires new theories that are based on the microscopic theory but are not necessarily equivalent. For molecules and solids, one normally uses a theory whereby the atomic nuclei are treated classically and form a symmetry broken state, i.e. a static state where some symmetry properties of the underlying macroscopic laws are not present in macroscopic systems at the lowest reachable temperatures. The electrons are treated quantum mechanically. The equations for approximately 10<sup>23</sup> electrons moving on a background of a broken symmetry potential generated by the atomic nuclei is still vastly too complicated to be solvable. Furthermore, not all symmetry broken phases are structurally driven. Magnetically ordered phases are symmetry broken phases in which the lattice, i.e. the atomic positions, only plays a secondary role. There are many more electronically driven phase transitions present in nature. There is thus a need for further effective theories.

### Mean-field theories

Some of the most successful and widely applied effective theories are known as mean-field theories. There is a whole class of mean-field theories, with the Hartree-Fock approximation and Density Functional Theory within the Kohn-Sham orbital formulation as prominent examples. Within these theories, the interactions between all

**“It is astounding that these few and relatively simple equations should explain the wealth of physical phenomena we see around us.”**

particles are replaced by a single potential that is equivalent for all particles. The many-body problem one needs to solve reduces to the problem of how a single particle moves through such a potential. This determines which single particle quantum states are occupied. The occupied quantum states determine the potential. The problem one needs to solve thus depends on the solution one finds. The final solution is a self-consistent solution, whereby the solution of the equations defines the potential used in these equations. Mean-field theories are in general solvable, even for very large systems. Mean-field theories do allow for symmetry broken phases and can, for example, predict magnetic phase transitions. In some sense the approximate macroscopic theory describes the reality better than the intuitive solution one would expect from the underlying microscopic theory.

Mean-field theories do not always work. All states described by mean-field theories can be written as a single product of one-particle states. There is thus no (non-trivial) quantum entanglement possible on a mean-field level. Mean-field theories tend to work when the resulting physics of the complex system follows the intuitive behaviour of its constituents. In turn, many of the more complex phenomena we see in the real world are not well described by mean-field theories.

Mean-field theories tend to fail when there are competing interactions between the constituents that form the material. The equations that determine the physical properties of a material can be split into different parts. The Schrödinger

equation contains a term related to the kinetic energy of the particles as well as a term describing the interaction of the particles. Each part by itself is often simple to solve. The equations remain solvable when one of the interactions is much stronger than the other. When the different terms in the Schrödinger equation are neither too strong nor too weak as compared to each other, complex behaviour emerges. The kinetic energy and Coulomb interactions between electrons and atomic nuclei are fundamentally given by the underlying microscopic theory. The Coulomb interaction strength depends on the distance between the particles. At low densities and large average distances, the Coulomb interaction is weak compared to the kinetic energy. At the densities found in atoms, the Coulomb interaction can be the leading term. As a result, one finds bound states between the atomic nuclei and electrons. The resulting effective interaction between the electrons bound to an atom can be weak or strong compared to the kinetic energy. The resulting interplay between weak and strong interacting systems leads, in the domain where these interactions compete, to the very rich phenomena we see in the physical world around us.

Determining the effective strength of an interaction is not always obvious. Electrons are Fermions. As such, by the Pauli principle, no two electrons can be in the same quantum state. For many materials such as the Alkali metals, aluminium or the semiconductors we use in our electronics, the interaction between the electrons is in principle strong compared to the kinetic energy. At the same time, the scattering between most electrons is blocked while

**“When the different terms in the Schrödinger equation are neither too strong nor too weak as compared to each other, complex behaviour emerges.”**

MIKROSKOPISCHE NATURGESETZE

# DIE EIGENSCHAFTEN VON KOMPLEXEN SYSTEMEN VORHERSAGEN

MAURITS W. HAVERKORT

Die Teilchen, aus denen unser Universum besteht, folgen den erstmals von Erwin Schrödinger formulierten Gesetzen der Quantenphysik, die heute als Standardmodell der Physik gelten. Präzise Tests der mikroskopischen Wechselwirkungen zwischen Teilchen zeigen eine erstaunliche Übereinstimmung zwischen den theoretischen Berechnungen und der Realität im Experiment. Jedoch ist es mitunter schwierig, auf der Grundlage dieser mikroskopischen Naturgesetze die Eigenschaften makroskopischer Systeme vorherzusagen, die manchmal den physikalischen Gesetzen scheinbar zuwiderlaufende Verhaltensweisen zeigen. Diese emergenten Eigenschaften der Materie treten vor allem dann auf, wenn verschiedene das System beschreibende Wechselwirkungen im direkten Vergleich weder zu stark noch zu schwach sind.

Dank hochpräziser Berechnungen isolierter Quantensysteme mit extremen elektrischen Feldern können wir die mikroskopischen Interaktionen zwischen Teilchen des Standardmodells mit hoher Genauigkeit untersuchen und sogar Forschungsansätze über das Standardmodell hinaus erarbeiten. Um die Eigenschaften komplexer Quantensysteme vorherzusagen zu können, müssen neue theoretische Methoden und Modelle entwickelt werden.

