



# Blick in die Wissenschaft

# 35 36

Forschungsmagazin der Universität Regensburg

## Forschung an der Universität Regensburg

Gott und die Welt

## Theoretische Physik

Filmreife Festkörperforschung

## Quantenphysik

Wenn es in Kristallen blitzt

## Französische Literatur

Die Verwechslung von Ästhetik und Religion

## Kulturanalyse

Politik macht Kleidung?

## Juristische Zeitgeschichte

Kommunistenprozesse

## Wirtschaftsgeschichte

Börsenkurse und Schlachtenglück

## Immobilienwirtschaft

Einfaches Geld und Immobilienmärkte

## Medienästhetik

Wovon träumt Alexa?

## Wirtschaftsinformatik

Prozessorientiertes Qualitätsmanagement

## Neurowissenschaften

Sehen mit einem Zentralskotom

## Anatomie

Wachsen und Erhalten – Blutgefäße Auge

## Pharmazie

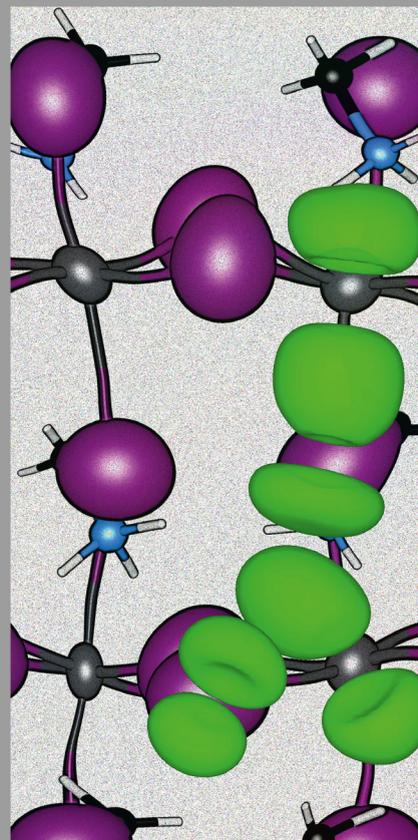
Stickoxide können auch anders

## Immunologie und Physiologie

Die unerwartete Kraft des weißen Goldes

## Mikrobiomforschung

Das Mikrobiom



**Blick in die Wissenschaft  
Forschungsmagazin  
der Universität Regensburg**

ISSN 0942-928-X  
Doppelheft 35/36  
26. Jahrgang

**Herausgeber**

Prof. Dr. Udo Hebel  
Präsident der Universität Regensburg

**Redaktionsleitung**

Prof. Dr. rer. nat. Ralf Wagner

**Redaktionsbeirat**

Prof. Dr. jur. Christoph Althammer  
Prof. Dr. rer. nat. Ferdinand Evers  
Prof. Dr. nat. Felix Finster  
Prof. Dr. rer. nat. Mark W. Greenlee  
Prof. Dr. theol. Andreas Merkt  
Prof. Dr. phil. Omar W. Nasim  
Prof. Dr. rer. nat. Klaus Richter  
Prof. Dr. rer. pol. Guido Schryen  
Prof. Dr. med. Ernst Tamm  
Prof. Dr. paed. Oliver Tepner  
Prof. Dr. phil. Isabella von Treskow

**Editorial Office**

Claudia Kulke M.A.

Universität Regensburg,  
93040 Regensburg  
Telefon (09 41) 9 43-23 00  
Telefax (09 41) 9 43-33 10

**Verlag**

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
Leibnizstraße 13, 93055 Regensburg  
Telefon (09 41) 7 87 85-0  
Telefax (09 41) 7 87 85-16  
info@univerlag-regensburg.de  
www.univerlag-regensburg.de  
Geschäftsführer: Dr. Albrecht Weiland

**Abonnementservice**

Bastian Graf  
b.graf@univerlag-regensburg.de

**Anzeigenleitung**

Larissa Nevecný  
MME-Marquardt  
info@mme-marquardt.de

**Herstellung**

Universitätsverlag Regensburg GmbH  
info@univerlag-regensburg.de

**Einzelpreis des Doppelheftes € 14,00**

**Jahresabonnement**

bei zwei Ausgaben pro Jahr  
**€ 10,00 / ermäßigt € 9,00**  
für Schüler, Studenten und Akademiker  
im Vorbereitungsdienst (inkl. 7% MwSt)  
zzgl. Versandkostenpauschale € 1,64 je  
Ausgabe. Bestellung beim Verlag.  
Für Mitglieder des **Vereins der Ehemaligen  
Studierenden der Universität Regensburg  
e.V.** und des **Vereins der Freunde der Uni-  
versität Regensburg e.V.** ist der Bezug des  
Forschungsmagazins im Mitgliedsbeitrag  
enthalten.

Spitzenforschung und Talentförderung, wettbewerbsfähig im nationalen und internationalen Vergleich und regelmäßig vordere Plätze in Deutschland-weiten Rankings bei Examensabschlüssen: Mit einigem Stolz kann die gerade einmal 50 Jahre junge Universität Regensburg auf ihre noch kurze Geschichte zurückblicken. Prof. Dr. Udo Hebel, Präsident der Universität Regensburg, konnte jedenfalls bei der Festveranstaltung des Jubiläumsjahres im Historischen Reichssaal des alten Rathauses der Stadt Regensburg eine durchweg positive Bilanz ziehen, gilt doch die Universität Regensburg heute als etablierter Spieler im Konzert der internationalen Hochschullandschaft.

„Gott und die Welt sind ihre Forschungsfelder“. So nahm Prof. Hubert Markl, einst DFG Präsident, die Universität Regensburg schon 25 Jahre nach ihrem Gründungsakt wahr. Ausgehend von diesem Zitat beschreibt Prof. Dr. Bernhard Weber, Vizepräsident für Forschung und Nachwuchsförderung, in seinem Beitrag die jüngere Entwicklung des Wissenschaftsstandortes Regensburg. Neben der Bedeutung strukturbildender Sonderforschungsbereiche, außeruniversitärer Forschungseinrichtungen oder EU-Förderungen stellt sein Artikel die jüngeren, oft preisgekrönten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als entscheidend für die Entwicklung der Universität in den Leserfokus.

Ausgewählte Kolleginnen und Kollegen haben fakultätsübergreifend zu dieser Ausgabe beigetragen und ermöglichen so Einblick in die aktuelle Regensburger Forschungslandschaft. Dr. David Egger, erst unlängst mit dem Sofja Kovalevskaja-Preis der Alexander von Humboldt-Stiftung ausgezeichnet, berichtet davon, wie die unerschöpflichen Energiequellen des Sonnenlichts durch Einsatz neuer Materialien mit spektakulären Wirkungsgraden nutzbar gemacht werden könnten. In seinem faszinierenden Streifzug entlang der Grenze zwischen Physik, Chemie und Materialwissenschaften stellt er die Verfilmung atomarer und elektronischer Prozesse als Grundlage für die Entwicklung effektiverer Solarzellen in Aussicht. „Filmreife Festkörperforschung“ – lesen Sie mal rein. Und lassen Sie sich dann mitreißen zur Quantenphysik, artverwandt und doch ganz anders: Über das was die Welt zusammen hält, was passiert, wenn’s im Festkörper blitzt und die kleinen Teilchen kollidieren.



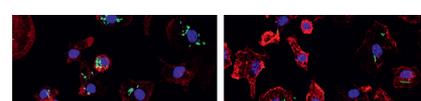
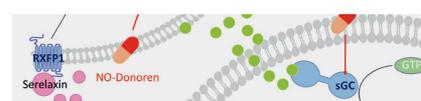
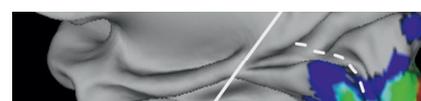
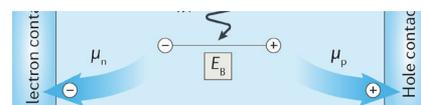
Eine Querschnittsbetrachtung über die Vielfalt der in Regensburg bearbeiteten Forschungsfelder, das war und ist das Leitmotiv für den „Blick in die Wissenschaft“. Mit einem Beitrag zur „Gefahr der Verwechslung von Ästhetik und Religion“, einer Kulturanalyse „Macht Kleidung Politik“, kurzen Reflektionen zur juristischen Zeit- und Wirtschaftsgeschichte, Einblicken in ausgewählte Aspekte der Immobilienwirtschaft, Wirtschaftsinformatik und Medienästhetik sowie Highlights aus Medizin und Lebenswissenschaften zieht diese Ausgabe historische Lehren und stellt diese gemeinsam mit neuen Erkenntnissen aus den experimentellen Fächern in eine Perspektive für unsere Zukunft.

Abschließend noch kurz in eigener Sache: Aufmerksame Leser werden festgestellt haben, dass der Redaktionsbeirat neu formiert, erweitert und durch ein Editorial Office ergänzt wurde – zum einen, um Kolleginnen und Kollegen, die sich in der Vergangenheit ehrenamtlich engagiert haben, zu entlasten, zum anderen, um der Darstellung der erweiterten Forschungsfelder, den Anforderungen an die Mitglieder des Redaktionsbeirates und vor allem auch Ihrem Anspruch an Information und Qualität gerecht zu werden. Ich hoffe, das ist mit dieser Ausgabe in neuer Besetzung gelungen!

Prof. Dr. Ralf Wagner  
(Redaktionsleitung)

# Inhalt

	<b>Gott und die Welt</b> <i>Bernhard H. F. Weber</i>	3
	<b>Filmreife Festkörperforschung</b> <i>David Egger</i>	9
	<b>Wenn es in Kristallen blitzt</b> <i>Fabian Langer, Rupert Huber</i>	14
	<b>„Nichts ist gefährlicher als die Verwechslung von Ästhetik und Religion“</b> <i>Jonas Hock</i>	19
	<b>Politik macht Kleidung?</b> <i>Melanie Burgemeister</i>	24
	<b>Kommunistenprozesse</b> <i>Martin Löhnig</i>	29
	<b>Börsenkurse und Schlachtenglück</b> <i>Tobias A. Jopp</i>	35
	<b>Einfaches Geld und Immobilienmärkte</b> <i>Gabriel S. Lee</i>	40
	<b>Wovon träumt Alexa?</b> <i>Christiane Heibach</i>	45
	<b>Prozessorientiertes Qualitätsmanagement in Zeiten der Digitalisierung</b> <i>Florian Johannsen</i>	52
	<b>Sehen mit einem Zentralskotom</b> <i>Mark W. Greenlee, Tina Plank</i>	58
	<b>Wachsen und Erhalten – Blutgefäße im gesunden und kranken Auge</b> <i>Barbara M. Braunger</i>	62
	<b>Stickoxide können auch anders</b> <i>Jens Schlossmann, Andrea Schramm</i>	68
	<b>Die unerwartete Kraft des weißen Goldes</b> <i>Jonathan Jantsch</i>	72
	<b>Das Mikrobiom</b> <i>André Gessner</i>	76





# Gott und die Welt

## Forschung im internationalen Spitzenbereich an der Universität Regensburg

Bernhard H. F. Weber

Mit der Gründung der Universität Regensburg vor etwas mehr als 50 Jahren war der Auftrag verbunden, die damals drei existenten bayerischen Landesuniversitäten in München, Erlangen-Nürnberg und Würzburg zu entlasten und gleichzeitig die Begabungsreserven des ostbayerischen Raums zu erschließen. Von Anfang an war es jedoch nicht das Ziel, eine Universität mit lediglich regionaler oder nationaler Ausrichtung zu schaffen, sondern einen Standort mit internationaler Strahlkraft für Spitzenforschung und forschungsbasierte Lehre aufzubauen. Dabei wurde der Universität eine stark forschungsorientierte Ausrichtung bereits in ihren Anfängen von Prof. Hansjochem Aulum, dem damaligen Vorsitzenden der Hochschul-Planungskommission in Bayern und Vizepräsidenten der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), in die Wiege gelegt. Es entwickelten sich in den Folgejahren vielfältige und vertrauensvolle Beziehungen zwischen der DFG und der Universität Regensburg. „Gott und die Welt sind ihre Forschungsfelder“, stellte Hubert Markl, damaliger Präsident der DFG, in seinem Grußwort zur 25-Jahrfeier des Gründungsbeschlusses fest. Daraus haben sich bis heute eine Reihe exzellenter Forschungsfelder entwickelt, die hier kurz vorgestellt werden sollen.

Besonders erwähnenswert sind dabei die strukturbildenden und wettbewerbsfähig eingeworbenen Fördermittel, beispielsweise aus Förderprogrammen der Europäischen Union, der DFG mit ihren Sonderforschungsbereichen, For-

scherguppen und Graduiertenkollegs sowie herausragende wissenschaftliche Preise. Zusammen mit der Entwicklung der außeruniversitären Forschung am Standort belegen sie exemplarisch den bisherigen Werdegang der Forschungsaktivitäten an der noch immer jungen Universität Regensburg. Sie weisen aber auch auf Weichenstellungen hin, die die Universität Regensburg als modernen, forschungsstarken und national wie auch international angesehenen und gesuchten Partner weiterentwickeln und stärken sollen.

### Strukturbildende Forschung

Sonderforschungsbereiche (SFB) der Deutschen Forschungsgemeinschaft gelten als die zentralen Elemente einer strukturfördernden und längerfristig angelegten Forschung an deutschen Universitäten. Seit 1968 eingerichtet, erlauben sie fächerübergreifende, komplex angelegte Ressourcen- und Personalbündelung und somit an den jeweiligen Standorten Schwerpunktsetzungen, Strukturbildungen und vielfältige Vernetzungen. An der Universität Regensburg wurde im Jahre 1979 erstmalig ein SFB eingeworben. Mit dem Titel ‚Sinnesleistungen, Anpassung von Strukturen und Mechanismen‘ bekam dieser SFB das DFG-Geschäftszeichen mit der Nummer vier, was deutlich macht, dass es sich hierbei um einen der ersten bewilligten SFBs in Deutschland handelte. Der Sprecher des Schwerpunktprogramms, der Zoologe Prof. Dr. Jürgen Boeckh, koordinierte neunzehn Teilprojekte in acht Berei-

chen, welche die Sinnesleistungen und die damit verbundenen Verhaltensmechanismen untersuchten.

Schon ein Jahr später folgte SFB 43 ‚Biochemie von Zelloberflächen‘. Sprecher war hier der Zellbiologe und Pflanzenphysiologie Prof. Dr. Widmar Tanner. Ein dritter SFB wurde dann im Jahre 1985 als SFB 234 etabliert, der sich unter der Führung des Pharmazeuten Prof. Dr. Helmut Schönenberger der Thematik ‚Experimentelle Krebschemotherapie – Wirkstoffsynthese und -prüfung an hormonabhängigen Tumoren‘ annahm. Besonders mit dem SFB 234 war am Standort Regensburg ein Grundstein für die Krebsforschung und -behandlung gelegt worden, der dann in der Folge nachhaltig an der Fakultät für Medizin in Kooperation mit dem Universitätsklinikum Regensburg ausgebaut und bis heute zu einem international sichtbaren Schwerpunkt entwickelt wurde [1].

### Ansiedlung außeruniversitärer Forschungseinrichtungen am Standort

Ausdruck einer solchen Schwerpunktbildung auf international höchstem Niveau ist beispielsweise die Entwicklung des Regensburger Centrums für Interventionelle Immunologie (RCI), das sich mit der Erarbeitung innovativer zellbasierter Immuntherapien bei Leukämien, aber auch soliden Tumoren beschäftigt. Eine entsprechende moderne Infrastruktur, wie sie beispielhaft im José-Carreras-Centrum für Somatische Zelltherapie (JCC) realisiert werden konnte,



1 Skulptur eines Erregers am Universitätsklinikum Regensburg. Quelle: UKR / Völcker

erlaubt schon heute die Herstellung von Zellmedikamenten für individuelle Immuntherapien im Sinne einer personalisierten Medizin. Die Weichen für den zukünftigen Ausbau des RCI zu einem außeruniversitären Institut der Leibniz-Gemeinschaft sind gestellt.

Ähnlich zielen die Planungen der Regensburger Projektgruppe ‚Personalisierte Tumorthherapie‘ auf die Etablierung einer eigenständigen außeruniversitären Einrichtung, in diesem Falle als Institut der Fraunhofer-Gesellschaft. Die Projektgruppe um Prof. Dr. Christoph Klein (Lehrstuhl für Experimentelle Medizin und Therapieverfahren) verfolgt das Ziel, diagnostische Tests zur frühzeitigen Entdeckung der Krebszellstreuung und zur Vorhersage des Therapieansprechens von metastatischen Vorläuferzellen zu entwickeln.

Die beiden letztgenannten Anstrengungen zur Ansiedlung von außeruniversitären Forschungseinrichtungen zeugen von der hohen Innovationskraft des Standortes. Sie machen aber auch deutlich, dass eine frühzeitige Profilierung und eine richtungsweisende Strukturbildung Voraussetzung für Entwicklungen in diesen hochkompetitiven Bereichen der grundlegenden und

angewandten Forschung der Krebsentstehung und -behandlung sind.

Eine vergleichbare Entwicklung – von den Anfängen einer strukturierten Schwerpunktbildung hin zu einer Einrichtung eines international renommierten Instituts der Leibniz-Gemeinschaft – konnte am Standort Regensburg im Bereich der Ost- und Südosteuropastudien erreicht werden. Die Erschließung des wissenschaftlichen Potenzials der Region wurde von Anbeginn als Gründungsauftrag der Universität Regensburg verstanden und spiegelte sich seither deutlich in ihrem Forschungsprofil wider. Unter dem Sinnbild der Donau als verbindendes Element wurden früh Beziehungen zu den Nachbarstaaten und Ländern des südöstlichen Europas aufgebaut und gepflegt. Im Mittelpunkt dieser Aktivitäten standen damals universitäre Partner in Prag, Wien, Budapest sowie Universitäten im damaligen Jugoslawien. Der erste Partnerschaftsvertrag wurde mit der Universität Ljubljana 1976 geschlossen. Als erster Gastprofessor konnte mit Prof. Viktor Knapp schon zu Beginn des Vorlesungsbetriebs 1967 der führende tschechische Rechtswissenschaftler der damaligen Zeit gewonnen werden. Er war Professor

der Karlsuniversität Prag und Direktor der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften.

Ein bedeutender Meilenstein für die Entwicklung zum Leibniz-Institut für Ost- und Südosteuropaforschung (IOS) wurde im Jahr 2007 mit der Vereinigung der ursprünglich in München ansässigen unabhängigen Vorgängereinrichtungen, dem 1930 gegründeten Südost-Institut und dem 1952 ins Leben gerufenen Osteuropa-Institut, in Regensburg erreicht. In enger Kooperation konnten diese Institute nun unter einem Dach arbeiten, zudem konnten geschichts- und wirtschaftswissenschaftliche Expertisen zu interdisziplinären Forschungsschwerpunkten gebündelt werden. Der vorläufige Höhepunkt dieses Schwerpunktes der Universität ist neben der gemeinsam mit der Ludwig-Maximilians-Universität München eingeworbenen Graduiertenschule für Ost- und Südosteuropastudien (GS OSES) im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder zur Förderung von Wissenschaft und Forschung an deutschen Hochschulen die Aufnahme des Instituts für Ost- und Südosteuropaforschung (IOS) in die Leibniz-Gemeinschaft im Januar 2017.

## Aktuelle Entwicklungen

Aus den ersten Anfängen einer strukturierten Forschung am Standort Regensburg sind im Laufe der Jahre weitere SFBs, Forschergruppen (FOR) und Klinische Forschergruppen (KFO) in der Biologie, Medizin, Chemie, Physik und Mathematik entstanden. Im Jubiläumsjahr befinden sich unter der Sprecherschaft der Universität Regensburg fünf SFBs und zwei Transregio-SFB, sowie ein gemeinsamer SFB unter der Führung der TU München mit einem Schwerpunkt aus dem Bereich der Pflanzenbiologie und insgesamt fünf FORs beziehungsweise KFOs in der aktiven Förderung:

### SFB 1277

„Emergente relativistische Effekte in der Kondensierten Materie: Von grundlegenden Aspekten zu elektronischer Funktionalität“

Sprecher: Prof. Dr. Klaus Richter, Fakultät für Physik

### SFB 689

„Spinphänomene in reduzierten Dimensionen“

Sprecher: Prof. Dr. Dieter Weiss, Fakultät für Physik

### SFB 699

„Strukturelle, physiologische und molekulare Grundlagen der Nierenfunktion“

Sprecher: Prof. Dr. Armin Kurtz, Fakultät für Biologie und Vorklinische Medizin

### SFB 960

„Die Bildung von Ribosomen: Grundlagen der RNP-Biogenese und Kontrolle ihrer Funktion“

Sprecher: Prof. Dr. Herbert Tschochner, Fakultät für Biologie und Vorklinische Medizin

### SFB 1085

„Höhere Invarianten – Wechselwirkungen zwischen Arithmetischer Geometrie und Globaler Analysis“

Sprecher: Prof. Dr. Guido Kings, Fakultät für Mathematik

### SFB/TRR55

„Hadronenphysik mit Gitter-QCD“

Sprecher: Prof. Dr. Andreas Schäfer, Fakultät für Physik

### SFB/TRR 221

„Modulation of graft-versus-host and graft-versus-leukemia immune response after allogeneic stem cell transplantation“

Sprecher: Prof. Dr. Wolfgang Herr, Fakultät für Medizin

### SFB 924

„Molekulare Mechanismen der Ertragsbildung und Ertragssicherung bei Pflanzen“

Sprecher: Prof. Dr. Claus Schwechheimer, Lehrstuhl Systembiologie der Pflanzen, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Technische Universität München

### FOR 696

„Molekulare Analyse und Interaktionen an artikulären Grenzflächen“

Sprecher: Prof. Dr. Rainer H. Straub, Fakultät für Medizin

### FOR 2127

„Selection and adaptation during metastatic cancer progression“

Sprecher: Prof. Dr. Christoph Klein, Fakultät für Medizin

### FOR 2407

„Exploring Articular Cartilage and Subchondral Bone Degeneration and Regeneration in Osteoarthritis (ExCarBon)“

Sprecherin: Prof. Dr. Susanne Grässel, Fakultät für Medizin

### KFO 243

„Early Immunological Determinants of Late Transplant Outcome (ELITE)“

Sprecher: Prof. Dr. Hans J. Schlitt, Fakultät für Medizin

### KFO 262

„Der Tumormetabolismus als Modulator der Immunantwort und Tumorprogression“

Sprecher: Prof. Dr. Peter Oefner, Fakultät für Medizin

## Graduiertenkollegs (GRKs)

GRKs sind seit 1990 im Programm der DFG implementiert und bilden seitdem einen weiteren Grundpfeiler einer strukturierten Forschungsförderung. Der

Schwerpunkt dieses Programms zielt wesentlich auf die Förderung von jungen Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern. Die ersten drei Graduiertenkollegs der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der Universität Regensburg waren 1991 das Kolleg „Juristische und ökonomische Probleme der Neuordnung des Insolvenzrechts“, das GRK „Physik der starken Wechselwirkung“ mit der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg sowie das GRK „Komplexität in Festkörpern: Phononen, Elektronen und Strukturen“. In den Jahren danach konnten 7 weitere Graduiertenkollegs in den Bereichen Physik, Chemie, Medizin, Geschichte, Sprach-, Literatur- und Kulturwissenschaften und Alte Kulturen in Regensburg eingerichtet werden.

Aktuell werden sechs Graduiertenkollegs gefördert, die in den Bereichen Physik, Chemie und Pharmazie, Biologie und Vorklinische Medizin, Mathematik sowie in der Fakultät für Philosophie-, Kunst-, Geschichts- und Gesellschaftswissenschaften angesiedelt sind. Die seit 2012 aus den Mitteln der Exzellenzinitiative geförderte Graduiertenschule für Ost- und Südeuropastudenten „GS OSES“, eine gemeinsame Einrichtung der Universität Regensburg und der Ludwig-Maximilians-Universität München folgt dem Konzept der integrierten Regionalwissenschaften. Weitere fachspezifische Graduiertenprogramme auf internationalem Spitzenniveau umfassen das „Graduate Program in Economics“, drei internationale Doktorandenkollegs des Elitenetzwerkes Bayern („Evidence based economics“, „Topologische Isolatoren“ und „Receptor dynamics: Emerging Paradigms for Novel Drugs“) sowie das internationale Promotionskolleg „Aisthesis“ für Promovierende der Kunstgeschichte.

Daneben stehen allen Promovierenden fakultäre Promotionsprogramme der jeweiligen Fakultäten offen. Sie wurden eingerichtet, um die Qualität der Doktorandenausbildung nach den neuesten Standards im jeweiligen Fachgebiet zu gewährleisten und international zu positionieren. Exemplarisch genannt seien hier das von der Philosophischen Fakultät der Universität Regensburg 2008 aufgelegte Promotionskolleg „PUR“, das sich an die Promovierenden der Fakultät für Philosophie, Kunst-, Geschichts- und Gesellschaftswissenschaften sowie für Sprach-, Literatur- und Kulturwissenschaften wendet. 2009 wurde dann die Regensburger Internationale Graduiertenschule für Le-



2 Zur Anzucht von Hochtemperaturorganismen stehen im Biotechnikum der Universität Regensburg elf verschiedene Bioreaktoren, sogenannte Fermenter, in unterschiedlichen Größen von 7 bis 300 Liter Fassungsvermögen zur Verfügung.

benswissenschaften „RIGel“ der Fakultät für Biologie und Vorklinische Medizin gegründet, an der sich konzeptionell auch die 2011 von der Fakultät für Medizin gegründete Biomedizinische Graduiertenschule „BIOMEDICS“ orientiert und die allen Promovierenden in den Biowissenschaften offen steht. Promovierende der Fakultät für Chemie und Pharmazie finden in der „ChemPharm“ Graduate School Regensburg Strukturen vor vergleichbar denjenigen der anderen naturwissenschaftlichen Programme. Finanzielle Unterstützung für Auslandsaufenthalte finden Studenten der Chemie und Pharmazie sowie der Biologie und Vorklinischen Medizin im internationalen Promotionsprogramm der Universität Regensburg iPUR.

## Zentrum zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses (WIN)

Das WIN ist eine fakultätsübergreifende Plattform und bildet die Schnittstelle zu bestehenden Promotionsprogrammen und zu Forschungsverbänden mit einer ausgeprägten Komponente der akademischen Nachwuchsförderung. Damit bietet die Universität eine langfristige zentrale Struktur, die die vorhandenen Aktivitäten im Bereich der akademischen Nachwuchsförderung vernetzt und somit Synergien schafft. Es soll auch die akademische Nachwuchsförderung regional, national und international sichtbar machen.

WIN verfolgt eine dreifache Zielsetzung: Zum einen berät es die Universitätsleitung bei der Entwicklung strategischer Perspektiven für den wissenschaftlichen Nachwuchs; zum zweiten unterstützt es die Fakultäten, Graduiertenschulen und Graduiertenkollegs der Universität, um optimale Rahmenbedingungen für den wissenschaftlichen Nachwuchs zu schaffen. Und schließlich soll das Zentrum die Entwicklung von Karriereperspektiven, die Vernetzung und die internationale Sichtbarkeit der jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler fördern. Eine der wichtigsten Aktivitäten von WIN ist es, als Ansprechpartner für Belange rund um die Promotion und die Postdoktorandenphase an der Universität Regensburg zu dienen. WIN verkörpert damit das übergreifende Dach eines Gebäudes, das vielfältige Komponenten zur Stärkung des wissenschaftlichen Nachwuchses überspannt und somit das zentrale Anliegen der Nachwuchsförderung am Wissenschaftsstandort Regensburg beheimatet.