In Heidelberg entwickeln wir numerische Verfahren und führen präzise Berechnungen für isolierte Quantensysteme durch, so dass wir die Grenzen, innerhalb derer zutreffende Vorhersagen möglich sind, ausloten und weiter verschieben können. Des Weiteren entwickeln wir effektive Methoden zur Vorhersage der Eigenschaften komplexer Materialien. Unsere Methoden wurden in einem in Heidelberg entwickelten Softwarepaket namens QUANTY gebündelt, das mittlerweile von Wissenschaftler:innen weltweit genutzt wird; zu den Anwendungsfeldern zählen etwa die Solarzellen- und Batterieforschung oder die Suche nach Lösungen für eine sichere Lagerung radioaktiver Abfälle. ●

# „Die Konkurrenz zwischen unterschiedlichen effektiven Wechselwirkungen im Material führt zu komplexen emergenten Eigenschaften.“

PROF. DR. MAURITS W. HAVERKORT hat seit 2016 eine Professur am Institut für Theoretische Physik der Universität Heidelberg inne und ist seit 2022 dessen Direktor. Nach seinem Physikstudium an der Universität Groningen (Niederlande) wurde er 2005 an der Universität Köln promoviert, wo er anschließend als Postdoktorand arbeitete. Ab 2008 forschte er am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart, bevor er 2013, nach einem Aufenthalt als Gastwissenschaftler an der University of British Columbia in Vancouver (Kanada), an das Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe in Dresden wechselte. Maurits Haverkorts Forschung konzentriert sich auf das Verständnis und die Vorhersage von Eigenschaften von Quantenmaterialien mit konkurrierenden lokalen und itineranten Wechselwirkungen. Die von ihm entwickelten numerischen Methoden werden zur Vorhersage, zum Verständnis und zur Optimierung einer Vielzahl unterschiedlicher Materialeigenschaften in verschiedenen Forschungsbereichen eingesetzt, darunter Solarzellen, Atommüll und Batterieforschung.

Kontakt: [m.w.haverkort@thphys.uni-heidelberg.de](mailto:m.w.haverkort@thphys.uni-heidelberg.de)

the states they would like to scatter to are occupied. As a result, the effect of the strong interaction is still weak compared to the kinetic energy scale. One finds that these materials are often well described by mean-field theories. This leads to a great understanding of their properties such that we can use these materials to build devices.

#### Developing new methods

The question of how to predict material properties when their behaviour is not well described by mean-field theories is at the heart of the research performed in our group. For small systems, we study how well the microscopic laws can be solved. This can be compared to several high precision measurements done in Heidelberg and eventually lead to the improvement of the microscopic theories. For macroscopic systems we use a multitude of different methods. At the moment, there is not a single best approach. One promising approach is to represent the state of a material not by its wave-function, which for modestly large systems would require one to store more complex numbers than atoms in the universe, but by how the system reacts to external influences. The functions that describe how a system reacts to external influences are known as the response functions. With the use of diagrammatic techniques known from Quantum Field Theory one can describe the response of a large system by equations that only include the response functions of its constituents. This results in a set of equations one needs to solve self-consistently. The dynamical mean-field theory is one such approximation, but many more theories along this line are possible.

We develop new methods and implement them into computer codes. As there is no simple single solution, we developed an open-source script language, QUANTY, where calculations in quantum mechanics can be done using different methods and effective theories. In order to determine how well these theories can predict reality we compare results for calculations on specific materials to different experiments. The type of materials and research topics where our implementations are used ranges wildly between fields and materials. For example, we have investigated fundamental interactions in Nickel or Cobalt containing compounds that can be used in batteries. We investigate lanthanide compounds in order to obtain a fundamental understanding of their magnetism and the competition between local and delocalised states. Furthermore, in a recent collaboration with the Karlsruhe Institute of Technology, we investigated how the chemistry and physics of Actinides can be understood. These findings are important for the safe storage of nuclear waste or understanding how such elements bind to different ligands, which could be useful for future applications in nuclear medicine.

For all the latter examples of research we do in our group, it is the competition between different effective interactions

**“It is the competition between different effective interactions in the material that leads to complex emergent properties.”**

in the material that leads to complex emergent properties. The behaviour and properties of these materials cannot simply be extrapolated from the microscopic laws of physics. The microscopic laws of physics are not violated, but they cannot be solved to predict the properties of interest for these materials either. In order to predict material properties, we use a set of effective theories. We get many good results, but none of these effective theories are perfect. The main part of the research in our group is therefore focused on the improvement and development of new effective methods to predict material properties. ●

KÄFIGE

FÜR

TREIBHAUSGASE

BAUEN

KÄFIGE FÜR TREIBHAUSGASE BAUEN

# NEUE MATERIALIEN MIT SCHWACHEN WECHSELWIRKUNGEN

MICHAEL MASTALERZ

**Chemiker sind Molekülarchitekten: Über schwache und starke Bindungen können sie aus einfachen Bausteinen hochkomplexe Verbindungen aufbauen. Heidelberger Chemiker und Chemikerinnen konstruieren so maßgefertigte Molekülkäfige und bauen ineinander verschachtelte molekulare Würfel. Mit diesen Verfahren können neue, noch nie da gewesene künstliche Materialien hergestellt werden, und die molekularen Käfige versprechen vielfältige Anwendungen – womöglich eignen sie sich auch, um gefährliche Treibhausgase einzufangen.**



In der Chemie geht es um die Wechselwirkungen zwischen Teilchen, seien es neutrale Moleküle oder Ionen, also positiv oder negativ geladene Teilchen. Und es geht um die Reaktionen der Teilchen miteinander. Dabei kommt es zu chemischen Bindungen und es entstehen neue Stoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften. Die Wechselwirkungen zwischen den Molekülen können stark oder schwach sein, ebenso verhält es sich mit den chemischen Bindungen. Stark ist eine chemische Bindung, wenn sie von anderen Reagenzien nicht so leicht gebrochen werden kann wie eine schwache Bindung, wobei sich Bindungen gegenüber dem einen Reagenz robust und stabil verhalten können, gegenüber einem anderen wiederum nicht. Beides hat Vor- und Nachteile.