## Forschungsförderung durch die Europäische Union

Die Forschungsförderung durch die Europäische Union (EU) hat in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren deutlich an Gewicht und Sichtbarkeit gewonnen. Insbesondere seit 2007 ist die EU ein wichtiger Förderer für europaweite Verbundprojekte und für herausragende Einzelforschung. Die

Universität hat bisher mehrere Verbundprojekte koordiniert oder war als Partnerin daran beteiligt. Aktuell stammen etwa zehn Prozent der gesamten Drittmittelannahmen der Universität Regensburg aus dem Bereich der EU-Forschungsförderung. Außerdem haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Regensburg seit 2009 insgesamt zehn hochwertige sogenannte Starting, Consolidator oder Advanced Grants beim Europäischen Forschungsrat (ERC) eingeworben, von denen aktuell noch acht in der Förderung sind:

### Starting Grant

„Ultrafast quantum physics on the sub-cycle time scale“

Projektleiter: Prof. Dr. Rupert Huber, Fakultät für Physik

### Starting Grant

„Molecular Mesoscopics for Organic Nano-Optoelectronics“

Projektleiter: Prof. Dr. John Lupton, Fakultät für Physik

### Consolidator Grant

„Frontiers in Catalytic Anion-Binding Chemistry“

Projektleiterin: Prof. Dr. Olga Garcia-Mancheño, Fakultät für Chemie und Pharmazie

### Consolidator Grant

„Design Principles of Ion Pairs in Organocatalysis – Elucidation of Structures, Intermediates and Stereoselection Modes as well as Assessment of Individual Interaction Contributions“

Projektleiterin: Prof. Dr. Ruth Gschwind, Fakultät für Chemie und Pharmazie

### Consolidator Grant

„Reduced Iron Catalysts for Reduction and Coupling Reactions“

Projektleiter: Prof. Dr. Axel Jacobi von Wangelin, Fakultät für Chemie und Pharmazie

### Consolidator Grant

„Modification and regulation of coding and non-coding RNA pathways“

Projektleiter: Prof. Dr. Gunter Meister, Fakultät für Biologie und Vorklinische Medizin

**Advanced Grant**

„Identification and targeting of somatic changes initiating sporadic cancers“

Projektleiter: Prof. Dr. Christoph Klein,  
Fakultät für Medizin

**Advanced Grant**

„Design and Self-Assembly of Organometallic-Based Polypnictogen Materials and Discrete Nano-sized Supramolecules“

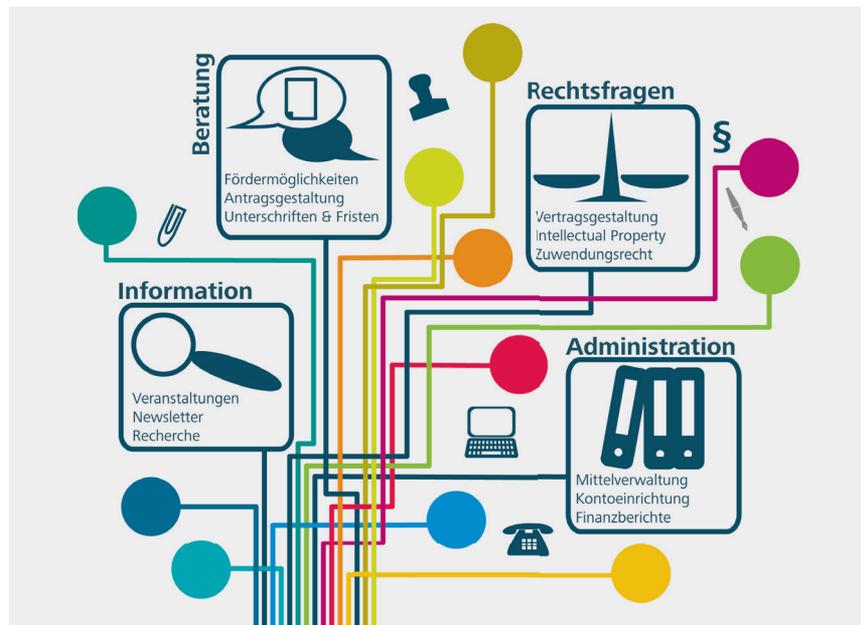
Projektleiter: Prof. Dr. Manfred Scheer,  
Fakultät für Chemie und Pharmazie

Die Gesamtentwicklung der Forschungsaktivitäten an der Universität Regensburg über den Zeitraum ihres Bestehens lässt sich auch in Zahlen objektivieren. So wurden im zweiten Forschungsbericht der Universität Regensburg im Jahr 1973 die damals noch als eingeworbene Drittmittel verbuchten Förderungen mit circa 1 Million D-Mark und im Jahr 1980 bereits mit knapp 8,6 Millionen D-Mark ausgewiesen. Im Jahr 1990 stieg die Höhe der eingeworbenen Drittmittel dann auf 19,6 Millionen D-Mark und im Jahr 2016 beliefen sich diese auf 62,58 Millionen Euro (einschließlich der klinisch-theoretischen und klinisch praktischen Lehrstühle der Fakultät für Medizin).

## Herausragende wissenschaftliche Preise

Die Verleihung herausragender wissenschaftlicher Auszeichnungen und Preise ist neben den eingeworbenen Forschungsgeldern ein weiterer wichtiger Indikator für exzellente Forschung. Hier sei nur auf zwei der bedeutendsten Auszeichnungen im deutschsprachigen Raum hingewiesen. Neben dem Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft, dem wichtigsten und mit bis zu 2,5 Millionen Euro unterstützten Forschungsförderpreis in Deutschland, ist hier auch der mit bis zu 1,65 Millionen Euro dotierte Sofja Kovalevskaja-Preis der Alexander von Humboldt-Stiftung zu nennen. Wichtiges Ziel dieser hochangesehenen Anerkennungen ist es, herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu ehren, ihnen aber zugleich erweiterte Forschungsmöglichkeiten zu geben.

Im Jahr 1988 wurde der Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis an Prof. Dr. Karl Otto Stetter (Lehrstuhl für Mikrobiologie, Fakultät für Biologie und Vorklinische Medizin)



3 Grafische Darstellung der administrativen Unterstützung der Forschung an der Universität Regensburg.

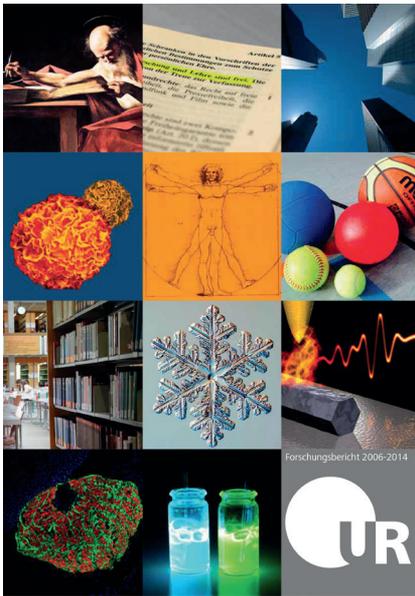
für seine bahnbrechenden Arbeiten über die von ihm entdeckten Archaeobakterien verliehen. Noch heute werden am Biotechnikum des Archaeozentrums der Universität Regensburg Archaeen und andere Hochtemperatur-Mikroben in großen Bioreaktoren (Fermentern) kultiviert und Forschern in aller Welt zur Verfügung gestellt [2]. Prof. Dr. Reinhard Zimmermann (Lehrstuhl für Bürgerliches Recht, Römisches Recht und Historische Rechtsvergleichung, Fakultät für Rechtswissenschaften) erhielt im Jahr 1996 ebenfalls den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis für seine Arbeiten im Bereich der Rechtswissenschaften.

Mit dem Sofja Kovalevskaja-Preis werden besonders wissenschaftliche Spitzenleistungen von vielversprechenden Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern ausgezeichnet. Im Jahr 2012 wurde mit diesem Preis Dr. Pavel Buividovich (Institute for Theoretical and Experimental Physics, ITEP, Moskau) ausgezeichnet, der mithilfe dieser Unterstützung gegenwärtig am Institut für Theoretische Physik der Universität Regensburg forscht. Herrn Dr. David Egger wurde im Jahr 2016 ebenfalls der Sofja Kovalevskaja-Preis zugesprochen und er ist mit dieser Auszeichnung vom Weizmann Institute of Science in Israel an die Universität Regensburg gewechselt. Hier erforscht er am Institut für Theoretische Physik organisch-anorganische Minerale, die besonders günstige Eigenschaften für die Anwendung im Bereich der erneuerbaren Energie bieten.

## Institutionelle Unterstützung der Forschung an der Universität Regensburg

Eine erfolgreiche Forschung erfordert auch unterstützende Strukturen und Rahmenbedingungen für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Im Jahr 1989 entstand an der Universität Regensburg die fachübergreifende Einrichtung FUTUR zur Förderung des Wissenstransfers zwischen Universität und Wirtschaft. Bereits 1992 wird unter dem ersten Prorektor für Forschung, Herrn Prof. Dr. Alf Zimmer, die Forschung als ein eigener Geschäftsbereich innerhalb der Universitätsspitze verankert. In dieser Zeit werden auch entsprechende Dienstleistungsangebote an der Universität auf- und ausgebaut.

Die administrative Unterstützung der Forschungsförderung ist aktuell im Referat IV/5 der Universität Regensburg gebündelt [3]. Hier werden Forschende von der Idee bis hin zum erfolgreichen Drittmittelprojektabschluss unterstützt. Das Serviceangebot umfasst dabei neben der Recherche und der Beratung zu den vielfältigen Fördermöglichkeiten auch Hilfe bei der Antragsgestaltung bis hin zu Fragen bei rechtsverbindlichen Unterschriften oder Fristsetzungen. Zusätzlich werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Regensburg mithilfe eines wöchentlich erscheinenden Newsletters sowie verschiedener Informationsveranstaltungen



4 Der Forschungsbericht 2006–2014 bietet einen Rückblick auf erfolgreiche Forschungsleistungen und zeigt strategische Handlungsfelder und Perspektiven für zukünftige Forschungsaktivitäten an der UR auf.

tungen über aktuelle Fördermöglichkeiten ausführlich informiert.

Mit steigender Zahl drittmittelgeförderter Forschungsprojekte steigen auch die administrativen Anforderungen an die Mittelverwaltung sowie an den vertraglichen Rahmen der Forschungsprojekte. Dabei reicht das Spektrum der Kooperationspartner vom öffentlichen Sektor bis zur Privatwirtschaft, von regionalen Förderern bis hin zu europäischen und internationalen Drittmittelgebern. Eine vielfältige interne Vernetzung ist dabei ebenso erforderlich wie selbstverständlich.

## Fazit und Ausblick

Die Universität Regensburg hat sich in ihrer noch jungen Geschichte regional, national und international sichtbar und nachhaltig in der Hochschullandschaft etablieren können. Dabei legte sie bereits in ihren Anfängen eine klare Akzentuierung auf Forschung und forschungsbasierte Lehre und untermauerte dies auch früh nachhaltig über erfolgreiche Einwerbungen von strukturbildenden Förderprogrammen. Aktuell kann die Universität auf stetig wachsende nationale und EU-weite Drittmittelförderung verweisen. Ein weiterer Ausbau der Spitzenforschung in den Natur- und Lebenswissenschaften, aber auch den Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften ist ein erklärtes strategisches Ziel der Universität, was nicht zuletzt im jüngsten, dem 11. Forschungsbericht der UR, nachhaltig dokumentiert werden konnte [4]. Dieser Bericht, der einen Zeitraum von acht Jahren (2006 bis 2014) spannt, zeigt eindringlich wie vielfältig und dynamisch sich die Forschung an der UR entwickelt hat, in einer Zeit, in der sich tiefgreifende Veränderungen sowohl an der Universität als auch in der nationalen und internationalen Forschungslandschaft vollzogen haben.

Auch im Bereich der Ansiedlung von außeruniversitären Forschungseinrichtungen am Standort ist die Universität seit mehreren Jahren aktiv und hat einen ersten Erfolg mit der Einrichtung des Leibniz-Instituts für Ost- und Südosteuropaforschung (IOS) zum 1. Januar 2017 in Regensburg erreicht.

Im Bereich der Lebenswissenschaften vereinigt das Regensburger Centrum für Interventionelle Immunologie (RCI) als zen-

trale Einrichtung der Universität Regensburg alle universitären Forschungsbereiche, die an der Entwicklung innovativer Immuntherapien arbeiten. Ziel des RCI ist die Erforschung, Entwicklung und schnellere Anwendung verbesserter Therapieansätze gegen Krebs, Infektionen, Autoimmunerkrankungen sowie in der Organ- und Stammzelltransplantation. Mit einer zeitlichen Vorgabe bis 2022/2023 soll das RCI zu einem außeruniversitären Institut der Leibniz-Gemeinschaft ausgebaut werden.

Einen wichtigen Meilenstein ihrer noch jungen Entwicklung konnte auch die ITEM-Projektgruppe ‚Personalisierte Tumorthherapie‘ verzeichnen. Sie wurde ab 1. Januar 2017 offiziell als eigener Bereich in den Haushalt der Fraunhofer-Gesellschaft aufgenommen. Die Arbeitsgruppe wurde im Dezember 2010 durch eine gemeinsame Initiative der Fraunhofer-Gesellschaft, des Landes Bayern und der Universität Regensburg als Fraunhofer-Projektgruppe gegründet und soll in den nächsten Jahren mit Nachdruck zu einem eigenständigen Institut der Fraunhofer-Gesellschaft ausgebaut werden.

Auf der Grundlage des bisher Erreichten blickt die Universität Regensburg zuversichtlich in die Zukunft und nimmt die nationalen und internationalen Herausforderungen einer modernen und nach weiterem Erkenntnisgewinn strebenden Gesellschaft an. Dabei werden Wandel, Flexibilität und Innovation, aber auch regionale Erdung und kritischer Dialog wichtige Wegbegleiter sein, um sich neu eröffnende Chancen zu erkennen, zu adressieren und in eine dynamische gesellschaftliche Entwicklung der näheren und weiteren Zukunft einzubringen.



© UKR

Prof. Dr. **Bernhard H. F. Weber** studierte Biologie und Chemie für das Lehramt an Gymnasien an den Universitäten Mainz und Freiburg. Er promovierte 1988 an der Universität Freiburg. Nach sechsjähriger Forschungstätigkeit in Kanada an der University of British Columbia und seiner Habilitation 1995 wurde er 1996 auf eine C3-Professur an der Universität Würzburg berufen. Seit April 2004 ist er Inhaber des neu etablierten Lehrstuhls für Humangenetik an der Universität Regensburg. Er war von 2007 bis 2011 Dekan der Fakultät für Medizin der Universität Regensburg. Von 2011 bis 2013 hatte er das Amt des Forschungsdekans der Fakultät inne. Seit Oktober 2013 ist Prof. Dr. Bernhard H. F. Weber Vizepräsident für Forschung und Nachwuchsförderung der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Ursachen und Mechanismen der neuronalen Degeneration am Modell der Säugernetzhaut. Suche nach genetischen Risikofaktoren bei monogenischen und genetisch komplexen Netzhauterkrankungen. Entwicklung von Ansätzen innovativer Therapieoptionen einschließlich der gezielten Suche nach wirksamen chemischen Verbindungen und Gentherapieansätzen mittels viraler und nicht-viraler Applikationstechniken.

# Filmreife Festkörperforschung

## Wie mit Supercomputern neue Materialien für Solarzellen entdeckt werden

David Egger

Die Entdeckung neuer Materialien war schon immer eng mit technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen verknüpft. Die Einteilung der Urgeschichte in Stein-, Bronze- und Eisenzeit, also jener Materialien, welche die Menschheit für Werkzeuge und Waffen genutzt hat, ist ein Beispiel dafür. Unsere Ära wird oft als das „Silizium-Zeitalter“ bezeichnet, weil Silizium essentiell für die Entdeckung und Entwicklung elektronischer Bauteile wie Transistoren war, auf welchen die gesamte Informationstechnologie basiert. Silizium spielt auch immer noch eine wichtige Rolle in der Entwicklung von Solarzellen, welche Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln können. Weltweite Forschungsbestrebungen sind heute darauf ausgerichtet, neue Materialien zu entdecken, um diese Zellen effizienter zu machen, indem man also mehr Energie aus dem Sonnenlicht gewinnt. Diese Suche nach neuen Materialien wird unter anderem durch quantentheoretische Berechnungen mit hochparallelen Supercomputern vorangetrieben: riesige, ganze Hallen füllende Hightech-Geräte, mit denen aller Voraussicht nach schon bald Filme von atomaren und elektronischen Prozessen auf der Nanoskala aufgenommen werden.

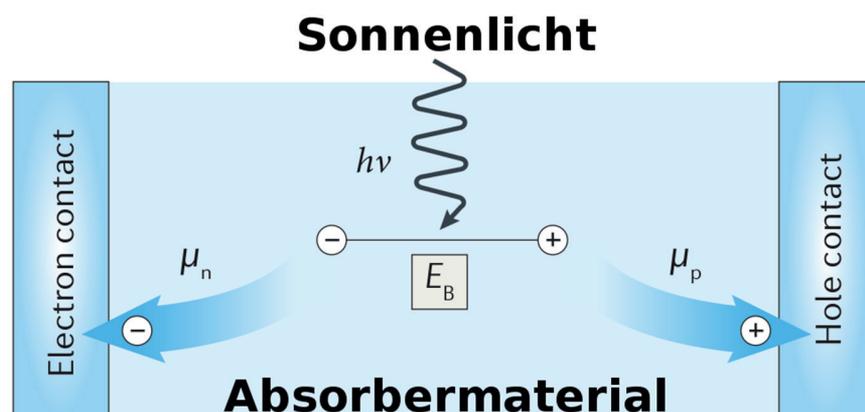
### „Es werde Licht!“

Die Sonne ist ein riesiger Energiereaktor, von dessen Oberfläche aus Licht und Wärme ins Weltall strahlen. Der Abstand zwischen Sonne und Erde beträgt rund 150 Millionen Kilometer. Nur acht Minuten benötigt das Licht der Sonne, bis es zu unserem Planeten gelangt. Hat uns dieses Sonnenlicht erreicht, so wird es essentiell für das Leben auf der Erde. Es treibt dieses im Großen (z. B. das Klima) wie im Kleinen (z. B. die Photosynthese) an. Aus physikalischer Sicht ist die Sonneneinstrahlung eine nahezu unermessliche Ressource an Energie: Die Leistung des Sonnenlichts, das auf die Erdatmosphäre strahlt, beträgt mehr als 120 Petawatt pro Jahr („Peta“ steht für eine Billiarde). Um dies begreifbar zu machen, sei erwähnt, dass bereits etwa eine Stunde davon ausreichen würde, um den derzeitigen Energiebedarf der Menschheit

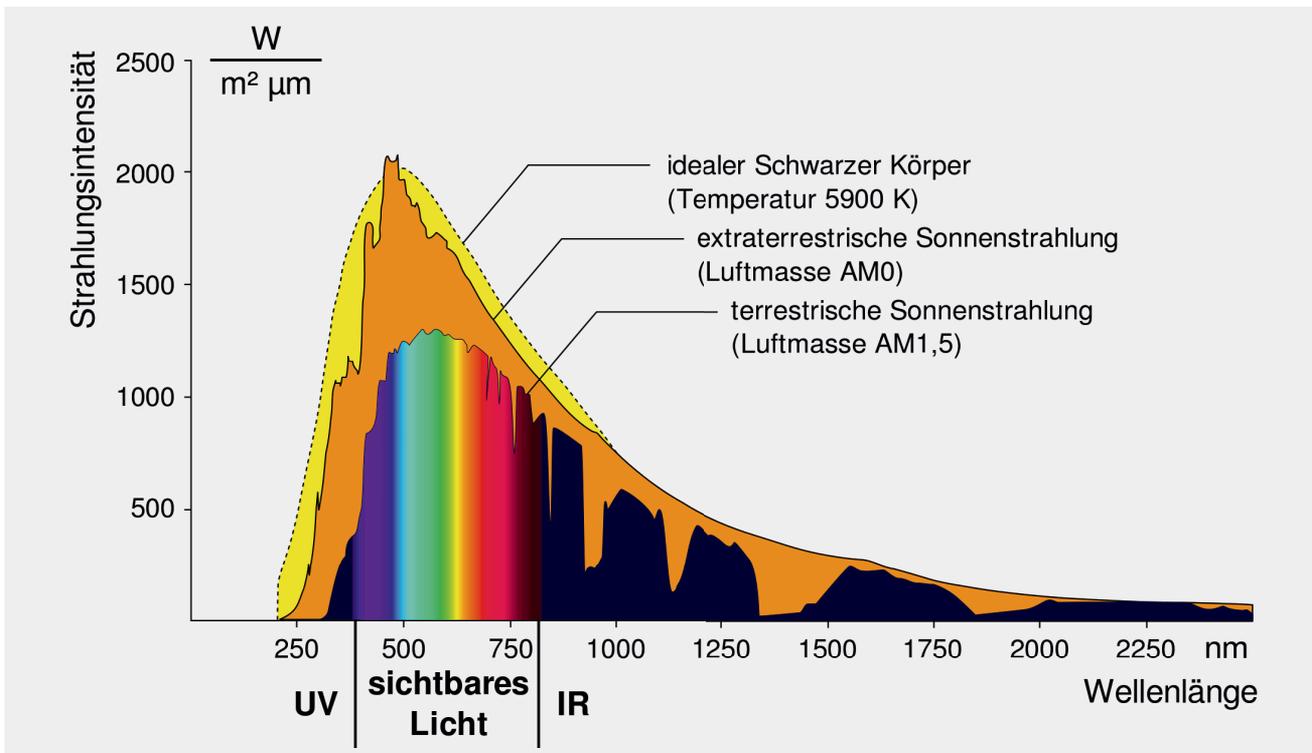
für ein gesamtes Jahr zu decken. Es liegt auf der Hand, dass es von größter Bedeutung ist, diese Energieressource bestmöglich zu nutzen.

### Quantenphysik, Thermodynamik und effiziente Solarzellen

Solarzellen sind dafür konzipiert, die Energie des Sonnenlichts in elektrische Energie umzuwandeln. Das zentrale Element einer Solarzelle ist das in Abbildung [1] dargestellte *Absorbermaterial*, zumeist ein Festkörperkristall, welcher das Licht der Sonne aufnimmt und damit elektrische Ladungsträger erzeugt. Der physikalische Prozess, der dem zu Grunde liegt, ist ein elementares Phänomen der Quantenphysik, nämlich der *photoelektrische Effekt*. Albert Einstein stellte 1905 die Theorie auf, dass Licht-



1 Schematische Darstellung der Absorption des Sonnenlichts durch das Absorbermaterial und der dadurch entstehenden Elektronen (negativ geladen) und Löcher (positiv geladen), die zu den Kontakten fließen und einen elektrischen Strom erzeugen. Bildquelle: Nature Rev. Mater. 1, 15007 (2016).



2 Intensität der Sonnenstrahlung bei AM0 (erdnaher Weltraum) und AM1,5 (etwa zum Sonnenhöchststand in Karlsruhe) als Funktion der Wellenlänge bzw. Energie. Bildquelle: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sonne\\_Strahlungsintensitaet.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sonne_Strahlungsintensitaet.svg).

quanten (sogenannte „Photonen“) mit Bausteinen der Materie, in diesem Fall Elektronen, wechselwirken und die Energie der Elektronen verändern können. Mit dieser Theorie konnten verschiedene, bis dahin unzureichend verstandene experimentelle Beobachtungen besser erklärt werden, wofür Einstein 1922 mit dem Physiknobelpreis ausgezeichnet wurde. Der photoelektrische Effekt liegt auch dem Absorbermaterial der Solarzelle zu Grunde, indem die Lichtquanten des Sonnenlichts aufgenommen werden. Sie verändern dabei die Energieverhältnisse von Ladungsträgern (Elektronen und Löchern) genau so, dass, wie in [1] gezeigt, ein elektrischer Strom zu fließen beginnt. Dabei sollen möglichst leicht bewegliche Elektronen und Löcher gebildet werden, die auf speziellen Bahnen wellenartig durch den Kristall gleiten können.

Fest steht, dass man diesen Prozess effizient gestalten will, um möglichst viel elektrische Energie aus dem Sonnenlicht zu generieren. Dabei ist man einerseits durch die physikalischen Eigenschaften des Sonnenlichtes beschränkt, das gemessen an seiner Energie unterschiedlich intensiv auf der Erde eintrifft: Abbildung [2] zeigt ein sogenanntes Spektrum, also die Intensität der Sonneneinstrahlung gemessen an der Wellenlänge des Lichtes; letztere ist

ein Maß für die Energie des Lichtes. Das „Design“ des Absorbermaterials, welches die Energie des Lichtes in elektrischen Strom umwandeln soll, muss nun gezielt so gestaltet werden, dass genau im *intensivsten Bereich des Sonnenspektrums am meisten Licht absorbiert wird*. Damit wird die Suche nach effizienteren Solarzellen automatisch zu einer Herausforderung der physikalischen und chemischen Forschung im Entdecken, Charakterisieren und Beschreiben neuer funktionaler Materialien, die diese Eigenschaft besitzen. Darüber hinaus gibt es in konventionellen Solarzellen unvermeidbare thermodynamische Energieverluste. Dies wurde von Shockley und Queisser in den 1960er Jahren theoretisch begründet, indem sie für den Wirkungsgrad einer einzelnen Solarzelle eine fundamentale Grenze von ca. 33 % entdeckten. Die heute effizientesten konventionellen Solarzellen basieren auf „harten“ anorganischen Kristallen, an deren Entwicklung bereits seit Jahrzehnten geforscht wird. Ein Beispiel ist das Material Gallium-Arsenid (GaAs), mit welchem derzeit ein Wirkungsgrad von ca. 28 % erreicht wird, also bereits nahe der fundamentalen Grenze von Shockley und Queisser. GaAs Bauteile sind allerdings so aufwendig und kostspielig in der Herstellung, dass sie oft nur in Nischen, wie z. B. der Raumfahrt, Anwendung fin-

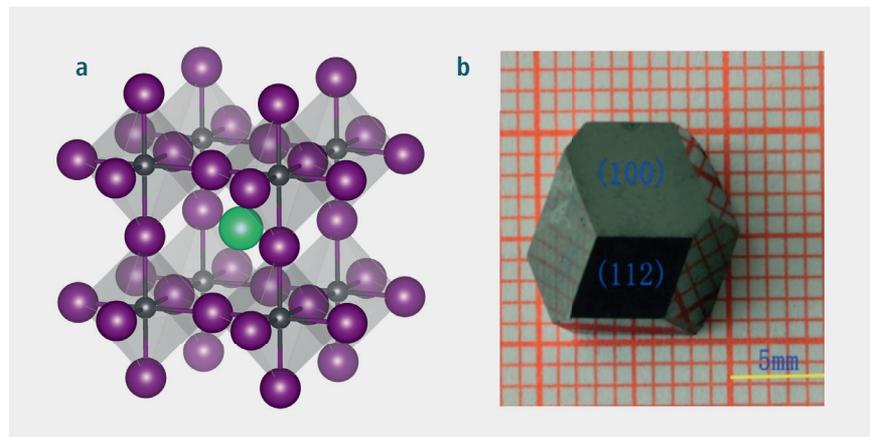
den. Kommerzielle Solarzellen basieren daher vor allem auf dem Halbleiterkristall Silizium, mit dem man momentan im Labor einen Wirkungsgrad von bis zu 22–25 % erreichen kann. Die Gretchenfrage lautet nun: Wie kann man den Wirkungsgrad von Solarzellen bis zum Maximum erhöhen und die Kosten des Absorbermaterials gleichzeitig moderat halten?

### Hybride Halogenid Perowskite: neue Stars unter der Linse des „theoretischen Mikroskops“

Perowskit bezeichnet eine bestimmte Klasse von Festkörpern, in welchen die Atome unterschiedlich geladen – als positive Kationen und negative Anionen – periodisch im Raum angeordnet sind [3a]. Das Mineral Perowskit wurde bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts entdeckt, seine häufigsten Vertreter sind die Oxide, also Festkörper, in denen Sauerstoffatome die Anionen bilden. Die physikalischen Eigenschaften der Oxid-Perowskite sind bereits hochinteressant: Sie zeigen ein stark temperaturabhängiges dielektrisches Verhalten. Unter gewissen Voraussetzungen können sie auch ferroelektrisch sein, so dass sie zur Speicherung von Information

geeignet sind, welche später ausgelesen werden kann. Der neue „Star der Solarzellenforschung“ sind jedoch die *hybriden Halogenid Perowskite* [3b]. Sie wurden erst 1978 in Stuttgart entdeckt. Trotz ihrer engen Verwandtschaft mit den Oxiden verhalten sie sich gänzlich anders: Sie enthalten sowohl organische als auch anorganische „atomare Bausteine“ (daher der Zusatz „hybrid“), was ihre Herstellung verglichen mit den oben genannten „harten“ anorganischen Kristallen sehr einfach und daher kostengünstig macht. Erst 2009 wurde das Potential dieser Perowskite für die Verwendung in Solarzellen entdeckt, bereits wenige Jahre später hatte man im Labor den Wirkungsgrad von Siliziumzellen nahezu erreicht, ein bis dato beispiellos schneller Siegeszug in der Solarzellenforschung.

Um diese rekordverdächtige Entwicklung zu erklären, muss man die physikalischen Eigenschaften der Perowskitkristalle mikroskopisch analysieren. Neben präzisen Experimenten sind dafür vor allem quantentheoretische Berechnungen hilfreich, also das Lösen der Gleichungen, welche die Eigenschaften der Elektronen und Atomkerne auf kleinen Skalen beschreiben. Dazu bildet man Modelle, in welchen die charakteristischen Eigenschaften des Materials, abgebildet als Einheitszelle des Kristalls und den verschiedenen chemischen Elementen, unbedingt berücksichtigt werden müssen. Diese theoretischen Modelle sind für realistische Materialien, wie sie

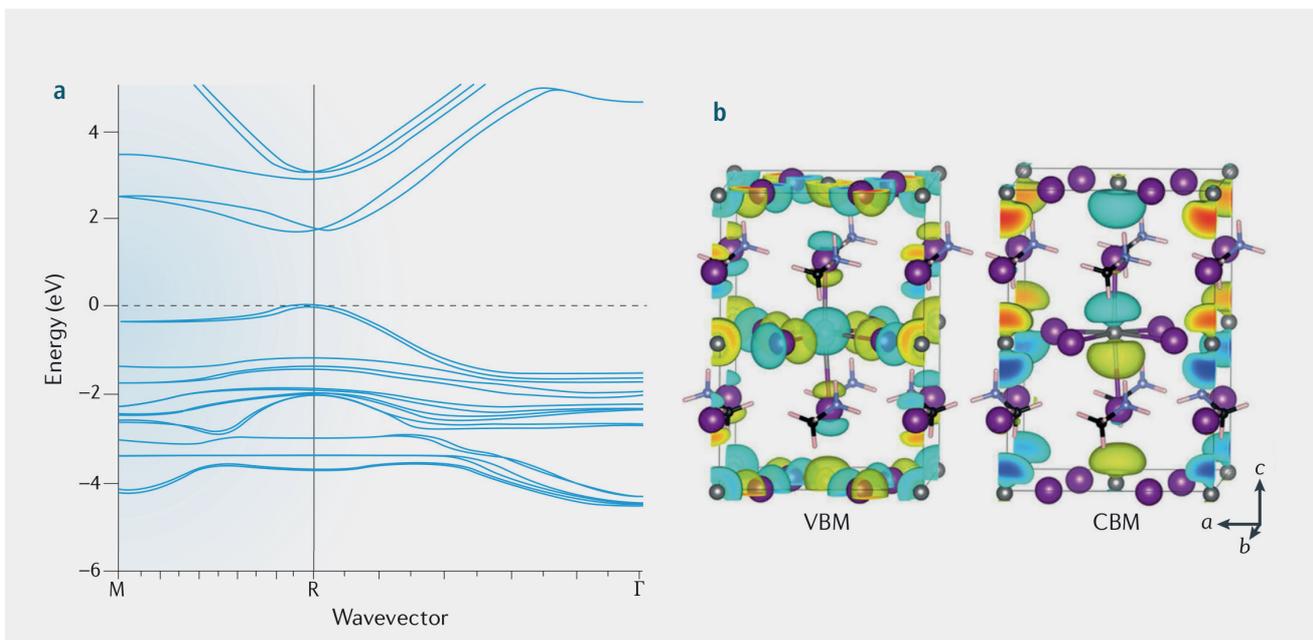


3a Schematische Abbildung der Atome innerhalb der Einheitszelle eines Perowskitkristalls.

3b Foto eines Einkristalls des hybriden Perowskits auf Basis von Halogeniden, das sogenannte MAPbI<sub>3</sub>. Bildquelle: Chem. Soc. Rev. 45, 655 (2016).

auch im Labor experimentell untersucht werden können, besonders trickreich, da man auf äußerst komplexe theoretische und numerische Näherungsverfahren zurückgreift, um überhaupt etwas Vernünftiges berechnen zu können. Mit der Hilfe moderner Algorithmen und Supercomputern, also tausenden, ganze Räume und Hallen füllenden Recheneinheiten, können schließlich quantentheoretische Berechnungen der physikalischen und chemischen Eigenschaften durchgeführt werden. So wird der Supercomputer zum „theoretischen Mikroskop“, in welchem Materialeigenschaften gezielt verstanden und verändert werden können.

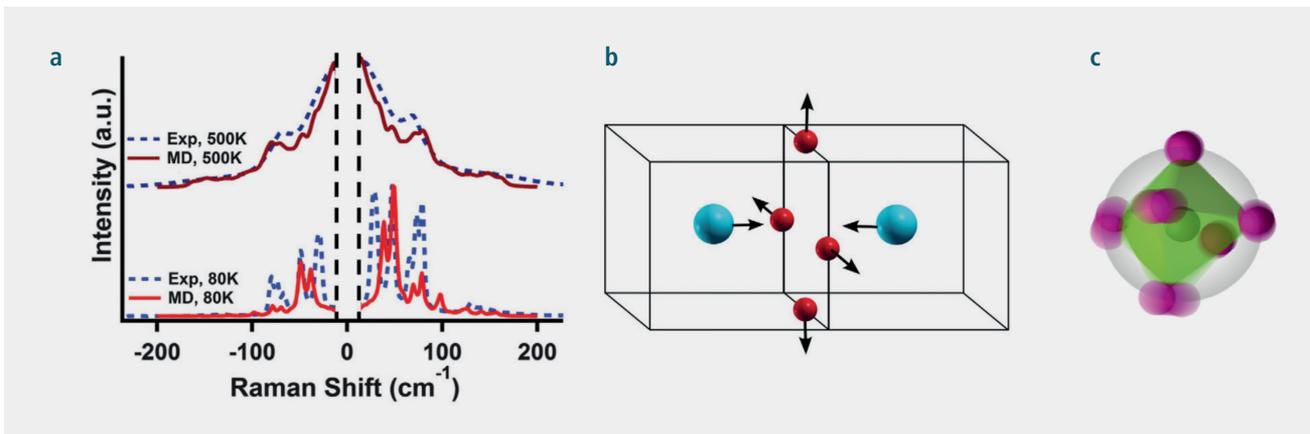
Abbildung [4] zeigt die Ergebnisse derartiger Berechnungen für den hybriden Halogenid Perowskit MAPbI<sub>3</sub>: einerseits die berechnete näherungsweise Energieverteilung der durch das Sonnenlicht induzierten Elektronen und Löcher (Panel a), also jener Teilchen, die letztlich den elektrischen Strom ausmachen, sowie deren räumliche Verteilung (Panel b). Aus diesen Ergebnissen ergibt sich, dass MAPbI<sub>3</sub> nahezu ideale Eigenschaften aufweist, um Sonnenlicht effizient zu absorbieren: Die Energie zur Erzeugung von freien Elektronen und Löchern passt fast perfekt zur erwähnten Intensitätsverteilung des Sonnenlichts auf der Erde. Die Berechnungen zeigen auch



4a Elektronische Bandstruktur des hybriden Halogenid Perowskits MAPbI<sub>3</sub>.

4b Schematische Darstellung relevanter elektronischer Zustände in MAPbI<sub>3</sub>.

Bildquelle: Nature Rev. Mater. 1, 15007 (2016).



- 5a** Ergebnisse für den Halogenid Perowskit CsPbBr<sub>3</sub> aus Ramanspektroskopie Experimenten (blau gestrichelte Kurve) und Molekulardynamik-Berechnungen (rote Kurve) bei verschiedenen Temperaturen.
- 5b** Schematische Darstellung der relevanten atomaren Dynamik in CsPbBr<sub>3</sub>.
- 5c** Visualisierung der Unordnung des Halogenid Oktaeders. Bildquellen: Phys. Rev. Lett. 118, 136001 (2017). Science Advances 3, 1602388 (2017).

den Grund dafür, nämlich die besondere quantentheoretische Wechselwirkung der elektronischen Zustände im Kristall des hybriden Halogenid Perowskit. Sind die Ladungsträger erst einmal freigesetzt, so zeigen Berechnungen, dass diese hoch beweglich sind, ähnlich wie im Topmaterial GaAs. Die Perowskite wären also prädestiniert, sehr viel elektrischen Strom aus Sonnenlicht zu erzeugen – Ende gut, alles gut?

## Widerspruch zwischen Experiment und Theorie

Die Physik war für den österreichisch-britischen Philosophen Karl Popper ein Paradebeispiel der *Naturwissenschaft*: Wichtige Wegbereiter der physikalischen Entwicklungen des 20. Jahrhunderts, allen voran der bereits erwähnte Albert Einstein, räumten dem Kriterium der Widerlegbarkeit (oder „Falsifizierbarkeit“) – ein zentraler Aspekt der wissenschaftstheoretischen Abhandlungen Poppers – einen beachtlichen Stellenwert in ihrer physikalischen Arbeit ein. Naturwissenschaftliche Theorien sind nach Popper ausschließlich solche, deren Aussagen mit Experimenten (jedenfalls prinzipiell) widerlegt werden können. Naturwissenschaftliche Gedankengebäude, im Gegensatz zu denen der Mathematik und Logik, können daher nach Popper niemals als endgültig „richtig“ oder „bewiesen“ gelten. Sie haben sich bestenfalls bewährt, insofern sie (noch) nicht widerlegt (oder „falsifiziert“) wurden. Von Einstein ist dazu der berühmte Satz überliefert: „No amount of experimentation can

*ever prove me right; a single experiment can prove me wrong.*“ Interessanterweise ist es genau die Widerlegung etablierter naturwissenschaftlicher Konzepte, die in der Wissenschaftsgeschichte zu immer neuen, verbesserten Theorien und Modellen geführt hat. Die Ideen Poppers wurden natürlich weiterentwickelt und ausgebaut, am eindrucksvollsten von Ludwig Fleck, Thomas Kuhn und Paul Feyerabend. Das Kriterium der Widerlegbarkeit (Falsifizierbarkeit) ist aber für den Physiker bis heute unbestritten gültig – auch in der theoretischen Festkörperforschung.

Insofern ist es besonders interessant, dass es für eine der zentralen Kenngrößen der hybriden Perowskite, nämlich für die Beweglichkeit von Elektronen und Löchern, derzeit einen fundamentalen Widerspruch zwischen Experiment und Theorie gibt: Misst man die Beweglichkeit der Ladungsträger nämlich als Funktion der Temperatur, so erhält man eine Abhängigkeit, die mit den theoretisch bestimmten Werten nicht zusammenpasst. Immer mehr deutet im Moment darauf hin, dass die gängigen Theorien der Halbleiterphysik für die Dynamik der Ladungsträger im Halogenid Perowskit zum Teil nicht unmittelbar anwendbar sind. Was ist so speziell an diesen Kristallen?

## Weiche Halbleiter und dynamische Unordnung

Eine Besonderheit der Halogenid Perowskite betrifft deren mechanische Eigenschaften. Es zeigt sich, dieses Mal in na-

hezu perfekter Übereinkunft von Theorie und Experiment, dass diese Materialien *besonders weich und nachgiebig* sind, also die Gleichgewichtslage der Atome mit wenig Aufwand (bzw. Energie) verändert werden kann. Dies ist ein großer Unterschied zu „traditionellen“ Halbleitern wie Silizium und GaAs, die weitaus härter sind, was weitreichende Konsequenzen mit sich bringt: Während in harten Kristallen die Atome bei Raumtemperatur wohldefinierte, harmonische Schwingungen durchführen, ist die Situation bei weichen Halogenid Perowskiten deutlich komplexer. Eine Möglichkeit, diese komplexere atomare Dynamik theoretisch zu beschreiben sind Molekulardynamik-Berechnungen, in welchen abhängig von der Temperatur das Verhältnis von Ordnung und Unordnung wie in einem molekularen Film auf kleinen Skalen zu beobachten ist. Aus derartigen, sehr aufwändigen Molekulardynamik-Berechnungen und experimentellen Daten bei unterschiedlichen Temperaturen [5] muss man schließen, dass die Atome in Halogenid Perowskitkristallen bei erhöhten Temperaturen eine *dynamische Unordnung* zeigen. Diese ist fundamental anders als die atomaren Schwingungen in härteren Kristallen: Die wohldefinierte und geordnete Form des Perowskit, durch welchen die mit dem Sonnenlicht angeregten Elektronen und Löcher in Wellenform hindurchziehen könnten, ergibt sich erst im Mittel über eine große Probe des Kristalls. Innerhalb des Materials hingegen, auf der Skala von Nanometern (einem Milliardstel Meter) zeigen sich sehr starke Verzerrungen des atomaren Gitters und der elektrischen Landschaft für die Ladungsträger, die

wenig mit harmonischen Schwingungen gemein haben, sondern wie in Abbildung [5] dargestellt ungeordnet sind. Diese lokalen Störungen der perfekten räumlichen Symmetrie der Atome entstehen nur für kurze Zeit, um dann zu verschwinden und an anderer Stelle des Perowskit wieder aufzutauchen. Es liegt nahe, dass dieses Phänomen auf kurzen Zeitskalen auch die Bewegungen der durch das Sonnenlicht angeregten Ladungsträger und damit die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie beeinflusst. Vollständige theoretische oder experimentelle Nachweise für derartige Wechselwirkungen im Perowskit gibt es aber bis dato noch nicht. Es bleibt also spannend: Die Frage, inwieweit dieses Verhalten die außergewöhnlichen Eigenschaften dieser Materialien mitbestimmt, ist noch völlig offen.

## Neue theoretische Entwicklungen für filmreife Molekül- und Festkörperforschung

Die dynamische Unordnung in Halogenid Perowskiten, und die möglichen Konsequenzen daraus, sind nur ein Beispiel für eine Reihe von Phänomenen in *weichen Molekülen, Festkörpern und Materialien*, bei denen komplexe atomare Schwingungen mit Ladungsträgern wechselwirken können. Der Zusatz „weich“ impliziert, dass derartige Phänomene bereits bei Raumtemperatur eine wichtige Rolle spielen können. Interessanterweise haben viele Moleküle und Festkörper, die unter anderem auch für Fragestellungen der Biologie relevant sind, wie z. B. Peptidketten oder kristallines Guanin, genau diese Eigenschaft. Umfassende theoretische Forschung ist jedoch notwendig, um die oben

## Zum Sofja Kovalevskaja-Preis

Der Physiker Dr. David Egger wurde 2016 für seine Forschungen in der Theoretischen Festkörperphysik mit dem Sofja Kovalevskaja-Preis ausgezeichnet, einem der höchstdotierten deutschen Wissenschaftspreise. Mit dem Preisgeld in Höhe von über 1,6 Millionen Euro forscht er ab 2017 fünf Jahre lang am Institut für Theoretische Physik der Universität Regensburg.

Dr. David Egger nutzt die enorme Rechenleistung von hochmodernen Supercomputern an der Universität Regensburg, um Materie auf kleinsten Skalen möglichst genau beschreiben zu können. Dies dient dazu, die Eigenschaften von Materialien besser verstehen und neue optimierte Systeme theoretisch vorhersagen zu können.

Mit dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gestifteten Sofja Kovalevskaja-Preis zeichnet die Alexander von Humboldt-Stiftung die wissenschaftlichen Spitzenleistungen von vielversprechenden Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern aus. Benannt wurde der Preis nach der 1850 geborenen russischen Mathematikerin Sofja Kovalevskaja.



erwähnten Widersprüche mit experimentellen Beobachtungen aufzuklären. Notwendig hierfür sind weitreichende methodische Entwicklungen zur verbesserten Berechnung der elektronischen Struktur und atomaren Anregungen. Sie müssen nicht nur die Vielzahl der möglichen molekularen Strukturen und deren Dynamik berücksichtigen, sondern auch den Einfluss von Licht und der Bewegung von Ladungsträgern mit einbeziehen. Die daraus resultierende Traumvorstellung wäre ein neues theoretisches Verfahren, das es erlaubt, *Filme von molekularen und elektronischen Prozessen auf der Nanoskala zu drehen*. Mit derartigen Simulationen können die höchstinteressanten Wechselwirkungen komplexer molekularer Vibrationen und Lichanregungen in Molekülen und Materialien im Detail verstanden und anschließend neue verbes-

serte Systeme vorgeschlagen werden. Die Anwendungsmöglichkeiten solcher Verfahren sind unglaublich weitreichend, von neuen Festkörpern für Solarzellen über biologische Materialien bis hin zu Molekülen für spannende Fragen der Photokatalyse.

## Literatur

- T. M. Brenner, D. A. Egger, L. Kronik, G. Hodes, D. Cahen, Hybrid organic-inorganic perovskites: low-cost semiconductors with intriguing charge transport properties. *Nature Reviews Materials* 1 (2016), S. 15007–15023.  
 O. Yaffe et al., Local polar fluctuations in lead halide perovskite crystals. *Physical Review Letters* 118 (2017), S. 136001-1–136001-6.  
 X. Wu et al., Light-induced picosecond rotational disordering of the inorganic sublattice in hybrid perovskites. *Science Advances* 3 (2017), S. 1602388-1–1602388-7.



© Privat

Dr. **David Egger**, geb. 1987 in Klagenfurt (Österreich). Promotion in Physik an der TU Graz (2013), danach Post Doc am Weizmann Institut für Wissenschaften in Rehovot (Israel). Seit 2017 Leiter der Sofja Kovalevskaja Gruppe „Computational Materials Science“ am Institut für Theoretische Physik der Universität Regensburg. Zu seinen Hobbies zählt vor allem das Reisen: Das Foto zeigt ihn auf den Galapagos Inseln (Ecuador) im September 2017.

**Forschungsschwerpunkt:** Theoretische und computergestützte Molekül- und Festkörperphysik.

# Wenn es in Kristallen blitzt

## Kollisionen von Quasiteilchen

Fabian Langer, Rupert Huber

Das Standardmodell der Teilchenphysik erklärt, aus welchen Bausteinen die Materie um uns herum aufgebaut ist und welche Kräfte zwischen ihnen wirken. In fester Materie, wie z.B. Kristallen, treten sehr viele dieser Teilchen miteinander in Wechselwirkung. Dann wird es ziemlich kompliziert. Genau zu beschreiben, wie die Teilchen in Verbindung stehen und welches Verhalten sich daraus ergibt, ist eine große Herausforderung. Gerade dieser Umstand macht die Festkörperphysik so spannend.

In Festkörpern sind unzählig viele Atome dicht aneinander gepackt; in Kristallen folgen sie einer periodischen Ordnung. Dieser strikte Aufbau ist gerade durch die Wechselwirkung der Teilchen miteinander bedingt. Sie gibt vor, in welche Richtungen atomare Bindungen entstehen und wo sich das nächste Atom positioniert. Durch Anordnung und Kombination von verschiedenen Atomsorten entsteht eine Mannigfaltigkeit von Materialien mit ganz unter-

schiedlichen Eigenschaften. Sie leiten zum Beispiel Strom oder Wärme unterschiedlich gut und erscheinen in spezifischen Farben.

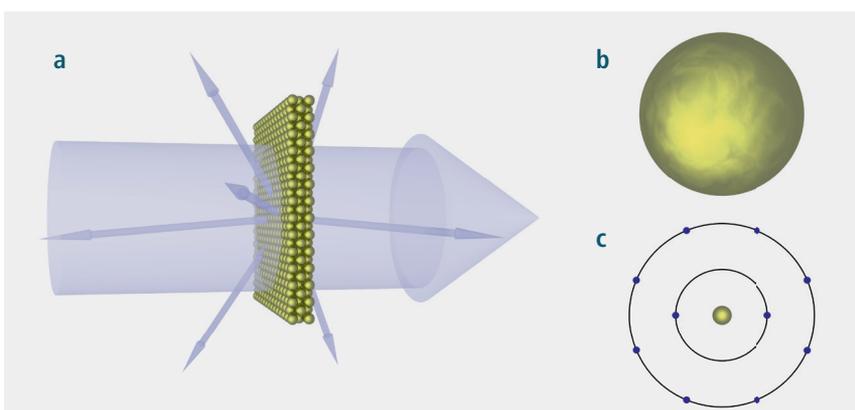
In diesem See von Teilchen in einem Kristall entstehen in vielen Fällen sogar neue Anregungen, die sich wiederum ähnlich wie ein einzelnes Teilchen verhalten können, jedoch eigentlich nur aus der Wechselwirkung aller Partikel bestehen. Dieser eigenartig anmutende Gedanke stammt von Lev Landau, und Physiker nennen diese Anregungen „Quasiteilchen“. Dieses Konzept ist heute ein zentrales Element der Festkörperphysik, denn die Beschreibung der komplexen Prozesse in fester Materie wird dadurch ungemein erleichtert und wesentlich anschaulicher.

Doch wie real sind Quasiteilchen? Handelt es sich dabei in einem gewissen Sinne um „echte“ Teilchen oder doch eher um eine gedankliche Krücke, mit der Physiker sich das Leben erleichtern? Eine raffinierte Methode, diesen

Quasiteilchen auf den Zahn zu fühlen, haben wir in Zusammenarbeit mit Physikern der Universität Marburg und der University of California in Santa Barbara vor Kurzem aufgezeigt.

### Atome – wirklich unteilbar?

Atome galten lange Zeit als die kleinsten Bausteine der uns umgebenden Materie. Noch immer verwenden wir das griechische Wort „atomos“, das übersetzt „unteilbar“ bedeutet, um diese Gebilde zu beschreiben. Doch spätestens seit den Arbeiten von Marie Skłodowska-Curie und Henri Becquerel wissen wir, dass Atome aus fundamentalen Bausteinen zusammengesetzt sein müssen. Die Entdeckung des radioaktiven Zerfalls zeigte nämlich deutlich, dass Atome Bruchstücke aus ihrem Inneren aussenden können. Wie die innere Struktur dieser winzigen Konstrukte genauer aussieht, konnte Ernest Rutherford durch seine Kollisionsexperimente auf-



#### 1 Das Rutherford'sche Experiment.

**a**, Alphateilchen (blau schattierter Pfeil) werden auf eine Goldfolie geschossen und dabei gestreut. **b**, Eine feste Kugel symbolisiert das Atommodell vor dem Rutherford'schen Versuch. **c**, Nach dem Experiment war klar, dass Atome aus einem kleinen, massiven Kern und einer größtenteils leeren Elektronenhülle bestehen.

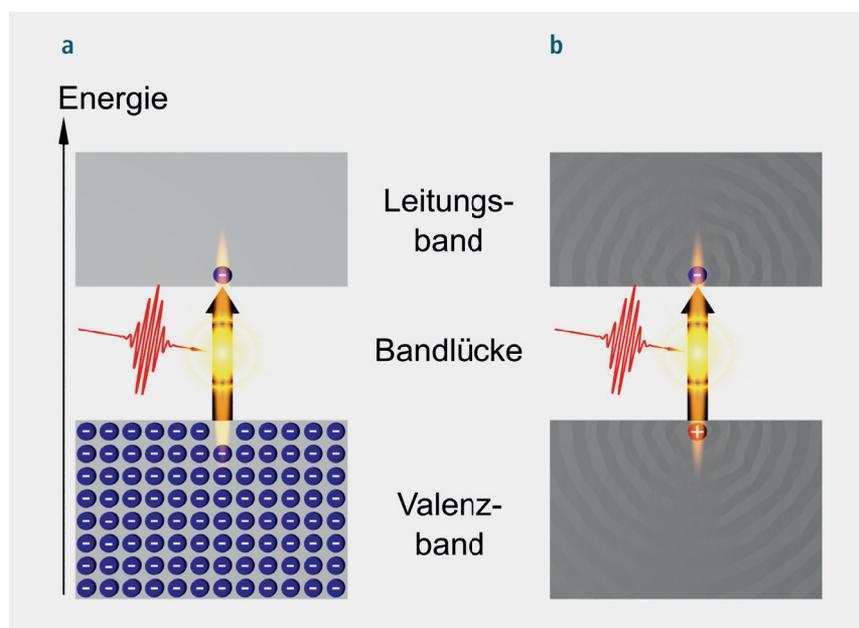
klären. Er verwendete die neu entdeckten Alphateilchen, die beim radioaktiven Zerfall entstehen; dabei handelt es sich im Wesentlichen um zweifach positiv geladene Heliumkerne. Damit beschoss er hauchdünne Metallfolien **[1a]**. Anstatt nun eine simple Abschwächung des Alphastrahls durch das Material zu beobachten, stellte Rutherford fest, dass die allermeisten Teilchen vollkommen ungehindert durch die Folie hindurchflogen. In einzelnen Fällen jedoch wurde die Richtung der Alphateilchen abgelenkt **[1a]**. Teilweise kehrte sich ihre Bewegungsrichtung sogar komplett um!

Ernest Rutherford besaß die nötige Kühnheit, um seine bisherige Vorstellung von Atomen **[1b]** in Frage zu stellen: Er kam zu dem Schluss, dass seine Ergebnisse mit einem atomaren Aufbau der Materie nur in Einklang zu bringen sind, wenn sich Masse und Ladung der Atome in einem äußerst kleinen Volumen konzentriert **[1c]**. Dieser Kern wird noch durch eine dünne Elektronenhülle zum Atom komplettiert. Diese Erkenntnis von Rutherford hat zur Folge, dass ein jedes Material zum Großteil aus leerem Raum besteht. Eine in der Tat erschreckende Vorstellung, dass alle Materie um uns herum größtenteils aus Nichts aufgebaut ist.

Kollisionsexperimente haben die Erforschung des Teilchenkosmos bedeutend voran gebracht. Angefangen mit den Untersuchungen von Rutherford aus den frühen Tagen, bis hin zu den riesigen Teilchenbeschleunigern von heute, wie dem Large Hadron Collider (LHC) am CERN in Genf, sind es seit über einhundert Jahren Teilchenkollisionen, die uns neue Erkenntnisse über die Eigenschaften der kleinsten Bausteine der Materie vermitteln. Die jüngste Entdeckung war das lange theoretisch vorhergesagte Higgs-Teilchen, das in Proton-Proton Kollisionen am LHC gefunden wurde. Es „verleiht“ der Materie ihre Masse. Für ihre Vorhersage dieses Mechanismus wurden François Englert und Peter H. Higgs mit dem Nobelpreis für Physik 2013 geehrt.

## Was die Welt im Innersten zusammenhält – Teilchen und Quasiteilchen

Die Interaktionen der Atome untereinander sorgen für die unterschiedlichen Eigenschaften von Materialien. Die Festkörperphysik macht es sich zur Aufgabe,



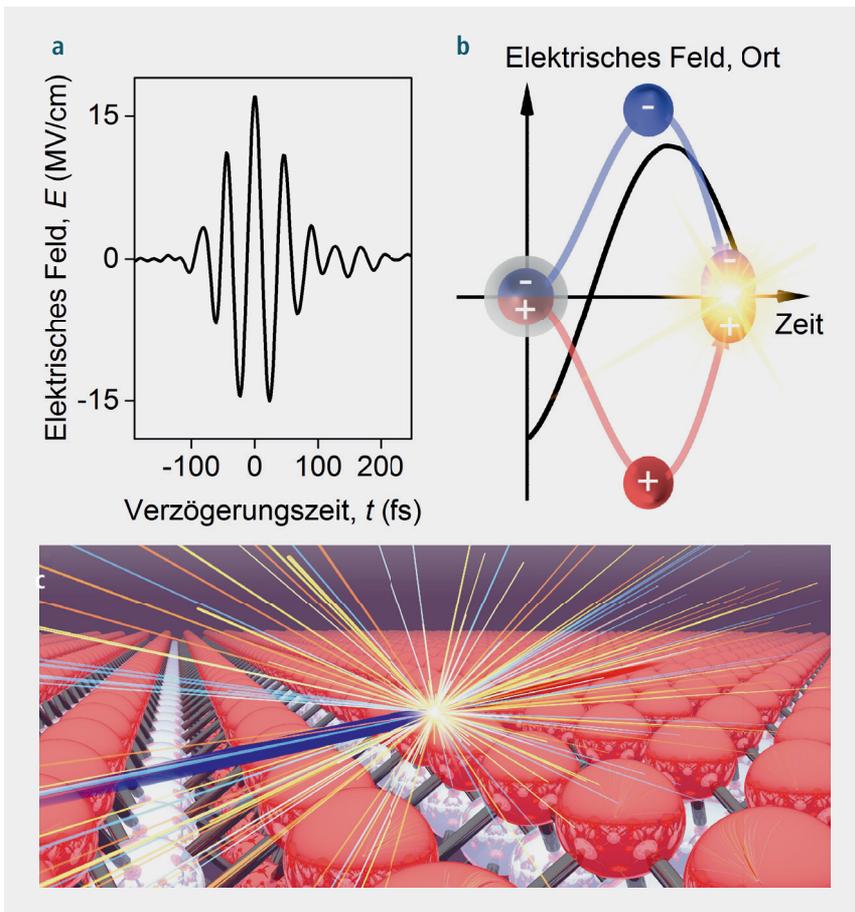
**2 Vielteilchenanregung im Festkörper.** **a**, Aus einem Ensemble von gebundenen Elektronen (blaue Kugeln, links) wird durch einen Lichtblitz (rot) ein Elektron aus dem Valenzband in einen mobilen Zustand im Leitungsband angeregt. **b**, Im Bild der Quasiteilchen entsteht ein neuer Hintergrund (gewellte Fläche, rechts) und der Lichtblitz erzeugt ein Elektron und ein Loch (rote Kugel).

diese Wechselwirkungen und Kräfte in den verschiedenen Stoffen zu verstehen sowie gegebenenfalls zu beeinflussen und in Anwendungen nutzbar zu machen. Kein allzu leichtes Unterfangen, wenn man bedenkt, wie viele Teilchen sich in einem Festkörper aneinander drängen. Grob gesagt beläuft sich die typische Anzahl von Teilchen auf  $10^{23}$  (eine Eins mit 23 Nullen oder Hunderttausend Milliarden Milliarden) pro Kubikzentimeter. Es ist also verständlich, dass die korrekte Beschreibung eines jeden einzelnen Teilchens, das mit allen anderen in Verbindung steht und diese ebenso beeinflusst, sehr aufwändig sein wird. Doch auch hier schafft wieder einmal die geniale Idee eines großen Physikers Abhilfe: Lev Landau führte ein Konzept ein, wie man die Wechselwirkung der vielen Teilchen untereinander als Hintergrund betrachten kann, vor dem ein neues fiktives Teilchen mit veränderten Eigenschaften entsteht. Anstatt ein pointilistisches Gemälde aus abertausend einzelnen Punkten zusammenzusetzen, wird die Leinwand sozusagen von Landau neu grundiert, bevor man einen einzelnen Punkt setzt.