Will man etwa ein Material herstellen, das abbaubar ist, dann fügt man in dieses gezielt zahlreiche Sollbruchstellen in Form schwacher Bindungen ein. Ein Beispiel ist die sogenannte Polyhydroxyessigsäure: Sie wird in der Medizin als chirurgisches Nahtmaterial verwendet und

**„Stark ist eine chemische Bindung, wenn sie von anderen Reagenzien nicht so leicht wie eine schwache Bindung gebrochen werden kann.“**

enthält zahlreiche Sollbruchstellen in Form von Esterbindungen. Unter physiologischen Bedingungen reagieren die Esterbindungen mit Wasser, und diese Reaktion sorgt dafür, dass die Wundfäden mit der Zeit in kleine, für den Körper harmlose Moleküle zerlegt werden – die Naht verschwindet scheinbar von selbst.

Ein Beispiel für den Vorteil starker Bindungen ist die allseits bekannte Teflonpfanne, die fettfreies Braten erlaubt, weil das Bratgut nicht an der Pfanne anhaften kann. Das wird möglich, weil die Innenseite der Pfanne mit Polytetrafluorethylen beschichtet ist – das sind lange Moleküle, sogenannte Polymere, die als Basis eine Kohlenstoffkette haben. Jedes Kohlenstoffatom trägt zwei Fluoratome, an den äußeren Kohlenstoffatomen der Kettenenden sind es sogar drei. Fluor ist das elektronegativste Element, das wir Chemiker kennen: Fluoratome ziehen Bindungselektronen näher an sich heran als alle anderen Atome in Verbindungen. Das macht die Polymere an ihren Fluorsubstituenten partiell negativ, so dass sich eine teilweise geladene schützende Hülle bildet. Dieser Effekt ist für die schlechte Oberflächenhaftung des Bratguts in der Pfanne ebenso verantwortlich wie für die hohe chemische Stabilität: Kohlenstoff-Fluor-Bindungen zählen zu den stärksten Einfachbindungen.

#### Langlebige Verbindungen

Die chemische Stabilität, die bei der Teflonpfanne erwünscht ist, ist bei kleineren fluorierten Molekülen – den sogenannten per- und polyfluorierten Chemikalien, kurz PFCs – von Nachteil. Auch sie bestehen aus einer Kette von Kohlenstoffatomen, an die Fluoratome gebunden sind. In vielen Alltagsgegenständen, etwa in Imprägniersprays oder in Outdoorbekleidung, sorgen PFCs für wasser- und fettabweisende Eigenschaften; in der Halbleiterindustrie finden sie Anwendung als elektrisch isolierende Gase bei der Herstellung von Elektrochips. Ihre chemische Stabilität macht sie zu sehr langlebigen Verbindungen, die in der Atmosphäre akkumulieren und dort mehrere Tausend Jahre verbleiben können. Genau wie Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) zählen PFCs zu den Treibhausgasen, in deren Reigen ihr Anteil an der globalen Erwärmung etwa drei Prozent beträgt.

Während  $\text{CO}_2$  von Pflanzen aufgenommen und verstoffwechselt wird, ist dies bei PFCs nicht der Fall – das ist ein weiterer Grund für die Langlebigkeit dieser Chemikalien.  $\text{CF}_4$ , der kleinste Vertreter der PFCs, hat eine atmosphärische Lebenszeit von rund 50.000 Jahren; sein globales Erwärmungspotenzial ist 6.630 Mal so hoch wie das von  $\text{CO}_2$ . Mit anderen Worten: Ein Molekül  $\text{CF}_4$  ist in puncto Erderwärmung 6.630 Mal schädlicher als ein Molekül  $\text{CO}_2$ ; andere PFC-Verbindungen kommen sogar auf Werte von mehr als 10.000! In meiner Arbeitsgruppe am Organisch-Chemischen Institut der Universität Heidelberg haben wir uns deshalb folgende Frage gestellt: Könnte man PFCs selektiv binden und am Ort ihres Entstehens

abfangen, so dass sie nicht mehr in die Erdatmosphäre gelangen und als Treibhausgas wirken können?

#### Fluorierte Käfigverbindungen

Wie gehen wir dabei vor? Aus dem Chemieunterricht in der Schule ist vielleicht noch der Merksatz „Gleiches löst sich in Gleichem“ bekannt. Er besagt, dass unpolare Stoffe, beispielsweise Wachse, sich in unpolaren Lösungsmitteln wie Ölen lösen. Dafür verantwortlich sind schwache anziehende Wechselwirkungen. Ebenso lösen sich polare Stoffe, etwa Zucker, in polaren Lösungsmitteln, beispielsweise in Wasser. Fluorierte Polymere und PFCs sind beides Moleküle, die sich aufgrund der stark negativ polarisierten Hüllen voneinander abstoßen. Dennoch gibt es spezifische, wenn auch schwache Wechselwirkungen zwischen fluorierten Molekülen.

Möchte man nun kleine PFC-Moleküle mit definierten Volumina und Oberflächen über Fluor-Fluor-Wechselwirkungen binden, bieten sich passgenaue Hohlräum-moleküle, sogenannte Käfigmoleküle, an, die im Inneren mit Fluoratomen ausgekleidet sind. Wir haben poröse Kristalle dieser Hohlräum-moleküle hergestellt und konnten zeigen, dass sie PFCs unter bestimmten Temperatur- und Druckbedingungen hochselektiv binden. Das PFC mit der technischen Bezeichnung PFC-218 (Perfluorpropan) beispielsweise wird bei 40 Grad Celsius etwa 3.000 Mal besser gebunden als Distickstoff, der Hauptbestandteil der Luft; PFC-318 (cyclo-Perfluorbutan) sogar 41.000 Mal! Das zeigt: Maßgeschneiderte Hohlräum-moleküle können Treibhausgase über multiple schwache Wechselwirkungen effizient festhalten. Dieses wissenschaftliche Erkenntnis wartet nun auf ihre Übertragung in eine technische Anwendung.