Ein Paradebeispiel für die Anwendung der Quasiteilchen-Idee liefert die Photovoltaik. Solarzellen wandeln Sonnenlicht in elektrischen Strom um: Bei Bestrahlung wird Energie vom Licht auf ein Elektron übertragen. Das Elektron wird in einen mo-

bilen Zustand angeregt. Am Ausgangsort lässt es eine Fehlstelle zurück **[2a]**. Anstatt die übrigen Elektronen um diese Fehlstelle herum zu beschreiben, wird ein einzelnes, neues Teilchen eingeführt, ein sogenanntes „Loch“. Das Loch trägt beispielsweise eine dem Elektron entgegengesetzte, positive Ladung **[2b]**, hat eine (effektive) Masse und auch einen Impuls. In dieser Weise wird das Vielteilchenproblem von  $10^{23}$  Elektronen extrem vereinfacht; man konzentriert sich auf ein Elektron und ein Loch **[2]**. Mit nur zwei Teilchen kommen dann auch die Physiker noch gut zurecht.

Ein Großteil der Festkörperphysik beschäftigt sich mit Quasiteilchen und deren Eigenschaften. Sie sind nicht nur für die Grundlagenforschung, sondern auch für zahllose technologische Anwendungen wie Solarzellen, LEDs oder Computerchips relevant. Jedoch lassen sich Quasiteilchen nicht so einfach untersuchen wie andere Teilchen, denn sie benötigen den Festkörper um sich herum, in dem sie entstehen. Noch dazu handelt es sich in den allermeisten Fällen um sehr kurzlebige Anregungen. Quasiteilchen können nämlich zerfallen, wie man sich am Beispiel mit der Solarzelle verdeutlicht: Wenn das mobile Elektron seinem Loch zu nahe kommt, dann fällt es wieder hinein, d.h. Elektron und Loch „rekombinieren“. Das erschwert eine eingehende Untersuchung.



**3 Lichtwelle und Quasiteilchen-Kollision.** **a**, Zeitliche Entwicklung des gemessenen elektrischen Felds  $E$  einer mittelinfraroten Lichtschwingung. **b**, Entgegengesetzt geladenes Elektron (blau) und Loch (rot) werden durch die Lichtwelle (schwarz) ausgelenkt und nach einer gewissen Zeit kollidiert. **c**, Künstlerische Darstellung einer Quasiteilchen-Kollision vor einem Kristallgitter. Die Energie wird als Licht (farbige Strahlen) freigesetzt.

### Ein Beschleuniger aus Licht

Dem Erfolgsrezept von Rutherford und seinen Schülern folgend, erscheint es zunächst naheliegend, Quasiteilchen miteinander kollidieren zu lassen, um mehr über ihren vermeintlichen Teilchencharakter, ihre innere Struktur und Wechselwirkungen untereinander herauszufinden. Konventionelle Beschleuniger können dazu freilich nicht genutzt werden. Eine neuartige Idee ist also notwendig, um Kollisionen der fiktiven Teilchen innerhalb des Festkörpers und noch dazu während ihrer Lebensdauer durchzuführen.

Da Quasiteilchen mit Licht angeregt werden können und deren bisherige Untersuchung auf optischen Methoden basiert hat, ist es ein natürlicher, erster Schritt darauf aufzubauen. Mit einem Lichtblitz können die Quasiteilchen kontrolliert präpariert werden. Doch wie schafft man es, sie anschließend zu beschleunigen, noch bevor sie wieder zerfallen sind? Aufgrund

ihrer aberwitzig kurzen Lebensdauer, reicht es leider nicht aus, wie in einem herkömmlichen Beschleuniger lediglich eine Hochspannung an den Festkörper anzulegen. Die Quasiteilchen „leben“ dazu nicht lange genug, sie existieren nur für wenige Femtosekunden. Diese Zeitspanne ist so kurz, dass selbst Licht in ihr lediglich den hundertsten Teil eines Haardurchmessers zu durchlaufen vermag.

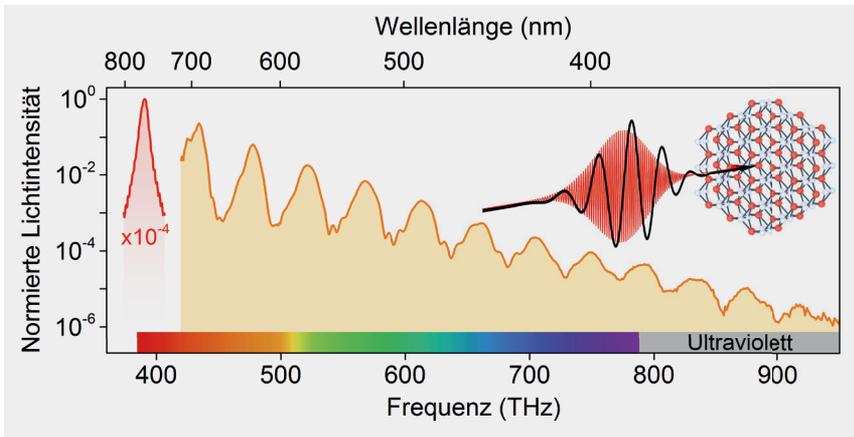
Um der kurzen Lebensdauer gerecht zu werden, muss zur Beschleunigung ein Spannungsimpuls verwendet werden, der genau dann maximal ist, wenn die Quasiteilchen gerade geboren worden sind. Wir brauchen dazu ein Beschleunigerfeld, das zur richtigen Zeit superschnell ein- und ausgeschaltet wird. Das Feld schnell wieder auszuschalten ist dabei sehr wichtig. Denn um die gewünschte Beschleunigung zu erreichen, muss man mit Feldstärken arbeiten, die so hoch sind, dass sie den Kristall zerstören würden, wenn sie zu lange wirken.

Wenn entsprechend schnelle Schalter handelsüblich wären, dann könnten wir auch Ströme in der heutigen Elektronik viel schneller kontrollieren. Wir hätten damit bedeutend leistungsstärkere Computer zur Verfügung. Da es solche Schalter aber nicht zu kaufen gibt, muss man sich etwas Geschickteres einfallen lassen: Man kann sich natürlich auftretende Wechselfelder zu Nutze machen und diese als Schalter einsetzen; das ist unser Ansatz. Licht selbst besteht nämlich aus einem schnell schwingenden elektrischen und magnetischen Wechselfeld. Eine Lichtwelle ist also gewissermaßen der schnellste Schalter, den man sich vorstellen kann.

Das elektrische Feld von Licht **[3a]** schwingt im sichtbaren Bereich etwa eine Billiarde Mal in der Sekunde hin und her. Damit würde sich auch ebenso oft die Richtung ändern, in welche die geladenen Quasiteilchen beschleunigt werden. Was sich hier erst einmal wie ein Nachteil anhört - die Quasiteilchen werden vom Lichtfeld hin- und hergerissen - kann man sich für einen Quasiteilchen-Collider zunutze machen. Denn sobald die erwähnten Paare von Elektronen und Löchern durch Licht produziert worden sind, beschleunigt eine zweite Lichtwelle die unterschiedlich geladenen Partner zunächst voneinander weg und dann im nächsten Halbzyklus der Schwingung aufeinander zu, sodass die Quasiteilchen wie in einem Linearbeschleuniger entlang einer Linie miteinander zur Kollision gebracht werden **[3b und c]**.

Wenn die Quasiteilchen kollidieren, so rekombinieren Elektron und Loch. Das ist der umgekehrte Schritt im Vergleich zu ihrer Produktion. Er ist daher mit einer Lichtemission verbunden. Da aber in der Kollision wegen der Beschleunigung zusätzliche Energie steckt, wird bei der Rekombination höher energetisches Licht ausgesendet, als das, was eingestrahlt wurde. Das Licht ändert seine Farbe im Vergleich zum anregenden Lichtblitz und ist zum Blauen hin verschoben.

Die Zutaten für ein Kollisionsexperiment im Festkörper sind im Bildeinsatz von Abbildung **[4]** dargestellt. Ein Anregungsimpuls (rot) trifft auf einen Halbleiter-Kristall und präpariert Elektron-Loch-Paare. Eine niederfrequente Lichtwelle im infraroten Spektralbereich, auch Terahertz-Bereich genannt, dient als Beschleunigerfeld und verursacht Kollisionen zwischen Elektronen und Löchern. Das Resultat dieses Versuchs, nämlich die Lichtemission, ist in Abbildung **[4]** frequenz aufgelöst aufgetragen. Die



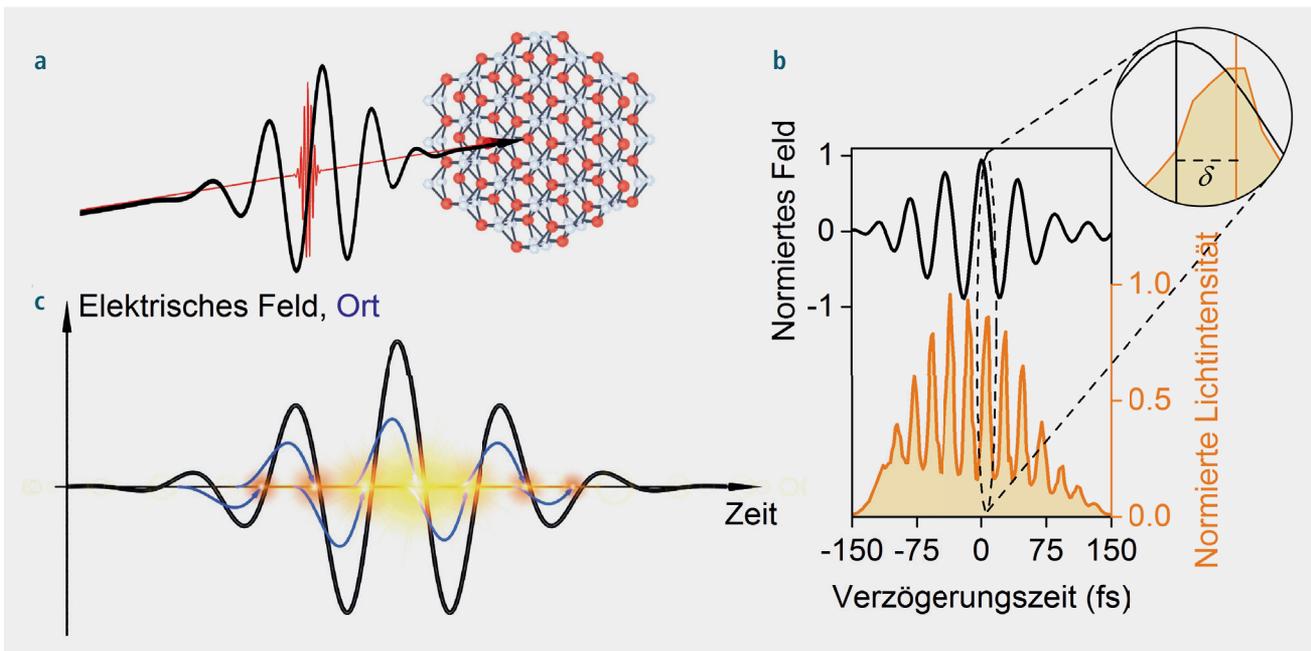
**4 Lichtemission durch Elektron-Loch-Kollisionen.** Die Quasiteilchen werden mit dem roten Teil des Spektrums angeregt. Wenn das Beschleunigerfeld gleichzeitig anliegt, wird zusätzlich Licht mit kleinerer Wellenlänge, also höherer Frequenz ausgesendet. Dieses Licht wird während einer Kollision frei. Der Bildeinsatz zeigt die experimentelle Geometrie mit Anregungsimpuls (rot), Lichtwelle (schwarz) und Halbleiter-Kristall.

Anregung, d. h. die Produktion der Elektron-Loch-Paare, findet am roten Ende des sichtbaren Spektrums statt. Die Quasiteilchenkollisionen führen zu einer spektral modulierten Emission, die den gesamten sichtbaren Bereich abdeckt und sich sogar noch ins Ultraviolette erstreckt. Diese Spitzen im Spektrum nennt man auch „Seitenbänder“, da sie als spektrale Bänder neben der Anregung, also seitlich dazu, auftreten. In der Form und dem Verhalten dieser Emission steckt bereits viel Information über die

Kollisionspartner, die mit einer quantentheoretischen Modellierung extrahiert werden können. Ähnlich wie in großen Beschleuniger-Anlagen, wo die Teilchen und Zerfallsprodukte, die bei den energiereichen Kollisionen entstehen, untersucht werden, kann man auch hier Details über die Quasiteilchen aus dem ausgesandten Licht ableiten.

Doch um den Quasiteilchen-Collider und seine mikroskopische Dynamik zu verstehen, ist es unverzichtbar, den Prozess in Echtzeit zu verfolgen. Glücklicherweise

stellt die Regensburger Hochfeld-Terahertz-Quelle nicht nur die schnellen Beschleunigerfelder bereit, sondern ermöglicht auch extreme Zeitlupenverfahren dank modernster Lasertechnik. Mit dieser Methodik können die Quasiteilchen-Kollisionen auf ihrer natürlichen Zeitskala ausgetestet werden. Zu diesem Zweck werden Elektronen und Löcher zu einem genau definierten Zeitpunkt während des Beschleunigerfeldes erzeugt [5a]. Dies geschieht mit einem ultrakurzen Laserimpuls. Auf diese Weise kann man herausfinden, zu welchen Zeitpunkten Elektron und Loch generiert werden müssen, sodass diese anschließend durch das Lichtfeld beschleunigt mit hoher Geschwindigkeit kollidieren. Führt man dieses Experiment durch und misst die Lichtemission für verschiedene Verzögerungszeiten zwischen Anregungsimpuls und Beschleunigerfeld, so beobachtet man gute und schlechte Zeitpunkte für die Erzeugung der Elektron-Loch-Paare [5b]: Nur wenn die Quasiteilchen nach dem Maximum des Feldes injiziert werden, kann der darauffolgende Schwingungszyklus Elektron und Loch wieder kollidieren, was dann zu intensiver Lichtemission führt. Startet die Beschleunigung der beiden Quasiteilchen jedoch vor dem Feldmaximum, kann im nächsten Halbzyklus die Bewegung nicht mehr umgekehrt werden, und die



**5 Zeitaufgelöste Quasiteilchen-Kollisionen.** a, Mit einem ultrakurzen Anregungsimpuls (rot) werden Elektron-Loch-Paare schneller erzeugt, als das Beschleunigerfeld (schwarz) schwingt. b, Die Abbildung zeigt das Beschleunigerfeld (schwarz) und die emittierte Lichtintensität (orange), wenn Elektron-Loch-Paare zu verschiedenen Verzögerungszeiten generiert werden. Nur für bestimmte Zeitpunkte laufen die Kollisionen effizient ab und führen zu intensiver Lichtemission. Der Bildeinsatz zeigt, dass die guten Zeitpunkte um eine Verzögerung  $\delta$  nach den Maxima des Beschleunigerfeldes liegen. c, Die Elektron-Bewegung relativ zum Loch ist mit blauen Pfeilen dargestellt. Während jeder Lichtschwingung kann ein Elektron vom Loch wegbeschleunigt werden und mit ihm bei hoher Geschwindigkeit anschließend kollidieren. Die Lichtemission (helle Blitze) wird umso energiereicher, je stärker das Beschleunigerfeld (schwarz) ist.

beiden Teilchen treiben auseinander. Diese ballistische Dynamik führt zu einer charakteristischen Verzögerung  $\delta$  der Lichtemission verglichen mit dem Feld der Lichtwelle [5b]. Sie ist wie ein Fingerabdruck dafür, dass die Seitenbänder tatsächlich durch Quasiteilchen-Kollisionen entstehen. Die Beschleunigungspfade eines Elektrons relativ zum Loch für verschiedene Injektionszeitpunkte sind in [5c] dargestellt. Je intensiver der beschleunigende Schwingungszyklus der Lichtwelle ist, desto energiereicher und heller ist die Kollision mit dem Loch.

Mit diesen Experimenten wird ein Meilenstein in der Untersuchung von Quasiteilchen erreicht. Denn es wird eindeutig demonstriert, dass diese komplexen Gebilde ihren Teilchencharakter auch unter den extremen Bedingungen der Kollision behalten. Sie sind in diesem Sinne real. Die Rezepte, die sich in der Elementarteilchenphysik in den großen Beschleunigern bewährt haben, bleiben auch unter Laborbedingungen im Festkörper erfolgreich.

Das grundlegende Konzept, das wir hier entwickelt haben, ebnet die Bahn für eine große neue Klasse von Experimenten mit Festkörpern. Licht-getriebene Kollisionen können nämlich auch mit Quasiteilchen durchgeführt werden, die weit komplexer sind als Elektronen und Löcher, weil sie eine innere Struktur haben. Würde man zum Beispiel Elektronen in Hochtemperatur-Supraleitern kollidieren, so könnte

man vielleicht aufklären, wie es in diesen Materialien zur Bildung von Cooper-Paaren kommt, die selbst bei vergleichsweise hohen Sprungtemperaturen noch stabil sind. Dies könnte der Schlüssel sein, um das Phänomen der Hochtemperatur-Supraleitung endlich zu verstehen. Wenn es damit gelänge, diese Materialien langfristig gezielt so weit zu optimieren, dass sie bei Raumtemperatur einsetzbar wären, dann könnte man Strom widerstandsfrei, d. h. ohne Leitungsverluste, über beliebig lange Strecken transportieren, um Energie zu sparen.

Immer neue Material-Klassen werden entdeckt und hergestellt, die mit Hilfe Licht-getriebener Kollisionen eingehend untersucht werden könnten. Zum Beispiel gibt es Ansätze, spezielle Anregungen in atomar dünnen Lagen von Übergangsmetall-Dichalkogeniden, wie Molybdändisulfid oder Wolframdiselelenid, für innovative Konzepte zur verlustarmen Signalverarbeitung auszunutzen. Gänzlich neue Möglichkeiten für die Informationstechnologie bieten topologisch geschützte Zustände – eine weitere Entdeckung, die erst kürzlich mit dem Nobelpreis für Physik gewürdigt wurde.

Lichtwellen-Elektronik könnte auch unseren Alltag verändern. Eine Lichtwelle kann die Bewegung von Ladungen im Festkörper auf der Zeitskala der Schwingungsdauer von Licht steuern. Wenn sich diese Idee für die Informationsverarbeitung nutzen ließe, dann wären tausend- bis hun-

derttausendmal höhere Taktraten möglich, als die heutige Elektronik sie umzusetzen vermag. Die Leistungsfähigkeit von Computern könnte so ganz enorm gesteigert werden. Wenn unsere Technologien und damit auch ein Stück Lebensqualität nachhaltig und auf lange Sicht gesichert und ausgebaut werden sollen, dann ist Grundlagenforschung unverzichtbar.

## Literatur

Fabian Langer, Matthias Hohenleutner, Christoph P. Schmid, Christoph Poellmann, Philipp Nagler, Tobias Korn, Christian Schüller, Mark S. Sherwin, Ulrich Huttner, Johannes T. Steiner, Stephan W. Koch, Mackillo Kira, Rupert Huber, Lightwave-driven quasiparticle collisions on a subcycle timescale. *Nature* 533 (2016), S. 225–229.

Olaf Schubert, Rupert Huber, Ultraschnell geblitzt. *Quantenphysik auf der Zeitskala einer Lichtschwingung. Blick in die Wissenschaft* 30 (2014), S. 9–15.

Matthias Hohenleutner, Fabian Langer, Olaf Schubert, Matthias Knorr, Ulrich Huttner, Stephan W. Koch, Mackillo Kira, Rupert Huber, Real-time observation of interfering crystal electrons in high-harmonic generation. *Nature* 523 (2015), S. 572–575.

Lev Landau, The theory of a Fermi liquid. *Soviet Physics Journal of Experimental and Theoretical Physics* 3 (1957), S. 920–925.

Mackillo Kira, Stephan W. Koch, *Semiconductor Quantum Optics*. 1. Auflage. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.



© Universität Regensburg

M. Sc. **Fabian Langer**, geb. 1990 in Bamberg. Studium der Physik an der Universität Erlangen-Nürnberg und Universität Regensburg im gemeinsamen Forschungsstudiengang bis 2013. Danach Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Regensburg und Promotion am Lehrstuhl von Prof. Huber über Lichtwellen-getriebene Beschleunigung von Quasiteilchen.

**Forschungsschwerpunkte:** Ultrakurzzeit- und Hochfeldphysik in Festkörpern.

Prof. Dr. **Rupert Huber**, geb. in Traunstein. Studium der Physik an der Technischen Universität München (TUM) und an der UC Berkeley bis 1999. 2000 Forschungsaufenthalt in Hongkong. 2004 Promotion an der TUM über den ultraschnellen Aufbau von Coulombabschirmung. Danach Humboldt-Stipendiat am Lawrence Berkeley National Laboratory bis 2006. Leiter einer Emmy Noether-Nachwuchsgruppe an der Universität Konstanz bis 2010. Seit Oktober 2010 Professor für Experimentalphysik an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Ultrakurzzeitphysik und Femtosekunden-Photonik.



© Universität Regensburg

# „Nichts ist gefährlicher als die Verwechslung von Ästhetik und Religion“

## Pierre Klossowski und die Aufhebung seiner Berufung im Roman

Jonas Hock

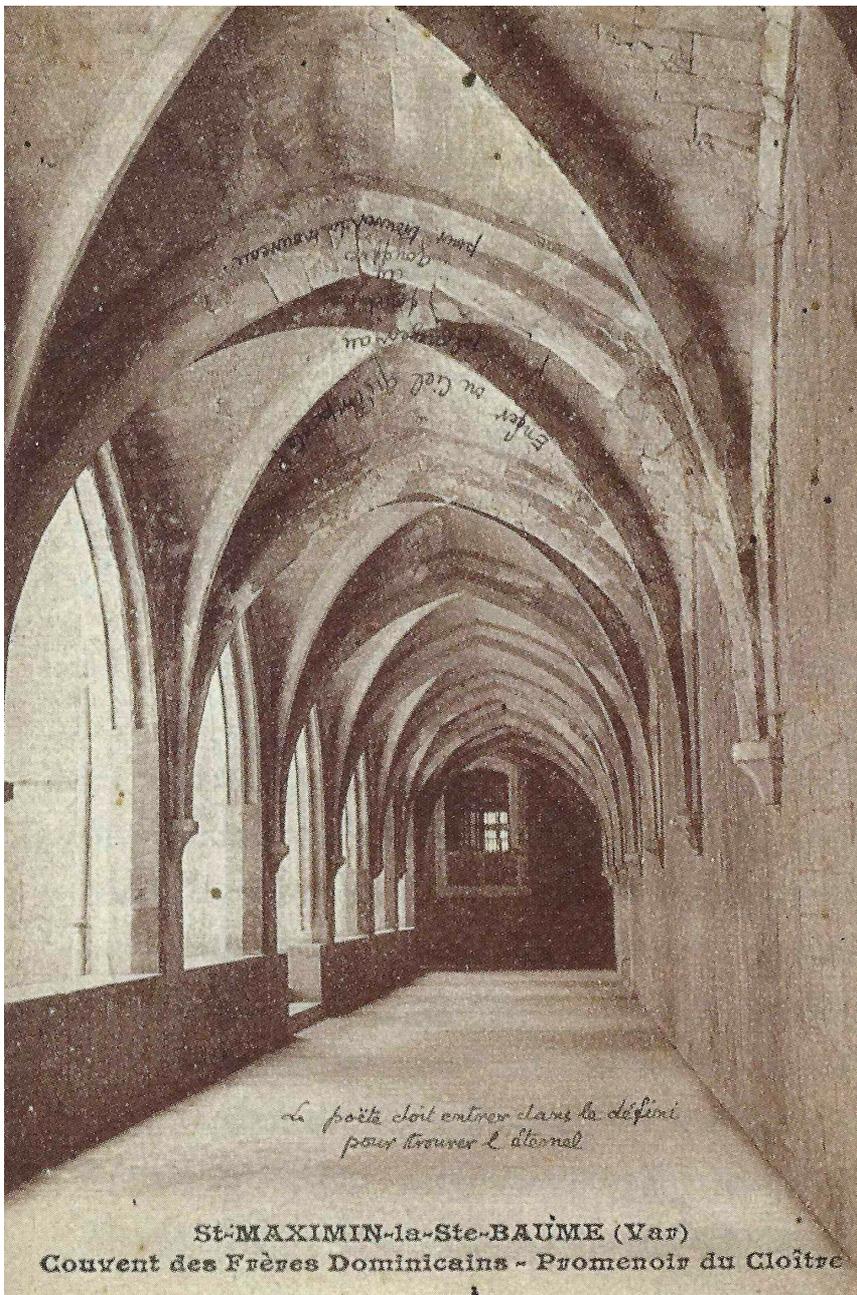
Pierre Klossowski ist eine der grauen Eminenzen, die das französische Nachkriegsdenken stark beeinflusst haben, selbst aber weniger prominent in Erscheinung traten. Seine Arbeiten zu Sade (1947) und Nietzsche (1969) sowie seine Simulakrentheorie waren wegweisend und beeinflussten so bekannte Denker wie Michel Foucault oder Gilles Deleuze. Weitgehend unerforscht blieb bisher die genaue Genese seines vielgestaltigen Werkes, die Tatsache nämlich, dass in Klossowskis Fall von einer Geburt der Avantgardekunst und der postmodernen Theoriebildung aus der Abkehr vom Katholizismus gesprochen werden kann, eines Katholizismus, dessen Institutionen Klossowski aus der Innensicht des Novizen und Seminaristen sowie als intensiver Leser katholischer Romane kannte. Diese Abkehr vollzieht und dokumentiert der Autor gleichzeitig 1950 mit dem Roman *La vocation suspendue* (dt.: *Die aufgehobene Berufung*), seinem literarischen Erstlingswerk, das *in nuce* bereits sein gesamtes weiteres Schaffen in sich birgt. Ein genauer Blick auf diesen schmalen Roman kann darum helfen, Tendenzen einer ganzen Epoche freizulegen.

### Etappen einer Jahrhundertbiografie

Geboren 1905 in Paris, gestorben 2001 in derselben Stadt, durchmaß Pierre Klossowskis Lebensweg das gesamte 20. Jahrhundert. Seine Eltern stammten aus dem slawischen Sprachraum – der Vater Erich aus dem heutigen Kaliningrad, die Mutter Elisabeth Dorothea Spiro, genannt Baladine, aus Breslau. Manchen wird sein jüngerer Bruder Balthasar bekannt sein, der unter dem Künstlernamen Balthus ein bekannter Maler wurde. Das polyglotte Künstlermilieu, in dem die Familie Klossowski sich in Paris bewegte, blieb auch nach der Ausweisung aus Frankreich zu Beginn des Ersten Weltkriegs – man besaß immer noch die reichsdeutsche Staatsangehörigkeit – und der Trennung der Eltern prägend. Die Brüder Pierre und Balthasar wuchsen bei ihrer Mutter in Zürich, Berlin, Bern und Genf auf. Baladine lernte in dieser Exilzeit Rainer Maria Rilke kennen, der ihr Geliebter wurde. Rilke spielte eine entscheidende Rolle für Pierre Klossowskis weiteren Werdegang: Er stellte den Kontakt zu André Gide her, der gerade dem Höhepunkt seiner Anerkennung als Schriftsteller entgegenstrebte. Gide ließ sich von

einem einzelnen Brief des kaum 18-Jährigen überzeugen, lud ihn nach Paris ein und wurde sein Mentor – im juristischen wie im erzieherischen und künstlerischen Sinne.