Schwache intermolekulare Wechselwirkungen können auch ausgenutzt werden, um sogenannte Catenane zu generieren – das sind Stoffe, die aus zwei oder mehr mechanisch ineinander verschlungenen Molekülringen bestehen. Die Natur macht uns das vor bei ringförmigen Nukleinsäuren oder bei Kapsiden, den Verpackungen von Virenerbgut – wir Chemiker bedienen uns dafür aus unseren eigenen Trickkisten, wofür es unter anderem 2016 den Nobelpreis für Chemie gab. Unsere Arbeitsgruppe hat die Komplexität der Catenane gesteigert, indem wir für ihre Synthese nicht zweidimensionale Ringe, sondern dreidimensionale Körper verwendet haben.

#### Molekulare Gebilde mit ästhetischem Anspruch

Chemiker sind Molekülarchitekten, die hochkomplexe Verbindungen aufbauen oder genauer gesagt synthetisieren können. Das können Naturstoffe sein, also Verbindungen, die man in Lebewesen findet. Es können aber auch molekulare Gebilde mit ästhetischem Anspruch sein, etwa hochsymmetrische geometrische Körper wie

„PFCs sind chemisch so stabil, dass sie jahrtausendelang in der Erdatmosphäre verbleiben.“



**PROF. DR. MICHAEL MASTALERZ** ist seit 2013 Professor für Organische Chemie an der Universität Heidelberg. Er studierte Chemie an der Universität Duisburg und wurde 2005 an der Ruhr-Universität Bochum promoviert. Nach einer kurzen Station in der Industrie wechselte er 2006 als Postdoktorand an das Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (USA). 2007 kam er an die Universität Ulm, an der er sich 2013 habilitierte, bevor er nach Heidelberg berufen wurde. Michael Mastalerz' Forschung zur gezielten Herstellung löslicher poröser Materialien wurde mit einem Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats (ERC) in Höhe von rund zwei Millionen Euro gefördert. Mit einem Synergy Grant fördert der ERC aktuell ein von ihm koordiniertes Verbundforschungsprojekt zur Synthese spezieller Kohlenstoffverbindungen, die die Basis für neue Klassen von Materialien bilden sollen; von der Fördersumme in Höhe von rund elf Millionen Euro sind rund 3,3 Millionen Euro für Michael Mastalerz' Forschung vorgesehen.

Kontakt: michael.mastalerz@oci.uni-heidelberg.de

platonische oder archimedische Körper, die aus entweder gleichartigen oder unterschiedlichen regelmäßigen Vielecken bestehen. Realisiert wurden bereits Moleküle in Gestalt von Tetraedern (mit vier Flächen), Hexaedern (mit sechs Flächen), Dodekaedern (mit zwölf Flächen) und viele mehr.

Wie baut man einen solchen molekularen Würfel, beispielsweise einen Hexaeder? Man nimmt acht Moleküle, welche die Ecken bilden, und lässt sie mit zwölf linearen Molekülen reagieren, die zu den Kanten des Würfels werden. Doch ist das wirklich schon alles? Nicht ganz: Die Moleküle, welche die Ecken bilden, müssen in einer bestimmten Position zueinander stehen – diese wichtige Information ist in der Molekülstruktur aber üblicherweise nicht vorhanden. Deshalb kommt eher eine formlose polymere Verbindung dabei heraus, wenn man Eckenmoleküle „einfach so“ mit linearen Kantenmolekülen reagieren lässt.

Um solche strukturell undefinierten polymeren Verbindungen zu vermeiden, bedienen wir uns eines Tricks: Wir verwenden für die Würfelbildung keine starken, sondern schwache Bindungen. Und wie wir ja bereits wissen, werden schwache Bindungen leichter gebrochen, und unter bestimmten Bedingungen, die man schaffen kann, stehen Bindungsbildung und Bindungsbruch in einem dynamischen Gleichgewicht: Das System bildet und bricht Bindungen so lange, bis ein energetisches Minimum erreicht ist. Es stellt sich oft dann ein, wenn anstelle undefinierter Polymermischungen viele diskrete Moleküle der gleichen Gestalt entstanden sind. In unserem Fall sind das die molekularen Würfel.

#### **Ineinander verschachtelte Würfel**

Kann man auch zwei Würfel ineinander verschachteln? Hierzu gibt es drei Möglichkeiten: über die Kanten, über die Ecken oder über die Flächen. Damit zwei intakte Würfel miteinander verschachtelt werden können, müssen Ecken oder Kanten entfernt, die Fragmente ineinandergeschoben und anschließend die Ecken oder Kanten wieder geschlossen werden. Auf molekularer Ebene geht das nur dann, wenn die Bindungen zwischen den Ecken- und Kanteneinheiten relativ schwach sind.

Aber warum sollten sich zwei oder gar mehrere Würfel freiwillig miteinander verschachteln? Wenn etwas in der Chemie freiwillig erfolgt, dann stets um den Preis, dass dabei Energie frei wird. Das ist genau dann der Fall, wenn die energetische Gesamtsituation nach der Reaktion günstiger ist als vor der Reaktion. Um die Frage zu beantworten, muss man außerdem noch wissen, dass es neben den echten und gerichteten Bindungen innerhalb von Molekülen noch weitere, deutlich schwächere intermolekulare Wechselwirkungen gibt, beispielsweise Wasserstoffbrückenbindungen oder die noch schwächeren Dispersionswechselwirkungen.