Die frühe Kenntnis von Gides Werken sollte später deutliche Spuren in Klossowskis Romanen hinterlassen. Die Gides Schriften, aber auch seinen Lebenswandel durchziehende Spannung zwischen großbürgerlich-protestantischer Sittlichkeit und homosexueller Promiskuität stürzte den jungen Pierre jedoch in eine moralische Krise. Auf der Suche nach Fixpunkten begab er sich infolgedessen auf eine jahrelange theologisch-monastische Wanderschaft. Den Zweiten Weltkrieg und die deutsche Besatzung Frankreichs erlebte er in verschiedenen Klöstern und Priesterseminaren, lebte bei Benediktinern, Dominikanern, Franziskanern, trat zwischenzeitlich zum Protestantismus über, wurde wieder katholisch. Er setzte diesen spirituellen Irrungen und Wirrungen 1947 ein jähes Ende, indem er Denise Marie Roberte Morin-Sinclair heiratete – eine Résistance-Kämpferin, Überlebende des KZ Ravensbrück, Model und für den Rest seines Lebens eine Art Muse für Klossowski, um die sein gesamtes weiteres Werk kreisen sollte.



1 Postkarte mit dem Kreuzgang des Dominikanerklosters St. Maximin (*Lettres à Betty*, S. 144); handschriftlich hinzugefügt sind Zitate von Paul Claudel (Boden) und Charles Baudelaire (Gewölbe).

Sieht man von seinen zahlreichen frühen Übersetzungen vom Deutschen ins Französische ab (etwa von Walter Benjamins Kunstwerkaufsatz, Franz Kafkas „Urteil“ sowie dessen Tagebuch), begann Klossowskis Werk 1947, im Jahr der Eheschließung, mit einem Paukenschlag, nämlich dem Band *Sade, mon prochain* (dt.: *Sade, mein Nächster*), einer Sammlung verschiedener Artikel, welche die Nachkriegsrezeption des Marquis de Sade einleitete. In einer überraschenden Lektüre stellte Klossowski den Marquis de Sade gleichsam auf den Kopf und las die schablonenhaften Grausamkeiten in dessen Tex-

ten als ungewollte Affirmation einer christlichen Ethik: Schließlich sei Sades mühsamer Versuch, anhand der frevlerischen Taten seiner Romanfiguren die Nichtexistenz Gottes und die Wirkungslosigkeit ethisch-religiöser Gesetze aufzuzeigen, von der viel grundlegenderen Annahme seiner Existenz und ihrer Gültigkeit geleitet. – Wie kam es dann, dass Klossowski selbst angesichts der hier noch herausgestellten Kraft und Selbstverständlichkeit des religiösen Bekenntnisses seine Berufung zum Priester infrage gestellt sah und sich beinahe gleichzeitig von der Kirche ab- und der Literatur zuwandte?

## „Nichts ist gefährlicher als die Verwechslung von Ästhetik und Religion“

Details über die Zeit der spirituellen und monastischen Wanderjahre Klossowskis kennen wir erst seit der Veröffentlichung der sogenannten *Briefe an Betty*, an die frühe Geliebte und lebenslange Freundin Elizabeth Holland. Die zwischen 1929 (erste Liebesbotschaften) und 1945 (ausführliche Lebensbeichten) verfassten Briefe, die durch die Sorgsamkeit der Empfängerin die Zeit überdauern konnten und 2007 veröffentlicht wurden, vermitteln einen Eindruck von den Fragen, die sich Klossowski über das Verhältnis von Ästhetik und Religion stellte.

Beispielhaft sei hier auf einen Brief vom November 1941 verwiesen, der sich über mehrere Postkarten erstreckt. Bereits die Auswahl der Kartenmotive zeigt ein Schwanken zwischen dem grau-andächtigen Kreuzgang des Dominikanerklosters von St. Maximin [1] und der farb- und lebensfrohen Hauptavenue von Marseille, der Canebière [2]. Der krasse Gegensatz der Motive steht hier beinahe symbolisch für die zwei Lebenswelten, zwischen denen der Mittdreißiger zu jener Zeit pendelte: Das intensive Theologiestudium, das Klossowski in der Klausur des Klosters absolvierte, wurde immer wieder unterbrochen von Ausflügen in die Metropole Marseille, wo der junge Seminarist in eher mondänen Kreisen von Künstlern und ihren Mäzenen verkehrte. Diesen Gegensatz von weltlicher Kunst und klösterlicher Spiritualität thematisieren auch die beiden Zitate, die Klossowski handschriftlich auf der Fotografie des Kreuzgangs vermerkt hat. Den Boden ziert ein Satz des katholischen Schriftstellers Paul Claudel: „Le poète doit entrer dans le défini pour trouver l'éternel“ (Der Dichter muss in das Festgelegte eintreten, um das Ewige zu finden). Das Gewölbe wiederum schmücken die nur leicht abgeänderten Schlussverse von Charles Baudelaires Gedicht „Le voyage“ aus den berühmten *Blumen des Bösen*: „Enfer ou ciel qu'importe / plonger au fond du gouffre pour trouver du nouveau“ (Hölle oder Himmel, gleichviel / in die Tiefe des Abgrunds tauchen, um Neues zu finden).

Interessant ist nun der Standpunkt, den Klossowski im Brief an die Freundin formuliert. Auf der Postkartenrückseite vervollständigt er zunächst das Claudel-Zitat um einen Satz, der die Gegenüberstellung



2 Kolorierte Postkarte mit der Canebière in Marseille (*Lettres à Betty*, S. 144).

zu Baudelaire's Versen unterstreicht: „Le poète ne doit pas plonger dans l'infini pour trouver du nouveau“ (Der Dichter muss nicht ins Unendliche eintauchen, um Neues zu finden). Anschließend bekundet er überraschend seine Präferenz für die Baudelaire'sche Sicht, die er zwar für die eines „Sünders“, aber immerhin „ohne Illusion bezüglich der Kunst“ hält, während die „monumentale Gelassenheit“ Claudel's ihm letztlich verdächtig vorkommt. Vereinfacht gesagt: Baudelaire ist bereit, für die Schöpfung von Neuem noch durch jeden Abgrund zu gehen, egal ob es sich um ein himmlisches oder höllisches Unbekanntes handelt; seine Hingabe an die Kunst ignoriert ethische Kategorien und gesteht ihre (potenzielle) Sündhaftigkeit ein. Claudel lässt den Dichter das Ewige im Festgelegten (Endlichen) und das Neue zumindest nicht im Unendlichen finden – die Sphären des Ästhetischen und des Religiösen bleiben hier klarer getrennt. Klossowski weiß, warum, wie er in seinem Brief erklärt: „rien de plus dangereux que la confusion de l'esthétique et de la religion“, d. h. nichts ist gefährlicher als die Verwechslung von Ästhetik und Religion.

Ist nicht bereits seine Postkartenauswahl ein Spiel mit dieser Gefahr? Das zu behaupten wäre vielleicht übertrieben,

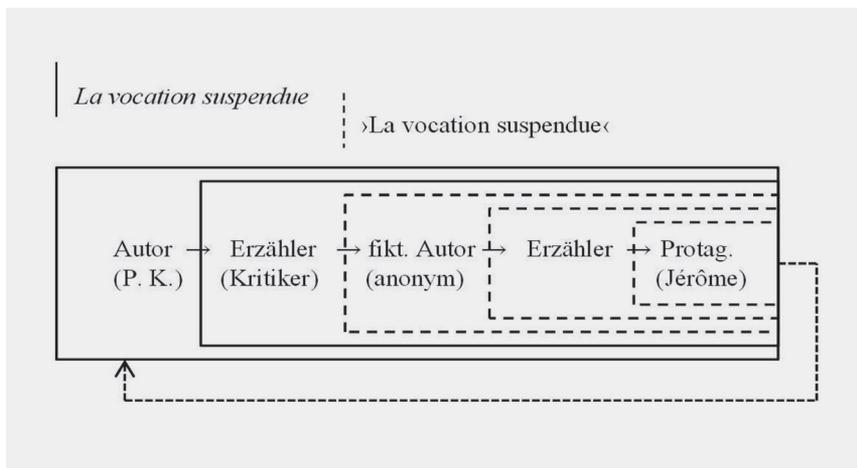
dennoch zeugt das hier evozierte Beispiel von der frühen Hellsichtigkeit Klossowski's bezüglich der (Un-)Vereinbarkeit seiner ästhetischen und spirituellen Ambitionen. Etwa ein Jahrzehnt später wird er diesen Knoten zugunsten der Literatur auflösen. Mit *La vocation suspendue* (*Die aufgehobene Berufung*) veröffentlichte er 1950 seinen ersten Roman. Er markierte damit seine Abkehr von der Kirche, vom katholischen Bekenntnis, und seine Hinwendung zu einer Ästhetik der Ambiguität, wie sie für die Literatur der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nicht nur in Frankreich typisch ist.

### Aufhebung der Berufung und Ambiguität des Romans

Die literarischen Techniken, die der Autor im Roman anwendet, um von der Aufhebung einer (seiner?) Berufung zu erzählen, sind ebenso ungewöhnlich wie das Material der Erzählung, das sowohl seiner eigenen Biografie als auch einem großen Fundus katholischer Literatur des 19. und 20. Jahrhunderts entnommen ist. In der präzisen Übersetzung von Peter Süß beginnt der Roman wie folgt:

„Unter dem Titel: *Die aufgehobene Berufung* erschien in Bethaven 194.. anonym in einer Auflage von etwa hundert Exemplaren, von denen ich ein einziges in Lausanne auftreiben konnte, eine Erzählung, die sich auf den ersten Blick in die Tradition katholischer oder protestantischer ‚Entwicklungsromane‘ einreicht. Wenngleich in der dritten Person geschrieben, könnte es sich dabei um eine romanhafte Autobiographie handeln, in der der Verfasser seine religiösen Erfahrungen offenlegt.“

Mit diesen ersten Sätzen wird bereits deutlich, dass es sich nicht nur um einen Roman, sondern um einen Roman über einen Roman, genauer gesagt die Besprechung oder Rezension eines (fiktiven) Romans handelt. Dieses Konstruktionsprinzip führt zu einer Verdoppelung der Erzählinstanzen [3], die dem Autor eine große Freiheit bei der Darstellung verleiht, kann er das zu Erzählende doch beliebig kürzen, kommentieren, wiederholen oder weglassen. Die Handlung des Romans („La vocation suspendue“) im Roman (*La vocation suspendue*) verbleibt immer auf der zweiten, „entzogenen“ Erzählebene. Diese kann lediglich über das erschlossen werden, was der Erzähler der ersten Ebene,



3 Schematische Darstellung der vervielfachten Erzählinstanzen durch die Roman-im-Roman-Konstruktion (Jonas Hock).

die Stimme des Kritikers oder Rezensionen, preisgibt.

Sofern sich die Handlung des Romans im Roman überhaupt rekonstruieren lässt, handelt es sich um die Geschichte des Protagonisten Jérôme, der als Novize und Seminarist in den Konflikt verschiedener innerkatholischer Strömungen hineingezogen wird (es geht um unterschiedliche Ausprägungen der Marienfrömmigkeit), von einem Kloster ins andere wechseln muss und am Ende die Authentizität seiner *vocatio* infrage gestellt sieht. Nach einer unglücklichen Liebelei mit einer jungen Nonne verlässt er endgültig die Kirche und heiratet am Ende eine andere Frau. Der Plot kommt einem bekannt vor, wenn man Klossowskis Biografie kennt – und doch soll es sich um einen Roman handeln und nicht um eine Autobiografie; schließlich heißt der Protagonist Jérôme und nicht Pierre. Selbst wenn man nicht weiß, dass Klossowski mindestens einen der Briefe an Betty mit „Hieronymus“, der lateinischen Urform von „Jérôme“, unterzeichnet hat, finden sich genügend Elemente, deren Entschlüsselung weite Teile des ‚Romans‘ als autobiografisch erscheinen lassen. Warum aber diese mühsame Konstruktion, um am Ende doch vor allem das eigene Leben zu erzählen?

Das Stichwort lautet: Ambiguität. Mit und in seinem Roman versucht Klossowski, eine Haltung gegenüber seinem verlorenen religiösen Bekenntnis zu finden, die nicht in radikale Verleugnung kippt, sondern es durch Überführung in eine Ästhetik der Mehrdeutigkeit gleichsam neutralisiert. Das erfolgt, indem er religiöses ‚Material‘, also Glaubensgegenstände wie etwa verschiedene Marienbildnisse als literarische

Bausteine verwendet, deren Relativität die literarische Konstruktion herausstellt. Dabei verwendet er Erzählstrategien, die vor 1950 bereits bekannt sind. In so radikaler und konzentrierter Form etablieren sie sich jedoch erst einige Jahre später mit dem avantgardistischen Schreiben von Autoren wie Alain Robbe-Grillet oder Michel Butor, mit dem Nouveau Roman also.

Die Degradierung der Marienfrömmigkeit zum literarischen Material und die Ironisierung der in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts virulenten Konflikte um dogmatische Fragen innerhalb der katholischen Kirche lassen den Roman in weiten Teilen als Parodie und Klossowskis Auseinandersetzung mit den theologischen Fragen v. a. als Absetzung von eben diesen erscheinen. Diese Absetzung erfolgt jedoch gerade nicht durch Negierung oder vollkommene Abwendung. Durch seine eigenen Arbeiten zu Sade war Klossowski für die Unzulänglichkeit einer bloßen Oppositionsbildung sensibilisiert. Er bewegt sich mit seinem Roman innerhalb des Rahmens, den insbesondere die katholische Ikonologie bietet. Erst diese Strategie kreiert eine Spannung, wie sie bereits im Titel zum Ausdruck kommt, denn die *vocation*, die Berufung, ist nicht *effacée*, *gommée* oder *absente* (gelöscht, getilgt oder abwesend), sondern *suspendue*, in der Schwebe. Durch diesen Schwebezustand, der auch einer zwischen Bekenntnis und Ambiguität ist, zeugt Pierre Klossowskis Roman in konzentrierter Form vom Prozess einer ‚Ambiguierung‘ des Bekenntnisses, d. h. einer Verwischung deutlicher Positionierungen. Diese Bemühung um Uneindeutigkeit sollte schließlich zum Kern seines weiteren Werkes werden.

## Jenseits der Schrift: Das Simulakrum als Bekenntnis zur Ambiguität

1952 folgte mit *Roberte, ce soir* der erste Band einer Romantrilogie, die 1965 ergänzt um ein Vor- und ein Nachwort als *Les lois de l'hospitalité* (*Die Gesetze der Gastfreundschaft*) erschien. Im Nachwort explizierte der Autor seine Simulakrentheorie, die der literarische Text selbst veranschaulichte. Dabei ging es ihm um die Möglichkeit der Kommunikation einer unkommunizierbaren Erfahrung – einer Erfahrung, die nicht mit den üblichen sprachlichen Zeichen zum Ausdruck gebracht werden kann, ohne genau die Spezifik bzw. Intensität zu verlieren, deren Vermittlung angestrebt wird. Die ‚Lösung‘ sieht Klossowski in dem, was er ‚Simulakrum‘ nennt. Simulakrum meint ursprünglich die bildliche Darstellung einer in ihrer Essenz nicht darstellbaren Gottheit. Pierre Klossowski versteht unter Simulakrum eine Darstellung, die nicht mehr der Kommunikation des Unkommunizierbaren dienen soll, sondern als Äquivalent für das Dilemma der Unkommunizierbarkeit selbst fungiert. Indem er Szenerien entwirft, die in ihrer manifesten Widersprüchlichkeit nichts zeigen als die Unmöglichkeit, in ihnen eine einzelne, eindeutige Intention zu erkennen, versucht Klossowski zumindest den Hinweis zu fixieren, dass etwas Unzeigbares oder Unsagbares vorliegt.

Bevorzugte Motive Klossowskis sind dabei uneindeutige erotische Szenen, deren Aneinanderreihung letztlich die Trilogie der *Gesetze der Gastfreundschaft* bildet. Uneindeutig sind sie, da der Autor seine Protagonisten bzw. vor allem seine Protagonistin Roberte in Szenen darstellt, in denen sie Übergriffen verschiedener anderer Figuren ausgeliefert ist. Dabei bleibt unklar, ob sie sich willentlich in die jeweilige Situation begeben oder sie gar selbst inszeniert bzw. imaginiert hat. Ein Beispiel für diese Ambiguität im Hinblick auf Aktivität/Passivität bzw. Ablehnung/Zustimmung liefert die Szene „Roberte, le colosse et le nain“ (*Roberte, der Koloss und der Zwerg*) aus *Roberte, ce soir*, die auch als illustrierende Bleistiftzeichnung [4] neben der entsprechenden Romanpassage abgedruckt ist: In ihrem *cabinet de toilette* wird die sich entkleidende Roberte von einem Koloss und einem Zwerg angefallen und schließlich – je nach Perspektive – sexuell befriedigt oder missbraucht. Die ästhetische Ambiguität wird hier noch verstärkt durch ihre



4 Ein Simulakrum: „Roberte, le colosse et le nain“ (Roberte, der Koloss und der Zwerg); aus: Pierre Klossowski: *Roberte, ce soir*, S. 88.

Ausweitung ins Moralische, wenn Klossowski bewusst die Grenzen sexualisierter Gewalt streift, um seine Simulakrentheorie zu ‚illustrieren‘. Die Ambiguität, die 1950 noch strategischer Einsatz bei der Suche nach einer Haltung gegenüber der eigenen Vergangenheit war, ist also auch in den nachfolgenden Werken nicht Selbstzweck, sondern wird noch radikalisiert und in einem Schreiben reflektiert, dem es um die Grenzen der Sagbarkeit geht – einem Thema, um das ein großer Teil des französischen Nachkriegsdenkens kreist.

In den 1970er Jahren erfolgte dann die konsequente Abwendung vom Schreiben. Klossowski widmete sich ausschließlich seinen großformatigen Buntstiftzeichnungen, die zunächst nur als Illustrationen seiner Texte fungiert hatten. Die bildliche Darstellung erschien ihm nach etwa zwanzigjähriger Autorenkarriere nunmehr geeigneter, seine Vorstellungen vom Unkommunizierbaren bzw. seine unkommunizierbaren Vorstellungen zu kommunizieren. Zu eindeutig oder zumindest zu wenig ambig waren ihm jetzt die Worte. Vielleicht verdächtigte er sie noch eines irreduziblen Bekenntnisrestes – denn seine Berufung war ja nicht getilgt, sondern lediglich in der Schwebe.

### Literatur

Pierre Klossowski, *Sade – mon prochain*. Paris: Seuil, 1947/1967 [Dt.: *Sade – mein Nächster*. Wien: Passagen Verlag, 1996].  
 Pierre Klossowski, *La vocation suspendue*. Paris: Gallimard, 1950 [Dt.: *Die aufgehobene Berufung*. München: Matthes & Seitz, 1997].  
 Pierre Klossowski, *Roberte, ce soir*. Paris: Minuit, 1953.  
 Pierre Klossowski, *Les lois de l’hospitalité*. Paris: Gallimard, 1965 [Dt.: *Die Gesetze der Gastfreundschaft*. Berlin: Kulturverlag Kadmos, 2002].  
 Serge Fauchereau (Hrsg.), Pierre Klossowski: *Lettres à Betty / Cartas a Betty*. Madrid: Circulo de Bellas Artes, 2007.



© Privat

**Jonas Hock**, M. A., geb. 1987 in München. Studium der Romanistik, Germanistik und Bildungswissenschaften in Leipzig und Lyon bis 2013. Seit 2014 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Romanistik der Universität Regensburg, Lehrstuhl für Romanische Philologie I, Französische und Italienische Literatur- und Kulturwissenschaft. 2017 Promotion zu Pierre Klossowskis Frühwerk.

**Forschungsschwerpunkte:** Französische Literatur und Philosophie des 20. Jahrhunderts, Aufklärungsforschung, deutsch-französische Kulturbeziehungen

# Politik macht Kleidung?

## Inhalte und Motivationen spätmittelalterlicher Kleiderordnungen

Melanie Burgemeister

Kleidung ist ein wichtiges gesellschaftliches Ausdrucksmittel. Die Möglichkeit, sich über sie zu präsentieren, ist dabei oftmals wichtiger als die Bedeckung und der Schutz des eigenen Körpers es sind. Mit Kleidung können durch Symbole, Trageweisen und Materialien gezielt Zeichen an die Umwelt übermittelt werden.

Diese ‚nonverbale‘ Kleidersprache war jedoch nicht immer frei nutzbar. Über Jahrhunderte regelten Gesetze, was die Menschen tragen durften. Auch gegenwärtig wird Kleidung und die damit verbundene ‚angemessene‘ Bedeckung des Körpers wieder politisch verhandelt. Damit widmet sich die Diskussion um ein Verhüllungsverbot einem Problemfeld, das bereits im Spätmittelalter nachweisbar ist.

Die Gründe für die gesetzliche Begrenzung der Kleidung in der Vergangenheit wurden in der Forschung oft auf die Sicherung etablierter Standesgrenzen reduziert. Doch betrachtet man die zahlreichen Detailregulierungen der Ordnungen in ihrem jeweiligen Kontext, so ist diese monokausale Antwort unbefriedigend. Gerade sittlich-religiöse Vorschriften in den Kleiderordnungen belegen eine andere Ausrichtung. Es stellt sich somit die Frage, welche Motivationen hinter diesen Gesetzen standen und was sie für die Betroffenen bedeuteten: eine Form der Disziplinierung von oben oder eine Anleitung, die Orientierung

in einer sich wandelnden Welt gab? Dabei ist nicht zuletzt auch das Aussehen der akzeptierten Kleidung am Ende des Mittelalters von Bedeutung. Der Erforschung dieses Themas widmet sich mein Promotionsvorhaben.

### Ende des 15. Jahrhunderts verändert sich die Kleidergesetzgebung

Die gesetzliche Festlegung erlaubter Kleidung und ihrer Gestaltung bildete einen wesentlichen Bestandteil der ‚Policeygesetzgebung‘ des 14. bis 18. Jahrhunderts. Hierbei handelt es sich um verschiedenste Erlasse aus dem Bereich der öffentlichen Ordnung und des sozialen Lebens. Eine Untergruppe bilden innerhalb der Policeygesetze die Kleidungs-, Tauf-, Hochzeits- und Bestattungsordnungen, die als Luxusgesetze den erlaubten Aufwand regelten. Damit war in der Vergangenheit eine Einmischung in das Privatleben durch den herrschaftlichen Zugriff keine Ausnahme, sondern die allgemein verbreitete Regel.

Federführend bei der Einführung von Kleiderordnungen waren zunächst die Städte. Erst ab etwa 1500 begannen auch Territorialherren sich diesem Thema verstärkt zu widmen. Sie konnten sich dabei anders als die Städte zuvor, auf allgemeinverbindliche Vorgaben auf Reichsebene stützen und sie gemäß regionaler Bedürf-

nisse anpassen. Gleichzeitig entstand auch eine zunehmend systematische Gestaltung der Kleiderordnungen nach Ständen oder Klassen, während es zuvor oftmals nur wahllose Aneinanderreihungen einzelner Regulierungen gab. Damit stellt gerade die Zeit vor 1500 einen Moment des Wandels dar, in dem die Kleiderordnungen strukturiert, die enthaltenen Personenabgrenzungen klarer formuliert und die gesellschaftliche Gliederung genauer hinterfragt wurden. Es verwundert daher nicht, dass diese Zeit auch eine der Hochphasen der Kleidergesetzgebung darstellt, in der auffällig viele Ordnungen in zahlreichen Städten entstanden.

Aus dieser Situation ergab sich im Rahmen meines Promotionsprojekts die Möglichkeit, den Forschungsraum zeitlich und auch räumlich eng zu begrenzen. Trotz enger Verbindungen zwischen den Kleiderordnungen aus Landshut (1470), Nürnberg (1481) und Regensburg (1485) fallen große Unterschiede in der politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Situation der Städte auf: Regensburg und Nürnberg besaßen als freie Reichsstädte wesentlich mehr Autonomierechte als die Herzogsresidenz Landshut. Wirtschaftlich befanden sich Nürnberg als Weltstadt der Zeit und Landshut als ebenfalls wohlhabende mittelgroße Stadt in ihrer Blütezeit. Regensburg litt dagegen unter Aufständen und stand 1485 vor dem Bankrott, den es nur durch die Aufgabe seiner Reichsfreiheit und die Unterstellung un-



TEXTILIENGATTUNG	TEXTILIENART	ERLAUBTE HÖCHSTMENGEN	KLEIDERORDNUNG
Wertvolle Seidenstoffe	Brokat	verboten	Nürnberg
	Samt	vorwiegend kleinflächig	Nürnberg, Regensburg und Landshut
	Atlas	vorwiegend kleinflächig	Nürnberg, Regensburg und Landshut
	Damast	vorwiegend kleinflächig	Nürnberg, Regensburg und Landshut
Einfache Seidenstoffe	Tobin	vorwiegend kleinflächig	Nürnberg, Regensburg
	Zendel	klein- und großflächig	Nürnberg, Regensburg und Landshut
	Taftseiden	großflächig	Nürnberg
Tuche (Wollstoffe)	Scharlach	großflächig	Nürnberg
	Schamlott	großflächig	Nürnberg, Regensburg und Landshut
	Wursat	großflächig	Landshut
	Arras	großflächig	Regensburg
Leinenstoffe	Leinen / Schetter	großflächig	Nürnberg, Regensburg
	Baumwolle	großflächig	Regensburg

1 Stoffarten, geordnet nach ihrem Wert

ter den Herzog von Bayern-Landshut abwenden konnte. Damit zeigen die ausgewählten Städte eine große Bandbreite an Ausgangslagen und Kontexten, in denen die Kleiderordnungen entstanden. Diese wirkten sich nicht zuletzt auch auf die Regelungen aus. So durfte im reichen Nürnberg auffällig viel Goldschmuck getragen werden, Regensburg dagegen erhob nicht nur eine Strafgebühr für das Tragen verbotener Gegenstände, wie zu vielen Ringen oder zu wertvollen Stoffen, sondern zusätzlich eine regelmäßige Steuer für den Besitz.

In diesem engen Rahmen sollten die Kleiderordnungen genauer untersucht werden. Die Analyse folgte dabei wie die Quellenauswahl einem mikroanalytischen Ansatz: Das Material sollte tiefer durchdrungen und seine Inhalte genauer untersucht werden als in bisherigen Arbeiten. Die Kleiderordnungen wurden daher nicht nur miteinander verglichen, sondern zunächst als Einzelstücke auf die inhaltliche Konsistenz der einzelnen Vorgaben überprüft. Hierbei zeigte sich, dass keineswegs alle Regeln eines Textes zu einem einheitlichen Ergebnis führten, sondern darin Widersprüche und Wandlungsprozesse enthalten waren.

Um diese Details aufzuspüren, wurden zunächst die Originaltexte transkribiert und ediert. An das Material wurden die Vorgehensweisen der kulturwissenschaftlichen Kleidungsforschung herangetragen, die neben dem Objekt auch die Entstehung

und Bedeutung der Dinge untersucht. Da es sich um schriftliche Zeugnisse handelt, musste die Realienanalyse für diese Quellenart modifiziert werden. Es stand jedoch nicht die Qualität der Gegenstände, sondern ihre gesellschaftliche Bewertung im Fokus der Forschung. Somit ergab sich aus dieser Verengung sogar ein Vorteil, denn in Texten kommt durch die Angabe von Gründen die Meinung der Schreibenden besser zum Ausdruck, als das Objekt sie vermitteln könnte.

### Gesetze als Zugang zur kulturellen Ordnung

Die Gesetzgeber versuchten in den Kleiderordnungen klare Grenzen dafür zu ziehen, welche Materialien, Trageweisen und Schnitte für bestimmte Personengruppen erlaubt waren. Die Gestaltung der wertvollen Kleidungsstücke stand dabei meist im Fokus der Forschung. Da Gesetze allerdings immer nur Idealvorstellungen bzw. eine normative Soll-Realität enthalten, können sie nicht für Rückschlüsse auf die tatsächliche Kleidung dienen. Die Stärke der Quellenart liegt vielmehr in genau dieser vermeintlichen Schwäche: Durch die Beschreibung einer als Ideal empfundenen Kleidung überliefern die Quellen uns die Vorstellungen der Gesetzgeber. Genau diese Ideen können aus den Texten extrahiert werden und stellen die Verbindung

zur historischen Realität dar. Aus dem Blickwinkel der Gesetzgeber kann daher die Gesellschaftsstruktur und Bedeutung von Kleidung besser verstanden werden.

Damit eng verbunden ist die Theorie der kulturellen Ordnung, also der systematischen Gliederung aller Handlungen in einer Gesellschaft. Dieses System gibt Orientierung für das menschliche Handeln in allen Lebenslagen und entlastet den Einzelnen durch die Vorgabe von nicht zu hinterfragenden Konstruktionen. Hierzu zählen beispielsweise allgemein übliche Verhaltensweisen bei der Begrüßung, beim Essen oder auch bei der Wahl angemessener Kleidung. Auch wenn dieser Handlungsmaßstab meist nicht als solcher reflektiert wird, bildet er die Grundlage jedes Zusammenlebens. Damit kannten auch die Gesetzgeber die kulturelle Ordnung ihrer Zeit. Durch die Regelung, was angemessen sei, wurde dieses System in konkreten Wertvorstellungen festgehalten, wobei vor allem die symbolischen Funktionen festgelegt wurden.