**„Das System bildet und bricht Bindungen so lange, bis ein energetisches Minimum erreicht ist.“**

BUILDING CAGES FOR GREENHOUSE GASES

# NEW MATERIALS WITH WEAK BONDING INTERACTIONS

MICHAEL MASTALERZ

Chemists are molecular architects: using relatively simple molecular building blocks, they can create highly complex compounds. These compounds may have weak or strong chemical bonds and display certain properties that make them valuable for a number of potential applications. Our team at the Institute of Organic Chemistry creates so-called molecular cage compounds – compounds that are characterised by the fact that certain of their bonds are relatively weak and can thus be formed and cleaved in a dynamic process until a thermodynamic equilibrium is established that frequently produces the desired structure (the molecular cage).

These molecular cages can be “decorated” freely on the outside and inside, allowing researchers to customise their chemical and physical properties. Using this approach, our team created porous crystals that are able, for instance, to selectively adsorb perfluorocarbons (PFCs). PFCs are persistent compounds that play a significant role in global warming. Molecular cage compounds (in this case, molecular cubes) can also be constructed to have a strong tendency to interlock with each other, forming structures known as catenanes that give us access to a whole new class of materials. ●

PROF. DR MICHAEL MASTALERZ joined Heidelberg University in 2013 as Professor of Organic Chemistry. He studied chemistry at the University of Duisburg-Essen and earned his PhD at Ruhr-Universität Bochum (RUB) in 2005. After a brief stint working in industry, he accepted as postdoc position at the Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, USA) in 2006. In 2007 he transferred to Ulm University, where he completed his habilitation in 2013, before accepting his chair at Heidelberg University. Michael Mastalerz's research on the construction of soluble porous materials was supported by a Consolidator Grant of the European Research Council (ERC) to the tune of roughly two million euros. He is currently coordinating a joint research project dealing with the synthesis of special carbon compounds that are expected to become the basis for new material classes; this project is funded through an ERC Synergy Grant in the amount of 11 million euros, of which 3.3 million are earmarked for Michael Mastalerz's research.

Contact: michael.mastalerz@oci.uni-heidelberg.de

**“Customised hollow molecules can efficiently trap greenhouse gases using multiple weak bonding interactions.”**

Jede Wasserstoffbrücke oder Dispersionswechselwirkung ist für sich allein genommen sehr schwach – treten sie aber gemeinsam und in Vielzahl auf, ändert sich das. Man denke an Gullivers Reisen nach Liliput: Jeder einzelne der Fäden, mit denen die zwergenhaften Einwohner Liliputs den Riesen Gulliver fesseln, ist so klein und so schwach, dass er von Gulliver mit geringstem Kraftaufwand gelöst werden könnte – aber die Vielzahl der winzigen Fesseln sorgt dafür, dass er gefangen bleibt. Genauso ist es auch mit den vielen schwachen Wasserstoffbrückenbindungen, die Wasser bei Raumtemperatur flüssig machen. Oder mit dem Gecko, den multiple Dispersionswechselwirkungen kopfunter an der Decke haften lassen.

#### Zusätzlicher Energiegewinn

Wenn das mechanische Verschachteln zweier molekularer Würfel freiwillig gelingen soll, muss man also dafür Sorge tragen, dass dabei ein zusätzlicher Energiegewinn herauspringt. Genau das haben wir gemacht: Wir haben dafür

gesorgt, dass die Eckmoleküle oder die Kantenmoleküle des Würfels Einheiten besitzen, die imstande sind, viele schwache Wechselwirkungen einzugehen. Noch etwas konkreter: Werden beispielsweise Hydroxygruppen – typische Wasserstoffbrückenbildner – so an den Ecken des Würfels platziert, dass sie in Richtung der Würfel Flächen zeigen, bilden sich zwei vierfach ineinander verschachtelte Würfel. Dafür verantwortlich sind die Wasserstoffbrücken. Werden stattdessen unpolare Methoxy- oder auch Ethylgruppen an den linearen Kanten angeboten, bilden sich dreifach verschachtelte Dimere (aus zwei Würfeln) oder gar Trimere (aus drei Würfeln).

Diese molekulare „Bau“-Kontrolle und die Steuerung der Molekülsynthese über schwache Wechselwirkungen sind einzigartig. Sie erlauben es uns nicht nur, den hierarchischen Aufbau von biologischen Molekülen, beispielsweise die Faltung von Peptiden, besser zu verstehen – mit dieser Kenntnis können wir auch neue, noch nie da gewesene künstliche Materialien aufbauen. ●

**„Maßgeschneiderte Hohlraum-moleküle können Treibhausgase über multiple schwache Wechselwirkungen effizient festhalten.“**

**SOFTER**

**SMARTER**

**STRONGER**

SOFTER, SMARTER, STRONGER

# FROM EXOSKELETONS TO EXOSUITS

LORENZO MASIA

For thousands of years and across cultures, tales like those of Icarus and his wings made from wax and feathers testify to the universal human desire to overcome the physical limitations imposed by nature by using wearable technology. Today, this desire finds expression in robotics, where significant technological advances have opened up new possibilities that were once confined to the realm of science fiction. Robotics is used, for instance, in fields such as human assistance, rehabilitation, or to enhance human performance. A current research area that Heidelberg scientists are also working on is wearable technologies such as exosuits, which have the potential to completely transform rehabilitation and enable people with physical impairments to lead more independent lives.