Wenn also die Kleiderordnungen auf ihren Aussagewert zur kulturellen Ordnung hin untersucht werden, so sind zwei Stufen nötig: Zunächst sind die konkreten kleinteiligen Äußerungen zu verstehen, die das damalige Kleidungskonzept und Gesellschaftssystem beschreiben. Aufbauend auf dieser Strukturanalyse können die dahinterstehenden Motivationen und Vorstellungen der Gesetzgeber genauer untersucht werden.

Die Analyse der Detailregulierungen richtet sich an alle in den Quellen behandelten Ebenen: Die Materialien, die Kleidungsstücke, der erlaubte Schmuck und die betroffenen Personengruppen müssen zunächst jeweils für sich betrachtet werden, um ihre jeweilige Struktur zu verstehen. Die Kleidungsstücke wurden allerdings kaum in ihrem Gesamtbild oder Schnitt beschrieben. Vielmehr bildeten sie ein Trägermedium für luxuriöse Stoffe und Accessoires. Insgesamt war bei allen Kleidungsstücken das Detail wichtiger als das Ganze und bildete den Kern der symbolischen Kommunikation. Die Kleidersprache war somit vor allem eine Sprache der Akzente. Diese wurden sehr bewusst und vielschichtig eingesetzt.

Die Materialien wiesen in den Ordnungen eine große Bandbreite auf und behandelten neben Pelzen auch zahlreiche Seidensorten sowie wertvolle Wollstoffe. Die besonders luxuriösen Varianten durften nur in kleinen Mengen als Verbrämung benutzt werden und standen im Fokus der Regulierung. Die Gesetzgeber behielten sie aber nicht den wohlhabendsten Personen vor, sondern erlaubten sie stufenweise mit unterschiedlichen Mengen nahezu allen Bewohnern der drei Städte. Das späte Mittelalter kannte dabei zahlreiche Qualitäten und Stoffarten, die auch durch eine sprachliche Vielfalt hervorstachen [1].

Ebenfalls ausführlich reguliert wurden Schmuckstücke und Accessoires. Diese konnten solitär getragen oder an der Kleidung befestigt werden. Da die Verwendung von Edelmetallen den Wert der Kleidungsstücke leicht vervielfachte, wurde ihre Nutzung genau festgesetzt. Gerade Perlen besaßen in den untersuchten Quellen einen hohen Stellenwert, da sie nur den unverheirateten Frauen erlaubt waren und somit als Symbol der Jungfräulichkeit dienen sollten. Wesentlich verbreiteter waren dagegen Verschlüsse aus Silber und Gold. Während diese aufgenähten Kleinteile meist wenig Prestige besaßen, war das Tragen von Ketten, Heftlein (Broschen) oder Gürteln mit Gold- und Silberbeschlägen streng begrenzt.

Die Aufteilung der regulierten Personengruppen erfolgte in der Zeit vor 1500 noch nicht nach ständischen Gesichtspunkten. Zentral waren zunächst das Geschlecht und Alter der Bewohner. Die getrennte Regulierung von Männern und Frauen war nötig, da sie gänzlich unterschiedliche Kleidungsstücke trugen: Mehrere einteilige lange Kleider übereinander

für die Frauen und enge Hosen mit kurzem Wams und halblangem Oberteil darüber für die Männer. Diese Aufteilung nach dem Geschlecht prägte auch die Struktur der Texte. Ständische Aspekte erschienen erst nachgeordnet innerhalb der Regelungen für Männer und Frauen. Es existierte allerdings nur eine grobe Abgrenzung in Ratsherren mit ihren Familien als städtischer Führungsschicht, gefolgt von den Bewohnern mit Bürgerrecht und schließlich den Inwohner, die die unterste Bevölkerungsgruppe bildeten, die sich noch luxuriöse Kleidungsbestandteile leisten konnte. Die tatsächliche Gesellschaftsstruktur in den untersuchten Städten mit ihren unterschiedlich angesehenen Zünften und reichen, aber machtlosen Großkaufleuten musste hiervon zwangsläufig abweichen und war wesentlich vielschichtiger. Doch für die Regulierungen der Gesetzgeber war diese Vielfalt (noch) nicht von Bedeutung.

### Kleiderordnungen als Schutz vor dem Zorn Gottes

Diese Betrachtung der Personengruppen führte zur Ausweitung des Blickwinkels. Es stellte sich aufbauend auf der Detailanalyse die Frage, was die übergeordneten Motivationen der Obrigkeiten für diese Vorschriften waren. Die Auswertung zeigte hierbei andere Ergebnisse als die bisherige Literatur, die vor allem die ständische Abgrenzung in den Mittelpunkt rückte. Klare Grenzziehungen konnten nicht nachgewiesen werden, und auch die Zugehörigkeit zu einer der drei Gruppen (Führungsschicht, Bürger, Inwohner) bildete lediglich ein Strukturmerkmal der Texte.

Allerdings hatte die Standeszugehörigkeit im spätmittelalterlichen Weltbild eine weitere, wichtige Funktion: Sie war ein zentraler Aspekt der ‚guten Ordnung‘ – der von Gott vorgegebenen Gesellschaftsstruktur. Da Religion und Recht zu dieser Zeit noch eine Einheit bildeten und Religion den Alltag in weiten Bereichen bestimmte, verwundert es nicht, dass religiöse Überlegungen auch in Gesetzen zum sozialen Zusammenleben nachweisbar sind. Das ist bereits an den Vorworten der Kleiderordnungen zu erkennen, die sich ausführlich der ‚guten Ordnung‘ und der Einhaltung eines gottgefälligen Lebensstils widmen, aber bisher nicht näher untersucht wurden. Deutlich tritt in den Gesetzen dieser Aspekt als zentrale Motivation der Gesetz-

geber hervor. Der Stand war dabei nur insofern wichtig, als dass für jede Gruppe ein unterschiedliches Maß an Kleidungsluxus angemessen war. Erst der Übertritt galt als Hoffart (Hochmut) und somit als Todsünde.

Dieses Fehlverhalten wurde jedoch nicht wie heute als individuelles Problem gewertet. Vielmehr wirkte es sich auf die gesamte Stadtgemeinde aus und konnte in den Augen der Zeitgenossen den Zorn Gottes heraufbeschwören, der sich in Naturkatastrophen, Krankheiten oder Kriegen äußerte. Da es an diesen Erscheinungen im Untersuchungszeitraum nicht mangelte, fühlten sich die Gesetzgeber verpflichtet, zum Schutz der Gemeinschaft regulierend einzugreifen: Die Kleiderordnungen sollten Orientierung geben, was als gottgefällig und damit ungefährlich zu verstehen war. In ihrer Ausrichtung stehen die Kleiderordnungen damit in thematischer Nähe zu den beliebten Auftritten von Bußpredigern, die ebenfalls vor den drastischen Folgen eines sündhaften Lebenswandels warnten [2].



2 Auch Prediger verurteilten das sündhafte Verhalten in den Städten und forderten die Verbrennung von hoffärtiger Kleidung und Glücksspielen (Der Bußprediger Johannes Capistranus. Bamberg, Flügelaltar um 1465–1475. Museen der Stadt Bamberg, Inv. Nr. 62).



**3 und 4** Frau in einem der Kleiderordnung entsprechend ausgeschnittenem Kleid und Frau mit einem für die Zeit überzeichneten Ausschnitt mit viel zu tiefem Einblick. (Martin Schongauer: Die zweite kluge Jungfrau; Törichte Jungfrau im Halbporträt, beide vor 1483).

### Unsittliche Kleidung und übermäßige Verhüllung

Aufgrund dieser engen Verbindung zur Religion verfassten die Ratsherren auch zahlreiche sittliche Regelungen. Die ständische Differenzierung trat im Fall dieser Missstände komplett in den Hintergrund und regulierte alle Bewohner gleichermaßen. Vor allem zwei Themen standen im Fokus der Aufmerksamkeit: das weibliche Dekolletée und die männlichen Hosenlätze.

Die Ausschnitte an den Frauenkleidern waren am Ende des Mittelalters an der Vorder- und Rückseite tiefer geworden. Als sittlich angemessen galt nur ein kleiner Ausschnitt von ein oder zwei Fingerbreit unter dem Schlüsselbein, sowie das vollständige Schließen der Kleider an der Front. Dabei ging es allerdings nur um die Sichtbarkeit nackter Haut, denn gegen die zu dieser Zeit äußerst enganliegenden Kleider, die die weiblichen Rundungen erkennen ließen, gingen die Gesetzgeber nie vor **[3 und 4]**.

Bei den Männern war dagegen bereits die Sichtbarkeit der Hosen und besonders des Hosenlätze ein Problem. Die immer kürzere Oberbekleidung verdeckte sie zunehmend schlechter. Die Nürnberger Kleiderordnung thematisiert diesen Wandel und erlaubt Oberteile, die nur noch bis zur Mitte des Oberschenkels reichen, nachdem die knielange Oberbekleidung „nach gemeinem weltlawff dieser Zeyt nyt syttlich oder gewonlich ist“ **[5]**.

Doch nicht nur die übermäßige Sichtbarkeit von Körperregionen konnte ein Problem darstellen. Auch die übermäßige Verhüllung sprach Gesetzgeber bereits am Ende des Mittelalters an. Besonders kurios erscheint hierbei Nürnberg. Dort verboten sie den Frauen, Tischtücher oder Schürzen als Kopfbedeckung zu benutzen und sich damit unkenntlich zu machen. Sittliches Kleidungsverhalten umfasste somit mehr als nur die Bedeckung des Körpers – sie musste auch angemessen sein. Damit wurde auch im Spätmittelalter bereits ein ‚Verhüllungsverbot‘ ausgesprochen. Dies zeigt, dass trotz der anders gestalteten Kleidung die dahinterstehenden gesellschaftlichen Kleiderfragen bis heute aktuell bleiben.

Häufig diskutierten Forscher die Frage nach der Umsetzbarkeit der Kleiderordnungen. Da die Texte oft erneuert wurden und der nur rudimentär ausgebildete Behördenapparat der Zeit eine strikte Verfolgung kaum leisten konnte, erschien eine konsequente Strafverfolgung unmöglich. Leider folgte daraus, dass die Kleiderordnungen oft als weitgehend wirkungslos abgewertet wurden.

Die stetige Erneuerung lässt sich allerdings durch die nötige Anpassung an die wandelnde Mode erklären. Die Texte kritisierten dabei zunächst die Veränderung etablierter Kleidungsgehnheiten: Mode erschien als etwas, das möglichst vermieden werden sollte. Da sich die Entwicklung

jedoch nicht aufhalten ließ, machten die Gesetzgeber sukzessiv Zugeständnisse an die Bevölkerung. Damit zeigen die Kleiderordnungen deutlich den stetigen Aushandlungsprozess, der sich auf geltende Werte und Moralvorstellungen stützte.

Auch der Aspekt der fehlenden Strafverfolgung erscheint verständlich, wenn die Motivation nicht nur als Ständedenken behandelt wird: In den Texten diente die drohende Gefahr göttlichen Zorns oft als Rechtfertigung für einzelne Verordnungen. Während hoffärtiges Verhalten und zu modische Kleidung kritisiert wurden, sollte der Einzelne durch die zahlreichen konkreten Vorgaben Orientierung in seiner Kleiderwahl erhalten. Damit lag die Kontrolle nicht bei den Behörden, sondern vorwiegend bei den Bewohnern und der Gemeinschaft. Die Frage, ob die Gesetze wirkungslos waren, kann damit nicht anhand einer fehlenden Bestrafung beantwortet werden. Vielmehr ist die Bedeutung der Kleiderordnungen neu zu diskutieren, da sie weniger ein Sozialgesetz im modernen Sinn darstellten als einen gesetzlichen Versuch, religiöse Vorstellungen umzusetzen. Ihr Ziel war es, hierdurch die Gemeinschaft vor einer als real empfundenen Bedrohung durch göttlichen Zorn zu schützen.

Die Kleiderordnungen ermöglichten damit durch die zahlreichen kleinteiligen Begrenzungen und Begründungen ein Verständnis der kulturellen Ordnungssysteme ihrer Zeit. Aus obrigkeitlicher Perspektive



5 Männer in kurzer Oberbekleidung und modischem Kurzmantel. Gegen diese Kleidungsstücke versuchten die Kleiderordnungen einzuschreiten, da beim Tragen der Hosenlatz sichtbar werden konnte (Detail aus: Mittelalterliches Hausbuch von Schloss Wolfegg, fol. 15r, Venus).

wurden anhand der Kleidung und Materialien zahlreiche Aspekte des Zusammenlebens thematisiert: Hierzu zählen neben der

Personenstruktur auch Ordnungssysteme hinsichtlich der Materialien, der Kleidung und des Schmucks. Diese erweiterten die

Gesetzgeber um Wertvorstellungen aus dem sittlich-moralischen Bereich, Distinktionsbestrebungen, Motivationen sowie Aushandlungsprozesse zwischen Kontinuität und Wandel. Gerade die weitreichende Bedeutung von religiösen Vorstellungen zeichnete sich deutlich in den Quellen und den behandelten Aspekten ab und wurde bisher zu wenig beachtet.

Damit bieten die Kleiderordnungen noch großes Potential zur Erforschung der kulturellen Ordnungssysteme und der Gesellschaften, in denen sie entstanden. Wer sich dabei nur auf die Vergangenheit bezieht, greift zu kurz: Wenn auch heute (fast) keine Gesetze mehr vorschreiben, was der Einzelne tragen darf, so sind wir dennoch eingebunden in ein enges Netz an kulturellen Ordnungen. Die Frage nach der Wahl des angemessenen Gewandes kann auch hier spannende Einblicke in unsere geltenden Wertvorstellungen geben.

## Literatur

Martin Dinges, Von der „Lesbarkeit der Welt“ zum universalisierten Wandel durch individuelle Strategien. Die soziale Funktion der Kleidung in der höfischen Gesellschaft. *Saeculum. Jahrbuch für Universalgeschichte* 44 (1993), S. 90–112.

Jan Keupp, Die Wahl des Gewandes. Mode, Macht und Möglichkeitssinn in Gesellschaft und Politik des Mittelalters (*Mittelalter-Forschungen*, 33). Ostfildern: Jan Thorbecke Verlag, 2010.

Jan Keupp, Mode im Mittelalter. Darmstadt: Primus Verlag, 2011.

Jutta Zander-Seidel, Textiler Hausrat. Kleidung und Haustextilien in Nürnberg von 1500–1650 (*Kunstwissenschaftliche Studien*, 59). München: Deutscher Kunstverlag, 1990.

Philipp Zitzlsperger, Dürers Pelz und das Recht im Bild. Kleiderkunde als Methode der Kunstgeschichte. Berlin: Akademie Verlag, 2008.



© Universität Regensburg

**Melanie Burgemeister** M.A., geb. 1983 in Regensburg. Studium der Vergleichenden Kulturwissenschaft und Geschichte (B.A.) und der Vergleichenden Kulturwissenschaft und der kulturgeschichtlichen Mittelalterstudien (M.A.) an der Universität Regensburg. Promotion an der Universität Regensburg (Abschluss voraussichtlich Ende 2017). Auslandsstudium von 2010–2011 an der Universidade de Santiago de Compostela (Spanien).

**Forschungsschwerpunkte:** Historische Kleidungsforschung, Textedition historischer Handschriften, Zunft- und Handwerksforschung, Alltagsforschung.



# Kommunistenprozesse

## Politische Justiz in der Bundesrepublik der 1950er Jahre

Martin Löhnig

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich zum 30. August 1951 ein Staatsschutzstrafrecht gegeben, §§ 80 ff. StGB; dies geschah ersichtlich vor dem Hintergrund eines vorherrschenden Gefühls akuter Bedrohung durch den Kommunismus. Das Vorgängerrecht, die 1934 erlassenen Bestimmungen zum Schutz des nationalsozialistischen Staates, war durch das Kontrollratsgesetz Nr. 1 vom 20. September 1945 aufgehoben worden. Regelungen zum strafrechtlichen Schutz von Staat und Verfassung gehören ganz selbstverständlich zum Normenbestand jedes Staates. Zumal zum Normenbestand einer wehrhaften Demokratie, die diese zweite deutsche Republik nach den Erfahrungen der Weimarer Jahre sein wollte. Allerdings bergen solche Regelungen stets auch Gefahren. Denn sie ermöglichen auch politische Justiz in dem Sinne, dass die regierende Mehrheit politische Dissidenz oder Gegnerschaft zum Verbrechen stempeln und auf diese Weise die Meinungskonkurrenz im gesellschaftspolitischen Diskurs beeinflussen kann.

### Wehrhafte Demokratie oder Kampf gegen Dissidenten?

Die Gefahr einer Kriminalisierung abweichender Vorstellungen bestand durchaus. §§ 80 ff. StGB waren darauf angelegt, den strafrechtlichen Schutz des Staates über die klassischen Tatbestände des Hoch- und Landesverrates hinaus möglichst weit vorzulegen. Eine Vielzahl von Formen poli-

tischer Betätigung wurde unter Strafe gestellt, deren Eignung zur Gefährdung des Staates nicht ohne Weiteres einleuchtet. Der höchstrichterlichen Rechtsprechung auf diesem Feld bescheinigt Friedrich-Christian Schroeder, der Entstehung und Wurzeln des Staatsschutzrechts in seinem 1970 erschienenen Standardwerk „Der Schutz von Staat und Verfassung im Strafrecht“ untersucht hat, überdies „bedenkliche Willkür“. Sie unternehme eine noch weitergehende Ausdehnung der Strafbarkeit und die Ersetzung klarer Rechtsbegriffe durch unscharfe Begriffe mit diffamierendem Beigeschmack wie Wühlarbeit, Hetze, Hetzschrift, Unterwanderungsarbeit oder Zersetzung.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage: Sind §§ 80 ff. StGB nur zur Bekämpfung von Bestrebungen, die zur Beseitigung der bestehenden Verfassungsordnung führen sollten, eingesetzt worden oder auch zur bewussten Kriminalisierung Oppositioneller. Diese Frage liegt vor allem deshalb nahe, weil die junge Bundesrepublik der Adenauerzeit von erheblichen politischen Meinungskämpfen geprägt war. Diese betrafen vor dem Hintergrund des beginnenden Kalten Krieges und der Systemkonkurrenz Fragen der Grundausrichtung des neuen Staates: Marktwirtschaft oder Sozialisierung von Unternehmen? Westbindung oder Wiedervereinigung in Neutralität? Wiederbewaffnung und atomare Aufrüstung oder Neutralität ohne Armee? Überdies wird die Justizpraxis der Adenauer-Zeit nicht selten implizit als „auf dem rechten Auge blind“ charakterisiert, schon allein deshalb, weil ein Großteil der Richter bereits vor 1945 tätig gewesen war. Man habe einseitig die Verfolgung von Kommu-

nisten und anderen linken Oppositionellen betrieben. Alte wie neue Nazis hingegen habe man laufen lassen und allenfalls allzu dreiste und offensichtliche neonazistische Bestrebungen verfolgt. In den Blick geraten somit Wechselwirkungen zwischen Justizpraxis und politischen Ereignissen und die Frage nach der Anfälligkeit der Justiz, sich zur Durchsetzung politischer Zielsetzungen instrumentalisieren zu lassen.

Diese Frage kann nur durch eine Analyse von untergerichtlichen und nicht zur Veröffentlichung bestimmten Gerichtsakten beantwortet werden. Aus diesen Akten lassen sich auch Rückschlüsse auf die Verfahrensbeteiligten ziehen: Was waren das für Menschen, die sich vor Gericht zu verantworten hatten? Was haben sie getan und auf welche Weise versuchten sie, das ihnen zur Last gelegte Handeln zu rechtfertigen? Wie bewerteten die Richter die politischen Motive und Biographien der Angeklagten, vor allem im Rahmen der Strafzumessung? Welcher Sprache bedienen sich Gerichte? Trotzdem ist diese rechtspraktische Seite des Staatsschutzstrafrechts in der Frühzeit der Bundesrepublik Deutschland jedoch bislang nur recht unvollständig untersucht worden.

### Normbestand und zuständige Gerichte

Einige Worte zum Normbestand: Das Staatsschutzstrafrecht zerfällt in die Abschnitte Hochverrat, Staatsgefährdung und Landesverrat. Im Bereich des Hochverrates, §§ 80 ff. StGB, werden Vorbereitung und Versuch eines gewaltsamen Umsturzes



1 Frontansicht des Landgerichts Nürnberg-Fürth. Quelle: Magnus Gertkemper, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Justizpalast\\_mitte\\_cr.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Justizpalast_mitte_cr.jpg)

oder die Einverleibung von Staatsgebiet in einen fremden Staat, § 81 StGB, unter Strafdrohung gestellt. Eine weitere Strafdrohung schützt den Bundespräsidenten als Staatsoberhaupt vor Angriffen auf Leib, Leben und Funktionsfähigkeit seines Amtes, § 83 StGB. Eine erhebliche Ausweitung der Strafbarkeit ergibt sich aus § 84 StGB. Er bedroht jeden, der „Schriften, Schallaufnahmen, Abbildungen oder Darstellungen, deren Inhalt den äußeren Tatbestand der §§ 80, 81 oder 83 erfüllt, herausgibt, herstellt, verbreitet oder zum Zwecke der Verbreitung vorrätig hält“ oder „Äußerungen oder Darstellungen solchen Inhalts durch Film, Funk oder sonst durch technische Vielfältigung verbreitet“, obwohl er deren hochverräterischen Inhalt hätte erkennen müssen mit Strafe. Unter Staatsgefährdung, §§ 88 ff. StGB, versteht das Staatsschutzstrafrecht eine Handlung, die „darauf hinzielt, die Bundesrepublik Deutschland ganz oder teilweise unter fremde Botmäßigkeit zu bringen“, § 88 Abs. 1 StGB. Zugleich dient dieser Abschnitt dem Schutz essentieller Verfassungsgrundsätze, nämlich

- „1. das Recht des Volkes, die Staatsgewalt in Wahlen und Abstimmungen und durch besondere Organe der Gesetzgebung, der vollziehenden Gewalt und der Rechtsprechung auszuüben und die Volksvertretung in allgemeiner, unmittelbarer, freier, gleicher und geheimer Wahl zu wählen,
2. die Bindung der Gesetzgebung an die verfassungsmäßige Ordnung und die

Bindung der vollziehenden Gewalt und der Rechtsprechung an Gesetz und Recht,

3. das Recht auf die verfassungsmäßige Bildung und Ausübung einer parlamentarischen Opposition,
4. die parlamentarische Verantwortlichkeit der Regierung,
5. die Unabhängigkeit der Gerichte,
6. der Ausschluß jeder Gewalt- und Willkürherrschaft“, § 88 Abs. 2 StGB.

Mögliche Tathandlungen sind

- „Mißbrauch oder Anmaßung von Hoheitsbefugnissen“, § 89 StGB,
- Außer Tätigkeit setzen von Einrichtungen der Daseinsvorsorge im Hinblick auf Ziele gemäß § 88 StGB,
- Gründung einer Vereinigung, „deren Zwecke oder deren Tätigkeit sich gegen die verfassungsmäßige Ordnung oder gegen den Gedanken der Völkerverständigung richten“, Förderung einer solchen Vereinigung „als Rädelführer oder Hintermann“, § 90a StGB,
- Zielgerichtetes Einwirken auf „Angehörige einer Behörde oder eines öffentlichen Sicherheitsorgans“, § 91 StGB,
- Nachrichtendienstliche Tätigkeiten, § 92 StGB,
- Einführen entsprechender „Schriften, Schallaufnahmen, Abbildungen oder Darstellungen“ zum Zwecke der Verbreitung, § 93 StGB,
- Verunglimpfung des Bundespräsidenten, § 95 StGB, des Staats und seiner

Symbole, § 96 StGB, oder eines Staatsorgans, § 97 StGB.

Der Abschnitt über Landesverrat, §§ 99 ff. StGB, stellt nachrichtendienstliche Tätigkeiten im Hinblick auf Staatsgeheimnisse, nämlich „Tatsachen, Gegenstände oder Erkenntnisse, insbesondere Schriften, Zeichnungen, Modelle oder Formeln, oder Nachrichten darüber, deren Geheimhaltung vor einer fremden Regierung für das Wohl der Bundesrepublik Deutschland oder eines ihrer Länder erforderlich ist“, § 99 Abs. 1 StGB, unter Strafe.

Der Bundesgerichtshof war erst- und letztinstanzliches Staatsschutzgericht für die in §§ 80–83, 89, 100–100f StGB geregelten schweren Staatsschutzdelikte. Für die Aburteilung von Verstößen gegen §§ 84, 90–97 StGB war eine Strafkammer am Landgericht erstinstanzlich zuständig, § 74a GVG. Sie wurde als sogenannte Staatsschutzkammer tätig. Eine solche war bei jedem Landgericht, in dessen Bezirk ein Oberlandesgericht seinen Sitz hat, zu errichten. Diese Zuständigkeitskonzentration bei der Strafkammer eines Landgerichts pro OLG-Bezirk wurde damit begründet, dass die Bearbeitung der Staatsschutzdelikte „einen gewissen Überblick über die gesamten verfassungsfeindlichen Bestrebungen und ihre Verflechtung“ erfordere. Es gelte „die überörtlichen Zusammenhänge, die einheitlichen Methoden und nach Möglichkeit die eigentlichen Drahtzieher zu erkennen“. Zugleich bleibe auf diese Weise die Mitwirkung der Laien er-

halten. Die Staatsschutzkammern waren nämlich Große Strafkammern, welche mit drei Berufsrichtern und zwei Schöffen besetzt sind.

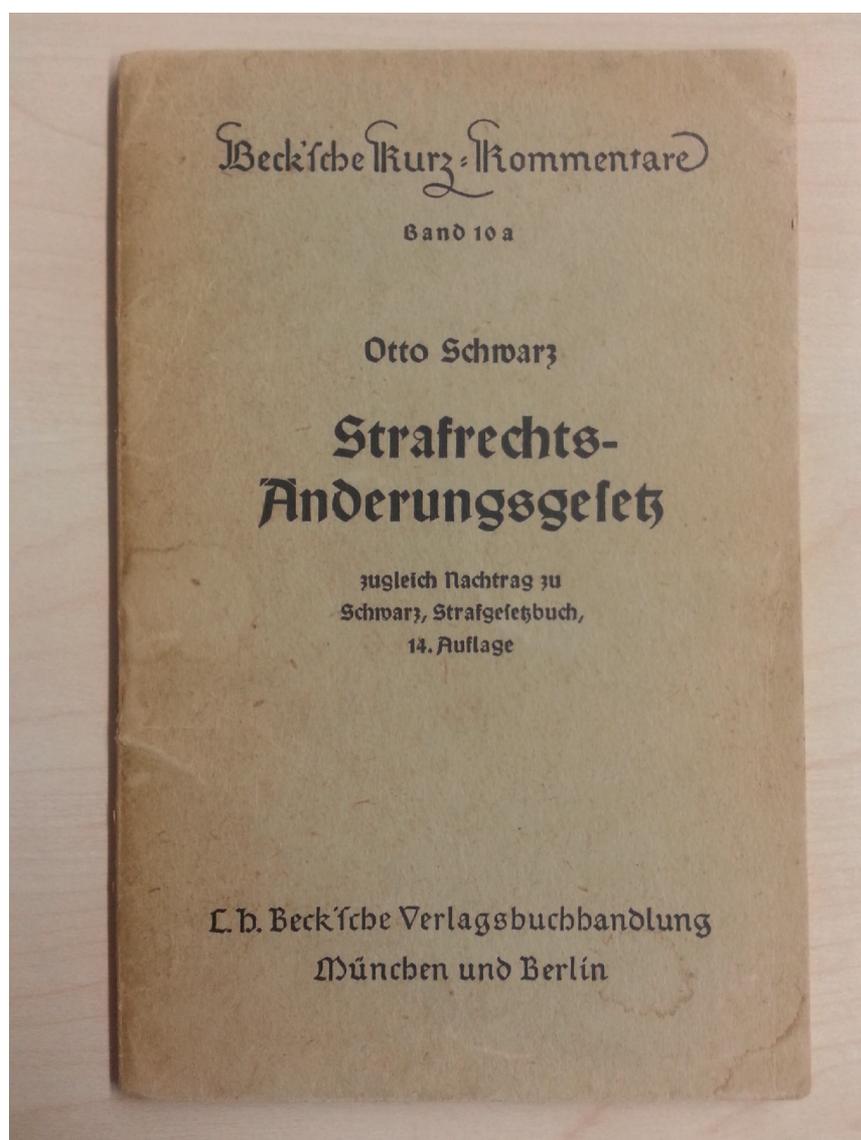
### Einige exemplarische Fälle

Grundlage der folgenden Ausführungen, die einen Einblick in das gerade laufende Forschungsprojekt geben soll, ist eine Analyse des Gesamtbestands der Akten zu den Verfahren vor der Staatsschutzkammer am Landgericht Nürnberg-Fürth aus den Jahren 1952 und 1953. Gerade die Anfangsjahre – es sei an die Entstehung des Staatsschutzrechts vor dem Hintergrund eines vorherrschenden Gefühls akuter Bedrohung durch den Kommunismus erinnert – erscheinen besonders aufschlussreich. Die Stadt Nürnberg ist für eine solche Analyse als traditionell links regierte Arbeiterstadt gut geeignet. Die KPD war bis zu ihrem Verbot im Jahre 1956, in dessen Zuge die gewählten Stadträte ihre Stadtratsmandate verloren, in Fraktionsstärke im Nürnberger Stadtrat vertreten.

Als Staatsschutzkammer war am Landgericht Nürnberg-Fürth die II. Große Strafkammer tätig. Schöffen waren in den Verfahren mit Aktenzeichen aus den Jahren 1952/53 größtenteils Landwirte, Handwerker oder Arbeiter, die zum Teil aus Nürnberg, zum Teil aus Dörfern im Umland Nürnbergs stammten. Keiner der Schöffen wirkte an mehr als einem Verfahren mit. Es waren insgesamt acht verschiedene Berufsrichter als Beisitzer in der Staatsschutzkammer tätig, vom Gerichtsassessor bis zum Landgerichtsrat. Der Vorsitz der Kammer, der jeweils vom Landgerichtsdirektor wahrgenommen wurde, wechselte im Berichtszeitraum, sodass jeweils etwa die Hälfte der Akten auf jeden der beiden Vorsitzenden entfallen.

### Einziehung von Schriften

Nicht wenige Verfahren des Nürnberger Aktenbestandes behandeln die Einziehung von Schriftstücken. In einem Verfahren wurden beispielsweise ein Aufruf des Zentralrats der FDJ sowie eine Druckschrift „Deutschlandnote der UdSSR“ eingezogen. Das Gericht bezeichnete den angeklagten Mechaniker, dem die Schriften aus der DDR übersandt worden waren, als „rühriges Mitglieder [sic!] der KPD“. Entgegen dem Antrag der Staatsanwaltschaft nicht



2 Strafrechtsänderungsgesetz vom 30. August 1951 zur Einfügung eines Staatsschutzstrafrechts (Ihre eigene Abbildung)

eingezogen hat das Gericht dagegen mehrere Ausgaben der regelmäßig in einem Exemplar aus der DDR an den Angeklagten übersandten Zeitung „Neues Deutschland“, weil bei der Übersendung nur eines Exemplars nicht angenommen werden könne, dass mit der Einfuhr eine „Verbreitung“ beabsichtigt gewesen sei. Der Oberstaatsanwalt legte gegen das Urteil Revision ein: „Jede Einführung dieser Zeitung in die Bundesrepublik geschieht zum Zwecke ihrer Verbreitung und in der Annahme, daß der 1. Empfänger dieser Zeitung diese nach Kenntnisnahme an Freunde und Bekannte weitergeben wird.“ Ob und wie über die Revision letztlich entschieden wurde, ist aus der Akte leider nicht ersichtlich.

Weitere Verfahren zeigen, dass die Einziehung von aus der DDR übersandten politischen Schriften mehr und mehr Routine

wurde; der staatsanwaltschaftliche Antrag erfolgte inzwischen auf einem Formular, in das nur noch Datum und Titel der einzuziehenden Schriften eingetragen werden mussten. Dabei handelt es sich – wir befinden uns inzwischen in der zweiten Hälfte des Jahres 1953 – vor allem um Schriften, die zum 17. Juni 1953 Stellung nehmen und die Bundesregierung für den Volksaufstand in der DDR verantwortlich machen. Diese verfolge das Ziel, „die Regierung in Ostberlin zu stürzen, eine faschistische Macht zu errichten und Deutschland zum 2. Korea zu machen“. Urheber derartiger Druckschriften war beispielsweise die „Gesellschaft für deutsch-sowjetische Freundschaft“, welche durch Beschluss des Bayerischen Ministerrats vom 13. Januar 1953 verboten worden war. Bei dieser Gesellschaft handelte es sich um eine DDR-Mas-

senorganisation, die unter anderem mit erheblichem Aufwand politische Propaganda auch in der Bundesrepublik Deutschland zu betreiben versuchte.

## Verteilung von Schriften

Wurden einschlägige Druckerzeugnisse nicht zuvor beschlagnahmt und eingezogen, kamen sie zur Verteilung. In den meisten der überlieferten Verfahren treten deshalb Verteiler von Flugschriften als Angeklagte auf. Ein aufgrund Invaldität verrentetes ehemaliges Mitglied der KPD beispielsweise hatte am 2. Dezember 1952 an die Betriebsangehörigen des Kugellagerherstellers GMN Georg Müller Nürnberg AG („Kugelmüller“) in Nürnberg Flugblätter verteilt, welche die Überschrift trugen „Alarm, Arbeiter, heraus aus den Betrieben!“. Das Flugblatt richtete sich gegen die Ratifizierung des sogenannten Generalvertrags (Vertrag über die Beziehungen zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Drei Mächten vom 26. Mai 1952) zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den drei westlichen Besatzungsmächten, welcher das sogenannte Besatzungsstatut ablöste. Die Arbeiter wurden dazu aufgerufen, die Ratifizierung durch Massenstreiks und Protestkundgebungen zu verhindern. „Durch die Proklamierung von Massenstreiks wird Adenauer dasselbe Schicksal erleiden, wie 1920 Kapp, der eine Militärdiktatur errichten wollte und innerhalb 3 Tagen [sic!] durch den Generalstreik verjagt wurde.“ Das LG Nürnberg-Fürth verurteilte den nicht vorbestraften Angeklagten wegen erfolgloser Anstiftung zu staatsgefährdender Sabotage, §§ 90 Abs. 1 und 3, 49a Abs. 3 StGB, zu einer Haftstrafe von 20 Tagen, welche in eine ratenweise zu begleichende Geldstrafe von 60,- DM umgewandelt wurde, weil der Strafzweck auch hierdurch erreicht werden könne. Es lässt sich hier schwerlich von der Unterdrückung abweichender politischer Auffassungen im Rahmen der Auseinandersetzungen um den genannten Vertrag mit Hilfe des Strafrechts sprechen. Denn die Werbung für diese Auffassungen war zugleich mit einer unverblühten Aufforderung zum Sturz des (mit dem antirepublikanischen Putschisten Kapp verglichenen) demokratisch legitimierten Bundeskanzlers ohne Einhaltung verfassungsgemäßer Verfahren, also mit einer klaren Aufforderung zum Umsturz der Verfassungsordnung, verbunden.

Gleiches gilt für ein vom ersten Sekretär der KPD Ortsgruppe Schwabach bei Nürnberg verfasstes Flugblatt, das er in 700 Exemplaren vervielfältigt und verteilt hatte. Der Angeklagte zeigte in seinem Flugblatt den Arbeitern die Möglichkeit eines Generalstreiks mit dem Ziel des Sturzes der Bundesregierung auf. Die Cuno-Regierung sei 1923 auf diese Weise zum Rücktritt gezwungen worden. „Auch die Adenauer-Regierung lebte keine 24 Stunden mehr, wenn die Arbeiter Westdeutschlands den Generalkriegsvertrag mit dem Generalstreik beantworten würden“. Das Gericht interpretierte diese Äußerungen als Aufforderung zum Generalstreik, hielt dem nicht vorbestraften Angeklagten jedoch zugute, dass er „aus ehrlicher politischer Überzeugung gehandelt“ habe. Das Strafmaß lautete Geldstrafe von 30 Tagessätzen wegen



Aufforderung zu staatsgefährdender Sabotage, §§ 90 Abs. 1 und 3, 49a StGB.

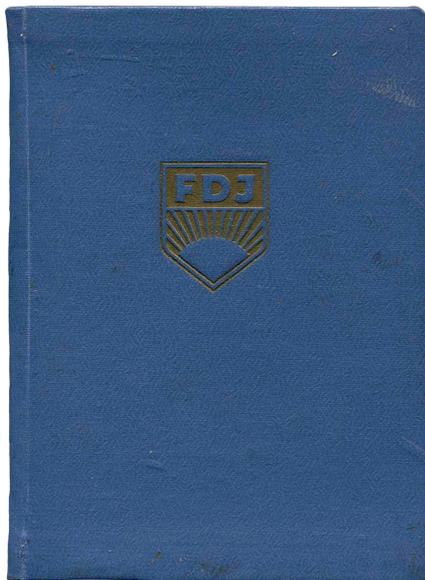
Geschickter formuliert waren die Flugblätter, welche der Organisationsleiter der KPD in Erlangen vor dem dortigen Arbeitsamt verteilt hatte. Der „Offene Brief“ des Zentralkomitees der SED rief zum „kompromißlosen Kampf“ für den Sturz des „imperialistischen Adenauer-Regimes“ auf. Das Gericht sprach den Angeklagten frei, weil nicht zweifelfrei feststehe, dass der „Offene Brief“ landesverräterischen Inhalt habe. Die Aufforderung zum kompromisslosen Kampf sei nicht notwendig eine Aufforderung zum gewaltsamen Umsturz. Vielfach werde von einem „Sturz“ schon dann gesprochen, wenn es lediglich darum gehe, einen Regierungswechsel mit verfassungsmäßigen Mitteln zu erkämpfen. Auch wenn die Verfasser des Flugblattes einen gewaltsamen Umsturz im Auge gehabt hätten, habe der Angeklagte dies nicht so interpretieren müssen, weil er die

Flugblätter von der Landesleitung der KPD erhalten habe, welche als legale Partei anerkannt sei.

In einem weiteren Verfahren wurden Arbeiter nach § 97 StGB angeklagt, die der KPD nahestanden und eine Werbeaktion für den Verlag der Kommunistischen Parteizeitung „Bayerisches Volksecho“ durchgeführt hatten. Dabei hatten sie zudem Flugblätter verteilt, auf denen gegen den „Generalvertrag“ argumentiert wurde und auf denen beispielsweise gefordert wurde: Die „kriegslüsterne Adenauer-Regierung“ stehe der Wiedervereinigung im Wege, „sie muß fallen, wenn Deutschland leben soll“. Eine Ermächtigung Adenauers nach § 97 Abs. 2 StGB lag vor – ohne Ermächtigung des Betroffenen fand eine Strafverfolgung nicht statt. Derartige Ermächtigungen wurden in den ersten Jahren der Bundesrepublik Deutschland zu hunderten erteilt und betrafen vielfach Äußerungen, die – gemessen am gegenwärtigen Stil politischer Auseinandersetzung – nachgerade harmlos anmuten; es bleibt deshalb zu untersuchen, inwieweit § 97 StGB gerade auch als Mittel gegen missliebige Publizistik eingesetzt worden ist. Auf der anderen Seite darf nicht übersehen werden, dass Repräsentanten der Weimarer Republik heftigen Verunglimpfungen durch links- und vor allem rechtsradikale Kräfte schutzlos ausgeliefert waren, allen voran Reichspräsident Ebert, und Adenauer das politische Klima dieser Zeit nur allzu gut kannte. Das Landgericht sah jedoch keine staatsgefährdende Absicht: Die KPD, die das Flugblatt herausgegeben hatte, „gilt heute noch als legale Partei“, also könne nicht davon ausgegangen werden, dass sie Bestrebungen nach § 97 StGB fördert. Der Inhalt spreche nicht notwendig für eine Aufforderung zum gewaltsamen Regimewechsel.

## Verfahren gegen Funktionäre

In den Verfahren vor dem LG Nürnberg-Fürth begegnen uns nicht nur Sympathisanten oder einfache Parteimitglieder, sondern zuweilen auch hauptamtliche Mitarbeiter, also Funktionäre. Ein 21. Angeklagter wurde als Rädelführer einer kriminellen Vereinigung zu vier Monaten Haft verurteilt. Er habe nach einem Schulungslehrgang in der SBZ eine Tätigkeit als FDJ-Funktionär „an führender Stelle“ ausgeübt. Welche genau, blieb unklar, weil die Struktur der verbotenen FDJ nicht offenlag; als Indizien dienten massenhaf-



3 Mitgliedsausweis des Kommunistischen Jugendverband „Freie Deutsche Jugend“, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDJ-Mitgliedsausweis\\_1948.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDJ-Mitgliedsausweis_1948.jpg).

tes Propagandamaterial und eine teure DB-Netzkarte, die bei dem Angeklagten gefunden worden waren; der Angeklagte selbst hat dementsprechend nur die Mitgliedschaft in der FDJ trotz Kenntnis des Verbots eingeräumt. Das Landgericht führte aus, dass die Tätigkeit der FDJ auf „Ersatz der verfassungsmäßigen Ordnung durch die Diktatur des Proletariats“ und auf die Begehung strafbarer Handlungen gerichtet sei, wie sich an nicht wegwischtbaren Parolen an zahlreichen Wänden, Verleumdungen führender Persönlichkeiten oder Druckschriften ohne Impressum zeige. § 94 StGB habe der Angeklagte allerdings nicht verwirklicht. Zwar seien ihm die Bestrebungen der FDJ bekannt gewesen, es lasse sich aber nicht eindeutig feststellen, dass er auch bewusst darauf hingearbeitet habe, den Bestand der Bundesrepublik Deutschland zu beeinträchtigen, einen der in § 88 StGB bezeichneten Verfassungsgrundsätze zu beseitigen, außer Geltung zu setzen oder zu untergraben oder eine solche Bestrebungen zu fördern. Es sei auch denkbar, dass der erwerbslose Angeklagte aufgrund wirtschaftlicher Vorteile oder Geltungsbedürfnis gehandelt habe. „Seine Jugend spricht dafür, dass der Reiz des Verbotenen für ihn eine große Rolle gespielt hat, wie das bei jungen Menschen öfters der Fall zu sein pflegt. Die wohltonenden und besonders junge Menschen irreführenden Parolen der FDJ mögen ebenfalls verwirrend auf ihn gewirkt haben.“ Bei der Strafzumessung berücksichtigte das Gericht zugunsten des Angeklagten, dass er

nur drei Monate Rädelführer gewesen sei und schon aufgrund seiner Jugend kein kritisches Urteilsvermögen besitze, weshalb er habe in die Irre geführt werden können. Deshalb – obwohl dies nach § 129 Abs. 2 StGB möglich war – verhängte das Gericht keine Zuchthausstrafe. Andererseits sei er einsichtsunfähig gewesen, weshalb es einer fühlbaren Strafe bedürfe, um ihm das Unrecht seines Handelns deutlich zum Bewusstsein zu bringen; allerdings wurde ihm wiederum die U-Haft mit 80 Tagen angerechnet, so dass er bereits am 22. Februar 1953 aus der Haft entlassen werden konnte.

Nicht nur der Reiz des Verbotenen spielte eine Rolle, sondern auch der Reiz, eine Abkürzung zum guten Leben nehmen zu können. Ein 20-jähriger Angeklagter wurde zu vier Monaten und drei Wochen Haft verurteilt, welche er durch die U-Haft allerdings bereits verbüßt hatte, so dass er am Tag der Urteilsverkündung entlassen wurde. Als Kaufmannskind hatte er wegen wirtschaftlicher Schwierigkeiten der Eltern die Oberschule verlassen müssen. Aus einer kaufmännischen Lehre wurde er wegen „Unregelmäßigkeiten“ entlassen; das Register wies eine Vorstrafe wegen Diebstahls auf. Kurze Zeit später wurde er hauptamtlich für die FDJ tätig; plötzlich hatte er einen PKW und viel Geld für sich selbst und zum Agitieren zur Verfügung. Und agitieren konnte er offenbar recht gut: In Weiden und Mitteteich gründete er erfolgreich FDJ-Tarngruppen bzw. Ortsgruppen und begann die Gewerkschaft im Be-

reich der Porzellanindustrie zu infiltrieren. Er übernahm vertrauliche Kurierdienste und bereitete umfangreiche Propagandamaßnahmen bei Siemens und MAN in Nürnberg vor. Das Gericht bescheinigte dem Angeklagten, als Rädelführer „über längere Zeit hinweg und an verschiedenen Einsatzorten geistig eine führende Rolle gespielt“ und dadurch die FDJ in ihren Bestrebungen gegen die Verfassungsordnung gefördert zu haben. Für die Strafzumessung spielten zum einen die lange Dauer und Intensität der Tätigkeit des Angeklagten, der seinen Weg nicht verlassen wolle, eine Rolle, zum anderen, dass er „noch sehr jung und im Leben unerfahren“ sei. „Er wirkt auf das Gericht durchaus nicht unsympatisch (sic) und hat ein klares freimütiges Geständnis abgelegt.“ Er stelle auch keine besondere Gefahr für die öffentliche Ordnung dar und könne jetzt bei seinen Eltern Aufnahme finden.

**Fazit**

Was wissen wir nach dieser ersten Bohrung über die Frühphase der Geltung des neuen Staatsschutzrechts? Zunächst: Es finden sich tatsächlich nur Verfahren mit kommunistischem Hintergrund. Ob die Ermittlungsbehörden auf dem rechten Auge blind waren oder ob es in den Jahren 1952/53 im OLG-Bezirk Nürnberg keine nennenswerten (neo-)nazistischen Umtriebe gab, lässt sich aus den überlieferten Akten der Staatsanwaltschaft nicht erse-

hen. Immerhin wusste der Spiegel im August 1952 zu berichten, „daß die SRP [die Sozialistische Reichspartei als selbsterklärte NSDAP-Nachfolgepartei] auch innerhalb der weiß-blauen Grenzpfähle nun schon auf 88 ländliche Zweigstellen angewachsen ist“. Aber jedenfalls dürften die Nazis keine Flugblätter verteilt haben, um die Arbeiterschaft zu agitieren. Und genau damit beschäftigen sich nahezu alle überlieferten Verfahren: Verbreitung von Flugschriften und entsprechende Vorbereitungsmaßnahmen wie Herstellung und Übersendung an die Verteiler.

Den Angeklagten ist das Landgericht Nürnberg-Fürth offenbar mit großem Augenmaß begegnet. Jedenfalls hat das Gericht, anders als Schroeder dies dem BGH attestierte und anders als dies auch für die zuständige Staatsanwaltschaft als Anklagebehörde aus den Akten deutlich wird, die Normen des Staatsschutzrechts eher zurückhaltend angewendet. Despektierliche Sprache ist dem Gericht nicht vorzuwerfen. Einen Aufruf zum „kompromißlosen Kampf“ in einem KPD- oder FDJ-Flugblatt sah das Gericht zugunsten der Angeklag-

ten „nicht notwendig“ als Aufforderung zum gewaltsamen Umsturz an. Die für eine Strafbarkeit nach § 97 StGB erforderliche „staatsgefährdende Absicht“ nach § 88 StGB konnte das Gericht häufig ebenso wenig erkennen wie die Verunglimpfungsabsicht. Gerade bei der Prüfung des subjektiven Tatbestandes wird deutlich, dass das Gericht die Angeklagten nicht zu großen Staatsfeinden stempeln wollte. Mehrfach ordnete es das Handeln der Angeklagten dementsprechend auch als bloße Beihilfe und nicht als Täterschaft ein. Aufgrund der häufigen Wechsel der personellen Besetzung der Staatsschutzkammer ist nicht davon auszugehen, dass es sich hierbei um eine „Privatrechtsprechung“ einzelner Richter handelt.

Im Bereich der Strafzumessung kommt den aus der Biografie der Angeklagten abgeleiteten Milderungsgründen große Bedeutung zu. Die meisten Angeklagten waren nicht vorbestraft und wurden vom Gericht überdies beispielsweise als noch „sehr junge und im Leben unerfahrene“ verführbare Menschen oder Idealisten (milde Strafen für politische Idealisten ha-

ben eine lange Tradition) bezeichnet, die vielfach „guten Leumund und einen guten Eindruck der Person“ hinterlassen haben. Im Bereich der Strafzwecke wird allein spezialpräventiv gearbeitet und geprüft, ob sich die Täter durch die Strafe von der Begehung weiterer „Dummheiten“ abhalten lassen würden. Es sollten ersichtlich keine Exempel statuiert werden. Vielmehr wollte das Gericht offenbar die Angelegenheit nicht allzu hoch hängen. Die Strafen sollten die Integration der Verurteilten in die neu begründete demokratische Gesellschaft bewirken bzw. deren Integration in staatsfeindliche Netzwerke verhindern.

## Literatur

Ulf Gutfleisch, Staatsschutzrecht in der Bundesrepublik Deutschland 1951–1968, Berlin: Berliner Wissenschafts-Verlag 2014.

Martin Löhnig, Mareike Preisner, Thomas Schlemmer (Hrsg.), Ordnung und Protest. Eine deutsche Protestgeschichte seit 1945. Tübingen: Mohr Siebeck, 2015.

Friedrich-Christian Schroeder, Der Schutz von Staat und Verfassung im Strafrecht, München: C.H. Beck, 1970.



© Universität Regensburg

Prof. Dr. **Martin Löhnig**, geb. 1971 in Nürnberg. Studium der Rechtswissenschaft in Regensburg. Erste Juristische Staatsprüfung 1996. Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Regensburg am Lehrstuhl für Bürgerliches Recht und Privatrechtsgeschichte (Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter Schwab). Assessorexamen 1998. 2001 Promotion mit einer Arbeit zu Rechtsgeschichte und Dogmatik des „Irrtums über Eigenschaften des Vertragspartners“. Habilitation mit der Habilitationsschrift „Treuhand“ 2006 in Regensburg. Seit 2008 Inhaber des Lehrstuhls für Bürgerliches Recht, Deutsche und Europäische Rechtsgeschichte an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Familien- und Erbrecht in dogmatischer, rechtsvergleichender und transdisziplinärer Perspektive sowie Deutsche und Europäische Rechtsgeschichte seit 1750 bzw. Juristische Zeitgeschichte.

# Börsenkurse und Schlachtenglück

## Zur Wahrnehmung des Ersten Weltkriegs durch den Kapitalmarkt

Tobias A. Jopp

Wie lässt sich die in einer größeren Gruppe von Individuen, vielleicht sogar in der gesamten Bevölkerung, vorherrschende Wahrnehmung eines einzelnen Ereignisses oder einer Abfolge von Ereignissen messen, wenn keine modernen Umfragedaten vorliegen? Gerade in der Auseinandersetzung mit in der Vergangenheit weiter zurückliegenden Phänomenen stellt die Unmöglichkeit, Massenumfragen durchzuführen, den Historiker vor echte Herausforderungen. Die im Folgenden vorgestellte Forschungsarbeit unternimmt für die Phase des Ersten Weltkriegs den Versuch, genau dieses Manko an Informationen über die zeitgenössische Wahrnehmung von Ereignissen – Schlachten, Begegnungen, Gesetzen etc. – abzubauen. Es wird darum gehen, wie man aus massenhaft vorliegenden Kapitalmarktdaten – konkret Börsenkursen von Wertpapieren – Aussagen über die Investorenwahrnehmung des Kriegsverlaufs ableiten kann. Auch wenn deren Meinung sicherlich nicht repräsentativ für eine ganze Bevölkerung sein kann, so sollte sie dennoch weniger patriotisch gefärbt und deren Analyse gerade deswegen erhellend sein; an der Börse geht es schließlich ganz nüchtern ums Geldverdienen.

Der Erste Weltkrieg hat zweifelsohne einen langfristig wirksamen Einfluss auf die politische, soziale und wirtschaftliche Sphäre der im engeren Sinne betroffenen, Krieg führenden, aber auch der unbeteiligten Länder gehabt. Das zuvor mühsam ausbalancierte Machtgefüge zwischen den

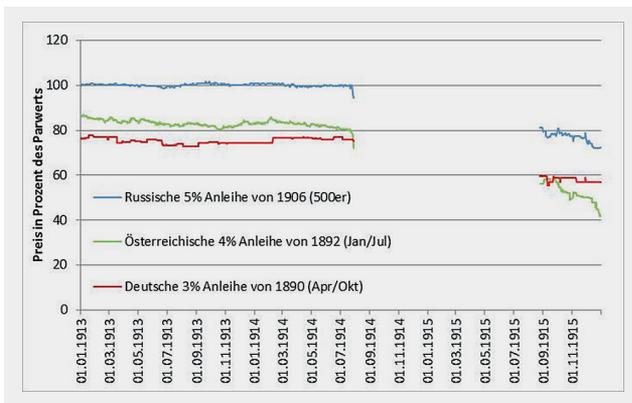


1 Menschen bejubeln die Kriegserklärung Kaiser Wilhelms II. an Russland am 1. August 1914.  
Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AThe\\_Outbreak\\_of\\_the\\_First\\_World\\_War%2C\\_1914\\_Q81739.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AThe_Outbreak_of_the_First_World_War%2C_1914_Q81739.jpg) (Zugriff: 23.11.17, 13:30 Uhr).

großen europäischen Hegemonialmächten implodierte, und auf diese Implosion folgte ein Krieg in erstmals globalem Maßstab, dessen Erforschung Unmengen an Literatur hervorgebracht hat. Die historische Literatur hat sich dabei mit drei großen Fragenkomplexen verstärkt auseinandergesetzt: 1. Wie konnte Europa bzw. wie konnte die Welt in einen Weltkrieg „hineinschlittern“? 2. Wie schafften es die beteiligten Länder, einen so verheerenden, äußerst Ressourcen zehrenden Krieg über vier Jahre aufrechtzuerhalten? 3. Wie wurde der Krieg zeitgenössisch, in der öffentlichen Meinung wahrgenommen und welche Rolle spielte die Kriegsmentalität

für die Mobilisierung und Stabilisierung der Heimatfront?

Die hier vorgestellte Forschung kann letzterem Themenkomplex zugeordnet werden und möchte unser Verständnis davon verbessern, wie der Kriegsverlauf öffentlich wahrgenommen wurde; häufig steht gerade die Welle der Kriegsbegeisterung kurz vor dem Kriegsausbruch und in der Anfangsphase des Kriegs im Fokus der Forschung. In Abgrenzung dazu wird danach gefragt, ob sich *fundamentale* Veränderungen – sprich Strukturbrüche – in der zeitgenössischen Einschätzung der Leistungsfähigkeit der Krieg führenden Mächte über den weiteren Verlauf des Krieges aus-



2 Preise ausgewählter Staatsanleihen an der Amsterdamer Börse in Prozent des Parwerts (Parwert = 100 %). Preise auf täglicher Basis abgetragen über den Zeitraum 1. Januar 1913 bis 31. Dezember 1915. Zur Identifikation der Anleiheerien werden das Jahr der Erstemission und entweder die Stückelung – Anleihechein zu 500 Rubeln – oder die Zinstermine – 1. des jeweiligen Monats – angegeben. Quelle: Jopp (2016).

machen lassen und welche Ereignisse dafür ggf. ausschlaggebend waren. Zu diesem Zweck wird auf eine quantitative Quelle zurückgegriffen, die in der historischen Forschung zum Ersten Weltkrieg bislang vernachlässigt wurde, nämlich historische Wertpapier- und insbesondere Staatsanleihepreise, wie sie im Sekundärmarkt, dem Markt für bereits emittierte Wertpapiere, zustande kamen.

Die Literatur speziell zum Kapitalmarkt im Ersten Weltkrieg ist überschaubar und beschäftigt sich vor allen Dingen mit zwei Fragen: Was bedeutete der Ausbruch des Ersten Weltkriegs für den bereits gut integrierten internationalen Kapitalmarkt und wie genau ging die Instrumentalisierung der nationalen Kapitalmärkte zur Mobilisierung militärischer Ressourcen vonstatten? Arbeiten zur Frage, wie man auf Basis historischer Finanzmarktdaten zu Echtzeiteinschätzungen der Kapitalmarktakteure über den Kriegsausbruch und -verlauf gelangen kann, sind im Vergleich noch rarer. Einen guten Ausgangspunkt für die Analyse der zeitgenössischen Sicht auf den Kriegsverlauf bietet dabei die Studie Niall Fergusons aus dem Jahr 2006, in der er anhand des Beispiels der Londoner Börse argumentiert, der Ausbruch des Ersten Weltkriegs sei für den Kapitalmarkt tatsächlich unerwartet bzw. überraschend gekommen; zumindest aus der Sicht des Kapitalmarkts war der Erste Weltkrieg offenbar nicht der natürliche, zwangsläufige Endpunkt der Auseinandersetzung um die Vormachtstellung in Europa. Ähnlich lässt sich auch mit Blick auf die Amsterdamer Börse, einen weiteren der seinerzeit bedeutendsten internationalen Handelsplätze für Staatsanleihen, der im Folgenden genauer betrachtet wird, argumentieren. Wie Abbildung [2] anhand einiger Beispiele verdeutlicht, brachen die Preise für Staatsanleihen der Kriegsparteien erst wenige Tage vor dem Kriegsausbruch

Ende Juli bzw. Anfang August ein [1], wobei die letztmalige Notierung in Amsterdam am 28. Juli 1914 erfolgte. Zum Vergleich sind auch die ersten Preise nach Wiederaufnahme des Handels im späten August 1915 abgebildet.