# W

When we think about robots, our imagination often conjures up images of sterile environments with multiple mechanical arms working together to assemble cars. However, the field of robotics has expanded greatly in recent years, encompassing a wide range of applications that are becoming increasingly integrated into our daily lives and redefining what we think of as automation. Over the past decade, robotics has undergone a transformation, growing and branching out in new directions. One of the most promising areas of robotics research is wearable robotics, which is making rapid progress in both medical and in-

dustrial domains. In the past, robots and humans existed in separate spaces, but the future of robotics seems to involve a more symbiotic interaction between artificial and biological systems.

In the 1868 novel “The Steam Man of the Prairies”, author Edward Ellis depicts a massive iron robot controlled by its creator, who sits in a carriage behind it. The robot is capable of running at incredible speeds; it is a product of the excitement surrounding the first industrial revolution and the potential of steam power. As the decades passed, advances in technology were matched by bold visions of wearable robots that could boost human strength and protect humanity from extraterrestrial threats. Drawing on the automated machines used in the manufacturing industry, early designs for wearable robots typically featured a metal frame modelled after the wearer’s skeleton, connected by mechanical joints.

#### The beginning of the exoskeleton era

In 1967, General Electric brought this vision to life through the Hardiman project led by Ralph Mosher. The Hardiman exoskeleton captivated science fiction fans all over

the world, but due to technological limitations it was never tested with a human wearer. Despite its failure, the project sparked lasting interest in robots that could enhance or aid human movement through a mechanical structure that mirrors the anatomy of the wearer. This marked the beginning of the exoskeleton era.

The Hardiman exoskeleton was a bulky device that consisted of a metal frame that was attached to the body using straps and other supportive devices. It was powered by hydraulic actuators that enabled the user to move their legs and arms. Despite its limited capabilities, the first exoskeleton provided a glimpse into the future of wearable technology and its potential to enhance the physical abilities of humans. With the advent of robotics, significant advances have been made in the field of wearable technology. Modern exoskeletons are lighter, more compact, and offer more sophisticated capabilities.

#### Institut für Technische Informatik

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 Software-Architekturen 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 hoch-effiziente 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/ziti](http://www.ziti.uni-heidelberg.de/ziti)

Despite this, exoskeletons are still primarily limited to research labs or expensive clinical treatments offered at high-end rehabilitation facilities. One of the major factors limiting access to exoskeletons is their complexity, which leads to higher costs, weight, and size. This complexity arises from the need for a rigid exoskeleton to precisely match the intricate movements of the human body. Misalignment between the exoskeleton and the wearer's joints can result in uncontrolled interaction forces that negatively impact the wearer's mobility and metabolism, causing discomfort.

#### The evolution of wearable technology

Recently, new approaches shed light on the progression of wearable technology, highlighting the trend towards less restrictive and more bio-mimetic wearable robots. This paradigm-shift favours the use of compliant materials that better conform to the anatomy of the human body. With technological progress in soft materials, compliant control algorithms, and non-linear modelling, a growing number of research groups in academia and industry are designing wearable robots made of textiles and elastomers instead of rigid links. This approach allows the devices to be portable and to enhance movements without hindering human biomechanics. These new wearable robots are referred to as “exomuscles”, “soft exoskeletons”, or “exosuits”.

Exosuits are a more flexible and lightweight alternative to exoskeletons. Unlike exoskeletons, exosuits are created to augment human movements by working in tandem with the wearer's body. They utilise materials such as textiles and soft actuation to provide assistance and amplification, rather than relying on metal frames. They are typically worn like clothing and utilise sensors and algorithms that respond to the wearer's movements. This technology makes exosuits well-suited for tasks that demand a high level of dexterity and mobility, such as industrial labour, construction, or search and rescue operations.

With advances in sensors, artificial intelligence, and materials, exosuits offer a new level of freedom and capability, making them a superior alternative to exoskeletons in many cases. The potential for exosuits to revolutionise work, life, and movement makes them a technology to watch out for in the future.

#### What powers an exosuit?

The classification of exosuits involves dividing active devices into those actuated by tensile units and those actuated by expansive functional units. Tensile soft robotic suits transfer positive power to human joints by tightening a functional unit, similar to the way skeletal muscles work. These suits can be made to contract through four different mechanisms: electric motors that wrap an artificial tendon around a pulley, McKibben



**PROF. DR LORENZO MASIA** joined Heidelberg University in April 2019 as part of the Institute of Computer Engineering (ZITI). He is the head of the ARIES Laboratory, which focuses on the design and creation of exosuits for human rehabilitation and enhancement. Lorenzo Masia holds a degree in mechanical engineering from the University of Rome “La Sapienza” and a PhD from the University of Padua (both in Italy). He previously worked at the Massachusetts Institute of Technology (USA), the Istituto Italiano di Tecnologia (Italy), Nanyang Technological University in Singapore, and the University of Twente (Netherlands).

Contact: [lorenzo.masia@ziti.uni-heidelberg.de](mailto:lorenzo.masia@ziti.uni-heidelberg.de)

# “The future of robotics seems to involve a more symbiotic interaction between artificial and biological systems.”

pneumatic artificial muscles, twisted string actuators, or shape-memory alloys. Expansive soft robotic suits boost human movements by expanding a folded bladder filled with fluid. Although soft artificial muscles use a wide range of principles and actuation mechanisms, only a subset of these meets the requirements of bandwidth, safety, and power density needed to support human movements.

For example, electric motor-tendon units are the most commonly used mechanism for powering soft robotic suits, due to factors such as the ability to route artificial tendons between two distant points, the availability of technology for controlling electric motors, and the ability to turn the suit into a passive garment when necessary. However, the drawbacks of this mechanism include high shear forces on the skin and low mechanical efficiency. Nevertheless, there is a significant body of literature on how to achieve accurate control of position, velocity, and force delivery with electric motor-tendon actuators.

## **Moving symbiotically with the wearer**

An effective control system is critical to the success of exosuits as it determines their ability to enhance the user's physical abilities and to operate in a safe and intuitive manner. Control is achieved through a combination of advanced sensors, algorithms, and actuators: the sensors are responsible for capturing information about the user's movements, such as the position and orientation of the limbs (using gyroscopes and accelerometers like those in our mobile phones), or their muscle activity (using electromyography, which extracts low-voltage signals generated by the opening of the ion channels in sarcomeres).

The algorithms process this information and translate it into commands for the actuators, which are responsible for driving the movement of the suit's limbs. The software

must be able to integrate the various sensors and actuators, and provide the user with a simple and intuitive interface for controlling the suit. It must also be able to manage the power and energy usage of the suit, ensuring that it can operate for an extended period of time without needing to be recharged.

One of the key challenges in controlling exosuits is ensuring that they respond in a manner that is both safe and intuitive for the user. To achieve this, the algorithms used to control the suit must be able to accurately interpret the user's intentions and translate them into appropriate movements. This requires a deep understanding of human anatomy and biomechanics, as well as the development of sophisticated control systems that can respond in real time to changes in the user's movements.

Another important aspect of exosuit control is ensuring that the suit is comfortable and easy to wear, with careful design of the frame and attachment points, and a selection of materials that are lightweight and flexible. The user must also be able to adjust the fit of the suit to ensure that it is snug and secure, without causing any discomfort or restriction of movement.

## **Pushing the boundaries**

The ARIES Laboratory, specialising in Assistive Robotics and Interactive Exosuits, was founded in 2019. Since its establishment, our team has been pushing the boundaries of wearable technology. It is diverse, comprising individuals of multiple nationalities, genders, and backgrounds, each contributing a unique set of skills in fields including Biomedical Engineering, Mechanical Design, Biomechanics, and Machine Learning. What sets us apart is our ability to handle all aspects of the design process in-house. We manufacture and assemble our sensors and actuators,

create our textile components, and use 3D printing technology to fabricate all parts that make up an exosuit. We are dedicated to full-body assistance augmentation and are one of few groups in the world with the ability to apply soft wearable technology to a wide range of human movements.

The central focus of our research is to provide motor assistance in rehabilitation. To achieve this goal, we have established strong partnerships with leading institutions and hospitals in Germany, such as the Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf and the Spinal Cord Injury Center of Heidelberg University Hospital, as well as with renowned rehabilitation centres in Italy. Our exosuit technology is versatile and can be applied in various clinical fields, including treatment for multiple sclerosis, spinal cord injury, and stroke. The results have been promising so far, with patients showing approval for and satisfaction with the use of these devices during their rehabilitation. However,

the effectiveness of our technology is largely dependent on the extent of the patient's physical limitations. Patients with some residual mobility can benefit from our exosuits, which enhance their movement, improve their range of motion, and help them regain motor functions they wouldn't be able to otherwise.

Recently, we integrated functional electric stimulation (FES) into our exoskeleton technology, combining the benefits of soft robotics with electrical muscle activation. This approach not only assists motion but also prevents muscle atrophy, a common side effect of reduced mobility. Additionally, our team at Heidelberg University is part of two consortia funded by the Carl Zeiss Foundation, which conduct research on aging populations. Here, the ARIES Laboratory is responsible for designing devices to aid walking, while also increasing the wearer's metabolic efficiency.

### Fakultät für Ingenieurwissenschaften

Als 13. Fakultät hat zum 1. Oktober 2021 die Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Heidelberg ihre Arbeit aufgenommen. Ihre Forschungsthemen sind breit angelegt und reichen von biogenen Verpackungstechnologien für mRNA-Impfstoffe über künstliche Zellen als Transportsysteme im Körper bis zu „tragbaren“ Technologien wie Exoskeletten, die Menschen beim Heben oder Gehen unterstützen und in der Industrie, in der Rehabilitation oder für eine generelle unterstützende Hilfeleistung eingesetzt werden können.

Aktuell umfasst die Fakultät 29 Professuren; ihre Wissenschaftler:innen forschen am Institut für Pharmazie und Molekulare Biotechnologie, am Institute for Molecular Systems Engineering and Advanced Materials und am Institut für Technische Informatik. Darüber hinaus arbeiten Professor:innen der Fakultät am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen, am BioQuant-Zentrum, am Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg sowie am Biochemiezentrum der Universität Heidelberg. Die Fakultät bietet den konsekutiven Bachelor- und Masterstudiengang Molekulare Biotechnologie, den Staatsexamensstudiengang Pharmazie und den Masterstudiengang Technische Informatik an. Außerdem verantwortet sie den Master und das PhD-Programm Matter to Life im Rahmen der gleichnamigen Max Planck School. Weitere Studiengänge in den Bereichen Molecular Systems Engineering und der Medizintechnik sind in der Planung.

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

Moreover, at a time where Artificial Intelligence is a highly discussed topic, we also specialise in incorporating the latest advances in machine learning to enhance the intelligence and adaptability of our exosuits. Recently, we used vision algorithms for the first time to instantaneously recognise and adapt to events in the environment. A camera, which is an integrated component of our wearable robots, can detect stairs and obstacles and increase the robotic assistance to help a person climb or descend stairs with reduced metabolic effort. Our experimentation extends beyond the laboratory because we firmly believe that testing our system in real-world scenarios is essential to demonstrate its effectiveness and to involve the public in our endeavours.

To demonstrate our capabilities, we recently assessed one of our walking assistance devices on the Philosophers' Walk ("Philosophenweg") in Heidelberg, which generated interest among many individuals. The City of Heidelberg then invited us to participate in its "Science in the City" initiative, giving us the chance to exhibit our work to the public in Heidelberg's Old Town for a period of three weeks. ●

WEICHER, SCHLAUER, STÄRKER

# VON EXOSKELETTEN ZU EXOSUITS

LORENZO MASIA

Im Laufe der Jahrtausende gab es unzählige Geschichten, in denen der menschliche Körper mittels Technik verbessert wurde: etwa Ikarus mit seinen Flügeln aus Wachs und Federn oder der Keltenkönig Nuada mit dem silbernen Arm. Diese Geschichten aus unterschiedlichen Kulturen zeugen vom universellen menschlichen Bedürfnis, die Grenzen der Natur zu überwinden. In der Geschichte von Ikarus kommt ganz besonders der unerreichbare menschliche Wunsch zum Ausdruck, aus eigener Kraft zu fliegen. Heute ermöglichen uns Fortschritte in Technik und Medizin den Übergang vom Reich der Mythen in das Reich des Möglichen.

In den vergangenen Jahren gab es signifikante Fortschritte bei der Entwicklung von Aktuatoren, automatisierter Kontrolle und Miniaturisierung elektronischer Geräte, ebenso auf dem Gebiet der intelligenten Materialien. Das hat neue Möglichkeiten in der Robotik eröffnet: Sie kommt mittlerweile in Gebieten zum Einsatz, die einst der Science-Fiction vorbehalten waren, zum Beispiel als Assistenzsysteme, in der Rehabilitation oder zur Steigerung der menschlichen Leistungsfähigkeit. Ein sehr aktuelles Forschungsgebiet in der Robotik, dem sich auch Heidelberger Forscher:innen widmen, befasst sich mit tragbaren Technologien, insbesondere mit Exosuits.

Diese tragbaren Geräte sollen körperlich beeinträchtigte Menschen bei der Fortbewegung und Ausführung von Aufgaben unterstützen. Sie bestehen aus weichen oder semirigiden Komponenten, die am Körper befestigt werden und dort unterstützend und mobilitätssteigernd wirken. Exosuits können auf unterschiedliche Anforderungen wie Gehen, Stehen und sogar Klettern programmiert werden; gleichzeitig können sie Kraft und Ausdauer steigern, um Aufgaben wie schweres Heben oder wiederkehrende Bewegungsabläufe zu erleichtern. Sie haben das Potenzial, die Rehabilitation komplett zu verändern und körperlich beeinträchtigten Menschen ein selbstbestimmteres Leben zu ermöglichen. Darüber hinaus werden sie in der Industrie und beim Militär zur Leistungssteigerung eingesetzt. ●

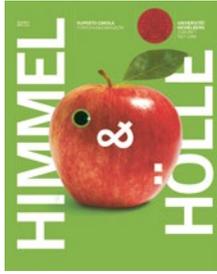
PROF. DR. LORENZO MASIA ist seit April 2019 an der Universität Heidelberg am Institut für Technische Informatik (ZITI) tätig. Er ist Leiter des ARIES Lab, das sich mit dem Design und der Entwicklung von Exosuits für die körperliche Rehabilitation und zur Steigerung der menschlichen Leistungsfähigkeit beschäftigt. Lorenzo Masia hat einen Abschluss in Maschinenbau von der Universität La Sapienza in Rom und einen Dokortitel von der Universität Padua (beide in Italien). Vor seinem Wechsel nach Heidelberg arbeitete er am Massachusetts Institute of Technology (USA), dem Istituto Italiano di Tecnologia (Italien), der Nanyang Technological University in Singapur und der Universität Twente (Niederlande).

Kontakt: [lorenzo.masia@ziti.uni-heidelberg.de](mailto:lorenzo.masia@ziti.uni-heidelberg.de)

**„Die Zukunft der Robotik  
scheint in einer  
symbiotischeren Interaktion  
zwischen künstlichen  
und biologischen Systemen  
zu liegen.“**



**ALT & JUNG**  
NR. 1, OKTOBER 2012



**HIMMEL & HÖLLE**  
NR. 2, APRIL 2013



**ORDNUNG & CHAOS**  
NR. 3, NOVEMBER 2013



**KRIEG & FRIEDEN**  
NR. 4, MAI 2014



**DRAUSSEN & DRINNEN**  
NR. 5, NOVEMBER 2014



**GESUND & KRANK**  
NR. 6, JUNI 2015



**SCHATTEN & LICHT**  
NR. 7, DEZEMBER 2015



**NORD & SÜD**  
NR. 8, JULI 2016



**STOP & GO**  
NR. 9, DEZEMBER 2016



**FRAU & MANN**  
NR. 10, JULI 2017



**SCHEIN & SEIN**  
NR. 11, DEZEMBER 2017



**STADT & LAND**  
NR. 12, JUNI 2018



**HEISS & KALT**  
NR. 13, DEZEMBER 2018



**ABSOLUT & RELATIV**  
NR. 14, JUNI 2019



**KULTUR & NATUR**  
NR. 15, DEZEMBER 2019



**MASCHINE & MENSCH**  
NR. 16, JULI 2020



**FREUND & FEIND**  
NR. 17, FEBRUAR 2021



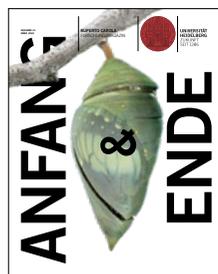
**VERBINDEN & SPALTEN**  
NR. 18, JULI 2021



**RAUM & ZEIT**  
NR. 19, FEBRUAR 2022



**WEICH & HART**  
NR. 20, JULI 2022



**ANFANG & ENDE**  
NR. 21, MÄRZ 2023



**SCHWACH & STARK**  
NR. 22, AUGUST 2023