Anknüpfend an u. a. Niall Ferguson versucht die hier vorgestellte Studie den weiteren Verlauf des Krieges, nicht lediglich die viel beachtete Anfangsphase, im Spiegel von Finanzmarktdaten zu betrachten und Brüche in der Wahrnehmung der Investoren zu identifizieren.

## Warum Staatsanleihepreise als Quelle?

Im Vergleich zur Nutzung qualitativer Quellen zur „Messung“ von Stimmung bzw. Wahrnehmung in Form von beispielsweise Tagebüchern, Memoiren, Briefen, Feldpost, Lyrik, Zeitungsartikeln, Plakaten, Bildern und Fotos von Menschaufmäufen bieten Staatsanleihepreise einige Vorteile; u. a. indem sie in gebündelter Form Kauf- und Verkaufsentscheidungen – sprich: *Handlungen* – einer größeren Gruppe von Menschen – der Investoren – reflektieren. Zum einen wird hierdurch das Problem des *cheap talk* gelöst – das Problem, dass man unter Umständen andere Aussagen trifft, wenn man nicht beim Wort genommen werden kann, als man sie trafe, wenn man mit negativen Konsequenzen zu rechnen hätte. Dass man sich und seine Rolle im Nachgang zu einem Ereignis anders – günstiger – darstellt, weil es einen selbst nichts kostet, ist ein Problem vieler schriftlicher Quellen, z. B. von Egodokumenten. Zum anderen hat man in Form einer Preisreihe zu einer bestimmten Staatsanleihe gewissermaßen eine Echtzeitumfrage vorliegen.

Der Preis bzw. Kurs eines Wertpapiers wird durch viele Faktoren bestimmt. Ein ganz wesentlicher Faktor mit Blick auf Anleihen ist die Rückzahlungsfähigkeit des Anleiheemittenten – eines Unternehmens oder eines Staates. Im Kern sagt die Veränderung des Anleihekurses über die Zeit etwas über die erwartete Zahlungsfähigkeit aus, sprich: über die Wahrscheinlichkeit, mit der Investoren von einem Verzugs- bzw. Nichterfüllungsereignis ausgehen und mit der die in der näheren wie fernerer Zukunft anfallenden Tilgungs- und Zinszahlungen gedanklich gewichtet werden müssen. Neben der Wahrscheinlichkeit eines Zahlungsausfalls spielen auch Faktoren wie die Inflationserwartungen und die Liquidität der Anleihe eine Rolle. Je größer etwa die Liquidität, desto schneller lässt sich ein Käufer oder Verkäufer auf dem Markt finden.

Die Risikobewertung der gemeinhin anonymen Investoren richtet sich in letzter Konsequenz also auf die Frage, was der Gang etwa eines Kriegs für die Schuldentrückzahlungsfähigkeit des Anleihe emittierenden Staates bedeutet. Mit anderen Worten: Manch ein Ereignis, das in den Augen des Historikers in der Rückschau oder des zeitgenössischen Beobachters bedeutsam war, wurde möglicherweise von den Investoren viel weniger stark beachtet, wenn sie keinen Einfluss auf dessen Schuldentrückzahlungsfähigkeit erwarteten. Andere, bisher unbeachtete Ereignisse mögen dagegen an Bedeutung gewinnen.

## Warum gerade Amsterdam betrachten?

Die Amsterdamer Börse war ein international bedeutender Handelsplatz für Staatsanleihen. Im Zeitraum Januar bis Juli 1914 wurden neben acht niederlän-

**Uittreksel uit de Officieele Prijscourant**  
 AMSTERDAM, 29 Juni 1914. pCt., V.K., L.K., H.K.

STAATSLEENINGEN.		JAPAN.	
EUROPA.	pCt., V.K., L.K., H.K.	Imp. Loan 1903/09	5 39 89%
NEDEBLAND.		ditto Obl. l. s. & 100	41 92 92 1/2
Schatkistbiljetten...	4 100 100	ditto & 200-500	41 32 32 1/2
Oblig. N.W.S.	3 90 77 1/2	ditto 2e serie	41 92 92
ditto dito	2 77 77 1/2	ditto 1899	4 73 73 1/2
Cert. dito	3 66 66 1/2	REPUBL. CUBA.	
ditto dito	2 90 90 1/2	Obligatiën 1904	5 100 100 1/2
Grootboek Oblig.	3 77 77 1/2	ditto 1909	4 93 93 1/2
ditto dito	2 66 66 1/2	MEXICO \$100/1000	5 33 33 1/2
ditto dito	3 72 72 1/2	do. 2e serie	5 34 34 1/2
BELGIE	2 60 60	Belvrijg. Goudleen.	
ditto	2 60 60	& 20-100 1899	5 85 85 1/2
BOSNIE & HERZEG.		d. d. 200-1000 1899	5 85 85 1/2
Spoorw. doelenleend.	3 99 99 1/2	Vera Cruz reg. Schidb	5 85 85 1/2
Ang. Openb. doelenleend.	3 99 99 1/2	ARG. REPUBLIEK.	
BULGARIE.		Leening 1886/87	5 102 102 1/2
Hyp. Staatsl. 1892	6 96 96	ditto 1905	5 79 79 1/2
Takp. l. s. 02 Obl.	5 92 92 1/2	Buit. Leen. 1896/99	4 83 83 1/2
Zakp. l. s. 1904	5 91 91 1/2	BBAZILIE.	
Belvrijg. G.O. 1907	4 84 84 1/2	Oblig. 1895	5 88 88 1/2
Obl. fr. 500-2500 '09	4 78 78	Funding l. s. & 20/100	5 100 100 1/2
DENEMARKE.		ditto & 100 1903	5 95 95 1/2
Belastv. Obl. 1912	4 98 98	ditto & 20/100 1913	5 85 85 1/2
DUITSCHLAND.		ditto 1889	4 86 86 1/2
Büksl. Jan./Juli	3 76 76 1/2	ditto 1888	4 90 90 1/2
ditto April/Oct.	3 75 75 1/2	ditto 1889	4 74 74 1/2
Bremen 1899	3 82 82	ditto & 100 1910	4 73 73 1/2
Hamburg 1900	4 91 91 1/2	United St. R. B. Obl.	4 73 73 1/2
Pruiss. Rm. 200-1000	3 86 86 1/2	Bakia O. 1889 fr. 500	5 93 93 1/2
ditto Rm. 2000-5000	3 85 85 1/2	ditto & 20/100 Goud	5 85 85 1/2
ditto 1890-1901	3 75 75 1/2	Minas Geraes 1910	4 71 71 1/2
FRANKR.		ditto 1911	4 71 71 1/2
Inschr.	3 80 80 1/2	Para 1901	5 80 80 1/2
HONGARIJE.		ditto 1907	5 80 80 1/2
Goudleening 1913	4 90 90 1/2	Parana Obl. 1905	5 77 77 1/2
ditto 500 1900	4 97 97 1/2	ditto Recep. 1913	5 76 76 1/2
ditto 1914	4 89 89 1/2	Rio de Janeiro Obl.	5 90 90 1/2

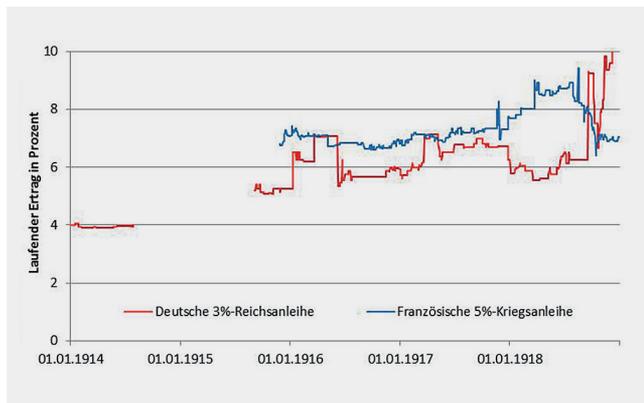
3 Auszug aus dem Kurszettel der Amsterdamer Börse für den 29. Juni 1914. Der Kurszettel erschien in der Abendausgabe des *Algemeen Handelsblad*, N° 27779, vom selben Tag. Aufgelistet werden in der Sektion „Staatsanleihen“ nach Kontinenten und emittierenden Ländern alle gehandelten bzw. zum Handel zugelassenen Papiere, so z. B. für Deutschland die dreiprozentige Reichsanleihe in zwei Serien – die einzige international gehandelte Anleihe des Zentralstaats. V.K. bezeichnet den mittleren Kurs des Vortages (*vorige koers*), und L.K. und H.K. bezeichnen den niedrigsten und höchsten Kurs des aktuellen Tages (*laagste/hoegste koers*). Die Preise werden hier auf Sechzehntel genau angegeben.

dischen Serien auf dem Sekundärmarkt über 200 ausländische Serien von u. a. 15 europäischen Staaten gehandelt. Wie die meisten Börsenplätze in Europa und weltweit stellte die Amsterdamer Börse mit dem formalen Kriegsbeginn den offiziellen Handel in allen Papieren zunächst ein; Friedenspreise wurden hier letztmalig am 28. Juli 1914 notiert. Nach einer im Vergleich mit der Pariser und Londoner Börse etwas längeren Handelspause wurde der offizielle Handel ab dem 9. Februar 1915 schrittweise wieder aufgenommen, zunächst in wenigen niederländischen sowie südamerikanischen Werten. Ab Juli/August 1915 wurde auch der Handel in den restlichen Anleihen, insbesondere in denen der wesentlichen Krieg führenden Staaten aufgenommen. Das erste Kriegsjahr muss somit zwangsläufig aus der Betrachtung ausgeschlossen bleiben, wenn man sich auf Amsterdam konzentriert. Während des Kriegs selbst wurden nicht weniger als 36 niederländische sowie über 230 ausländische Anleihen gehandelt, wobei gleichwohl die meisten Anleihen eine eher geringe Handelsfrequenz – sprich: Liquidität – aufwiesen.

Sich auf Amsterdam zu konzentrieren und nicht etwa auf London oder Paris – man beachte, dass die Berliner Börse für den Anleihehandel den gesamten Krieg über geschlossen blieb – birgt einen nicht zu unterschätzenden Vorteil: Die Niederlande blieben formal neutral, wenngleich der finanzielle und psychologische Druck seitens Englands und Deutschlands, sich für eine Seite zu entscheiden, sicherlich immens war. Die Neutralität der Niederlande bedeutete, dass der Finanzplatz Amsterdam nicht in demselben Maße restriktiven Regulierungsmaßnahmen wie beispielsweise einer starken Einschränkung bzw. gar einem Verbot des Handels mit „Feindpapieren“ unterlag wie die Handelsplätze London, Paris und Berlin. Der springende Punkt hierbei ist, dass je stärker der Handel reguliert war, desto weniger die zustande gekommenen Preise als Quelle von Investorenmeinung verlässlich sind. Denn u. a. stellt sich das Problem der Patriotismusverzerrung, des *patriotic bias*, ein. Ähnliche Forschungen zum Zweiten Weltkrieg ziehen genau deswegen Daten zu seinerzeit neutralen Börsenplätzen wie Zürich oder Stockholm anderen Daten vor.

**Quellenmaterial**

Die hier vorgestellte Forschung basiert auf einer vollständigen, mit einigem Aufwand verbundenen manuellen Erhebung aller zwischen dem 1. Januar 1914 (für ausgewählte Anleihen: 1. Januar 1913, s. [2]) und dem 31. Dezember 1919 in Amsterdam offiziell notierten Staatsanleihepreise. Zu den entsprechenden ca. 145.000 täglichen Preiseinträgen, die u. a. für Anleihen der vier Zentralmächte sowie für Russland, Rumänien und das Osmanische Reich vorliegen, sind mehrere Tausend weitere Einträge zu ausgewählten niederländischen Kommunalanleihen und Unternehmensaktien sowie wichtigen makroökonomischen Größen wie dem Zinssatz für kurzfristige Kredite und den verschiedenen Devisenkursen hinzuzurechnen. Bereits vor dem Krieg emittierte Anleihen Großbritanniens, Frankreichs und der Vereinigten Staaten wurden dagegen während des Krieges nicht gehandelt. Allerdings lässt sich dieses Manko an *offiziellen* Kursnotierungen zumindest teilweise ausgleichen, indem *inoffizielle* Kurse für britische und französische Kriegsanleihen herangezogen werden, die ab der



4 Die Preisentwicklung der deutschen dreiprozentigen Reichsanleihe (Zinstermine Apr./Okt.) und der französischen fünfprozentigen Kriegsleihe zwischen dem 1. Januar 1914 und dem 31. Dezember 1918. Vermutlich stellt Letztere eine der *obligations de la défense nationales* mit einer Laufzeit von zehn Jahren dar. Abgebildet sind hier genau genommen nicht die Preise in Prozent des Parwerts, sondern die (interpolierten) laufenden Erträge, der der Zinszahlung dividiert durch den Anleihepreis entspricht. Eine Erhöhung des Ertrags ist gleichbedeutend mit einem Anstieg des wahrgenommenen Länderrisikos; ein erhöhtes Risiko bedeutet, dass Schulden mit geringerer Wahrscheinlichkeit zurückgezahlt werden. Das mit dem Deutschen Reich assoziierte Kreditrisiko i. w. S. stieg mit dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs erwartungsgemäß an (von 4,0 auf 5,2 Prozent) und war seitdem deutlichen Schwankungen ausgesetzt. Letzteres gilt in geringerem Maße auch für die französische Anleihe. Quelle: Jopp (2016).

STRUKTURBRUCH (DATUM)	PROZENTUALE VERÄNDERUNG IM PREIS/ERTRAG	ERKLÄRUNG
<b>(A) Frankreich: 5 % Kriegsanleihe in laufenden Erträgen</b>		
06/05/1916	- 5,31 %	Französische Erfolge bei Verdun
08/02/1917	+ 2,68 %	Unbeschränkter U-Boot-Krieg verkündet; neutrale Staaten unentschlossen mit Blick auf einen Beitritt auf Seiten der Alliierten
16/06/1917	+ 2,01 %	Abdankung König Konstantins von Griechenland
27/12/1917	+ 6,21 %	Sieg der Zentralmächte über Russland und Rumänien
25/03/1917	+ 12,61 %	Deutsche Frühjahrsoffensive beginnt
30/09/1918	- 1,16 %	Hunderttageoffensive der Alliierten
<b>(B) Deutschland: 3 % Reichsanleihe (Zinstermin: Apr./Okt.) in laufenden Erträgen</b>		
11/01/1916	+ 23,90 %	Kontroverse um Wehrpflicht in Großbritannien
19/09/1918	+ 46,56 %	Hunderttageoffensive der Alliierten
<b>(C) Deutschland: 3 % Reichsanleihe (Durchschnitt der Reihen mit Zinstermin Jan./Jul. und Apr./Okt.) in Preisen in Prozent des Parwerts</b>		
11/01/1916	- 14,6 %	Kontroverse um Wehrpflicht in Großbritannien
17/03/1916	- 1,5 %	Admiral von Tirpitz kurz zuvor zurückgetreten
08/06/1916	+ 5,6 %	Skagerrak-Schlacht; Lord Kitchener ertrunken; deutsche Erfolge bei Verdun
22/03/1917	- 4,5 %	Revolution in Russland (Bekanntnis zur Weiterführung des Kriegs)
27/12/1917	+ 3,1 %	Sieg der Zentralmächte über Russland und Rumänien
10/04/1918	+ 1,1 %	Deutsche Frühjahrsoffensive beginnt
06/06/1918	- 0,8 %	Rückschlag für Deutschland an der Westfront (Operation Blücher-Yorck)
19/09/1918	- 17,6 %	Hunderttageoffensive der Alliierten
09/11/1918	- 4,7 %	Ausrufung der Republik; Abdankung des Kaisers

**Kasten 1** Strukturbrüche in der Investorenwahrnehmung. Zur Interpretation des Vorzeichens möge man beachten: Steigt der Anleihepreis, sinkt per Definition der Ertrag (und *vice versa*). D. h. ein sinkender Preis wie alternativ ein steigender Ertrag signalisieren ein höheres Länderrisiko. Quellen: Jopp (2014), S. 173 (C). Jopp (2016), S. 254 (A, B).

zweiten Hälfte des Jahres 1915 auf dem inoffiziellen, grauen Markt zustande kamen.

Konkret erhoben wurde der mittlere tägliche Preis in Prozent des Parwerts, der dem Nennwert der Anleihe entspricht, also 100 Prozent beträgt [3]. Die entsprechenden offiziellen Kursblätter der Amsterdamer Börse sowie die inoffiziellen Notierungen und Makrogrößen wurden der zeitgenössischen niederländischen Tagespresse entnommen, vorrangig dem *Algemeen Handelsblad* und *Het Centrum*. Zusatzinformationen über die gehandelten Wertpapiere – wie etwa die Daten der Erst- und Nachfolgeemissionen, die emittierte Schuld sowie die Zahlungsmodalitäten – lassen sich über alle seinerzeit gängigen Börsenführer wie z. B. über *Saling's Börsen-Papiere* für die Berliner Börse oder *Gids bij de Prijscourant* für die Amsterdamer Börse gewinnen.

### „Agnostische“ Ereignisanalyse

Der Rest des Artikels führt in aller gebotenen Kürze in die „agnostische“ Ereignisanalyse (*event analysis*) ein. Abbildung [4] zeigt die Ertragsentwicklung der offiziell gehandelten dreiprozentigen Reichsanleihe im Vergleich zu einer fünfprozentigen französischen Kriegsanleihe, die ab November 1915 inoffiziell gehandelt wurde. Die Idee hinter der „agnostischen“ Ereignisanalyse ist, auf Basis geeigneter statistischer Methoden nach Strukturbrüchen in den beiden Zeitreihen zu suchen. Strukturbrüche können grundsätzlich im Achsenabschnitt oder im Trend oder in beidem gleichzeitig vorliegen. Im Folgenden interessieren Strukturbrüche im Achsenabschnitt oder, anders formuliert, im bedingten Mittelwert, den man sich als abschnittsweise definierte Parallele zur x-Achse vorstellen

kann. Die Verschiebung des bedingten Mittelwerts nach oben oder unten – eben der Strukturbruch – signalisiert *langfristig* wirkende Erwartungsänderungen auf Seiten der Investoren, die maßgeblich, aber nicht ausschließlich mit deren Einschätzung des Kreditausfallrisikos zusammenhängen. Anhand einer einfachen optischen Inspektion von Abbildung [4] lassen sich auf Anhieb mehrere Kandidaten für derartige Strukturbrüche erkennen. So scheint es beispielsweise einen Strukturbruch in der Reichsanleihe im Januar 1916 und in der französischen Anleihe im März 1918 geben zu haben. Statistische Strukturbruchtests können an dieser Stelle Gewissheit über das Timing der Verschiebungen im Mittelwert geben. Die Grundidee dabei ist, die Daten „für sich sprechen zu lassen“, d. h. zunächst „agnostisch“ auf statistischem Wege Strukturbrüche zu identifizieren und

diese dann mit anderer qualitativer und quantitativer historischer Evidenz übereinzubringen. Alternativ könnte man entsprechend der klassischen *Event Analysis* von vornherein als bedeutend anzusehende Kalenderdaten vorgeben. Doch woher sollten diese kommen? Fallen sie sprichwörtlich vom Himmel? Basieren sie auf der herrschenden Meinung unter Historikern?

**Kasten 1** präsentiert Ergebnisse zweier Studien des Verfassers dieses Artikels zum „Amsterdamer Blick“ auf die Kriegsgegner Deutschland und Frankreich. An dieser Stelle sollen nur die allerwichtigsten Beobachtungen angesprochen werden. Zu diesen zählt ganz klar der erste in der Reichsanleihe identifizierte Strukturbruch; vom 10. auf den 11. Januar 1916 fiel der Preis abrupt von 57 auf 46 Prozent des Parwerts, was einem Anstieg des Ertrags – sprich: des Länderrisikos – von 5,2 auf 6,2 Prozent entsprach. Vor dem Hintergrund der Berichterstattung in der niederländischen Tagespresse reflektiert dieser Strukturbruch augenscheinlich die Debatte um die Einführung der Wehrpflicht in Großbritannien, der womöglich bedeutendsten politischen Kontroverse in den vorherigen sechs Monaten des Krieges. In der Wahrnehmung der Investoren würde die Wehrpflicht, deren Verabschiedung zum Zeitpunkt des Strukturbruchs nur noch als Formalität erschien, dazu beitragen, neue Ressourcen auf Seiten der Alliierten zu mobilisieren und die Position des Deutschen Reichs an der Westfront und anderswo zu schwächen. Dieser Strukturbruch ist in zweifacher Hinsicht bedeutend: Erstens ist er ein gravierender Bruch in den Erwartungen; zwei-

tens kam der Einführung der Wehrpflicht in Großbritannien im Urteil der Historiker bislang keine nachhaltige Bedeutung zu. Aus der Zeit heraus betrachtet wurde ihr jedoch ein großes Gewicht beigemessen.

Hervorgehoben werden sollten auch jene Strukturbrüche, die beide Kriegsgegner mehr oder weniger gemeinsam haben – sprich: die symmetrisch sind. Hierzu zählen einerseits die Strukturbrüche, die sich durch die Schlacht von Verdun erklären lassen, und andererseits diejenigen im März und September 1918, die mit der deutschen Frühjahrsoffensive und der Hunderttageoffensive der Alliierten als Antwort koinzidieren.

## Fazit

Die Strukturbrüche in den Preisen bzw. Erträgen der betrachteten Anleihen lassen sich einteilen in solche, die eine Verstärkung eines negativen bzw. positiven Trends in der Investorenwahrnehmung signalisieren, und solche, die wirkliche Wendepunkte in den Erwartungen der Kapitalmarktakteure nahelegen. Aus zeitgenössischer Sicht waren einige Ereignisse bedeutend, die in der historischen Literatur üblicherweise als wenig relevant für den Gang des Kriegs angesehen werden. Dies gilt z. B. für die Debatte um die Einführung der Wehrpflicht in Großbritannien Mitte 1915 und Anfang 1916, aber etwa auch für die Seeschlacht im Skagerrak. Andere Ereignisse, wie z. B. der Kriegseintritt Rumäniens oder der Vereinigten Staaten, waren in der Wahrnehmung der Investoren offenbar unbedeutend bzw.

wurden antizipiert, so dass sie jedenfalls ausweislich der Börsendaten nicht überraschend kamen. Dies gilt insbesondere auch für Vorgänge an der Ostfront. In Form etwa der Brusilov-Offensive im Juni 1916 und dem Friedensvertrag von Brest-Litowsk im März 1918 findet die Auseinandersetzung des Kaiserreichs mit Russland Eingang in jede Chronologie der beachtenswertesten Ereignisse. Die „Börsianer“ sahen das ganz anders, nahmen den Friedensvertrag selbst als nicht sehr bedeutend war. Zudem zeigt die Analyse, dass sich die Gewissheit, der Krieg neige sich nun unweigerlich dem Ende zu, frühestens sieben Wochen vor dem Waffenstillstand von Compiègne einstellte.

## Literatur

- Niall Ferguson, *The Pity of War*. London: Penguin Books, 1998.
- Niall Ferguson, Political risk and the international bond market between the 1848 revolution and the outbreak of the First World War. *Economic History Review* 59 (2006), S. 70–112.
- Tobias A. Jopp, How did the capital market evaluate Germany's prospects for winning World War I? Evidence from the Amsterdam market for government bonds. *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte/Economic History Yearbook* 55 (2014), S. 159–184.
- Tobias A. Jopp, Contemporaries' opinion on the Allied and Central Powers' performance during the First World War: Measuring perceptions with sovereign debt prices. *European Review of Economic History* 20 (2016), S. 242–273.
- Daniel Waldenström, Bruno S. Frey, Did Nordic countries recognize the gathering storm of WWII? Evidence from the bond markets. *Explorations in Economic History* 45 (2008), S. 107–126.



© Tobias A. Jopp

Dr. **Tobias Alexander Jopp**, geb. 1980 in Dortmund. Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Münster, Promotion an der Universität Hohenheim (2012), derzeit Akademischer Rat a. Z. am Lehrstuhl für Wirtschafts- und Sozialgeschichte der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Deutsche Wirtschafts- und Sozialgeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts; insbesondere: Geschichte wohlfahrtsstaatlicher Institutionen, Geschichte der Nutzung natürlicher Ressourcen; Versicherungs- und Finanzgeschichte; zudem: Wissenschaftsgeschichte/Geschichte der Geschichtswissenschaft; historische Statistik/Didaktik der Geschichtswissenschaft.

# Einfaches Geld und Immobilienmärkte

## Der Einfluss von Geldpolitik und Kreditschwankungen auf die Immobilienmärkte

Gabriel S. Lee

„In come the waves: The worldwide rise in house prices is the biggest bubble in history. Prepare for the economic pain when it pops.“ Diese düstere Schlagzeile des „Economist“ aus dem Jahr 2005 war vollkommen angebracht, wenn man die globalen Häuser- und Kreditmärkte über die letzten Jahre hinweg betrachtet. Grafik 1 zeigt den dramatischen Anstieg und Fall der Häuserpreise in den Vereinigten Staaten und einigen ausgewählten europäischen Länder vom ersten Quartal 1997 bis zum zweiten Quartal 2012.

Der U.S. Häusermarkt erreichte seinen Höhepunkt im ersten Quartal 2006, nach einem Anstieg von 137 %. Dieser ist jedoch noch relativ mild, verglichen mit dem Anstieg in Irland (266 %), Spanien (193 %), Großbritannien (187 %) sowie Griechenland (141 %) – wobei jedes dieser Länder seinen Höhepunkt zu einem etwas anderen Zeitpunkt erreichte.

Mit dem Absturz der Häuserpreise in diesen Wirtschaften Mitte der 2000er Jahre hat sich ein wachsender Literaturstrang entwickelt, welcher diese großen Schwünge in den Häuserpreisen als Blase bezeichnet. Auch werden die starken Anstiege Anfang der 2000er Jahre oft durch irrationalen Überschwang erklärt, welcher wiederum die „Große Rezession“ der späten 2000er Jahre und somit die globale Finanz- und Wirtschaftskrise ausgelöst hat.

In Anbetracht der jüngsten makroökonomischen Ereignisse der meisten entwickelten Länder, würden wenige Betrachter der Wirtschaft die folgenden drei Beobachtungen anfechten: 1. Finanzielle Intermediation spielt eine wichtige wirtschaftliche Rolle. 2. Der Häusermarkt stellt eine kritische Komponente der Gesamtwirtschaft dar, und 3. Unsicherheit (Risiko) – insbesondere zeitvariierende Unsicherheit – ist eine quantitativ wichtige Quelle des Konjunkturzyklus.

Obgleich es in jüngerer Zeit einen Anstieg der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung gab, der den Zusammenhang des Häusermarkts und der Finanzintermediation untersucht, besteht Forschungsbedarf bezüglich der Auswirkung von Risikoschocks in einem kalibrierten (auf die Parameter einer Wirtschaft zugeschnittenen) Allgemeinen Gleichgewichtsmodell; d. h. die Analyse von Schocks in einer Umgebung, dessen quantitative Eigenschaften mit den beobachteten Konjunkturzyklen konsistent ist.

Die breiter gefasste Zielsetzung unserer Forschung ist daher, einen theoretischen und computergestützten Rahmen zu entwickeln, der unser Verständnis bezüglich folgender Fragen erweitert: 1. Wie wirkt sich Unsicherheit in der Finanzintermediation einer Wirtschaft aus, welche sowohl Finanz- als auch Häusermärkte beinhaltet? 2. Welche Effekte auf Häuserpreise und den Konjunkturzyklus sind assoziiert mit kreditbeschränkten heterogenen Haus-

halten? und 3. Welche Art der Geldpolitik wirkt vor diesem Hintergrund unterstützend für die Gesamtwirtschaft?

Das enger gefasste Ziel unserer Analyse betrifft die Politikimplikationen für den Häuser-, Finanz- und Geldmarkt, sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in den europäischen Ländern. Länder, welche nicht nur starke Fluktuationen im Häusermarkt und der Gesamtwirtschaft erlebt haben, sondern bis vor kurzem zusätzlich noch in einer prekären finanziellen Lage waren, wie beispielsweise Spanien und Italien. Zusätzlich hierzu analysieren wir die deutsche Wirtschaft, dessen Häusermarkt und Gesamtwirtschaft im Vergleich zu den oben

### Finanzintermediation

Unter Finanzintermediation versteht man die Vermittlung zwischen Kapitalnachfrage und Kapitalangebot. Da Anbieter und Nachfrager von Kapital unterschiedliche Interessen beim Zustandekommen von Kapitalüberlassungsverträgen – wie beispielsweise hinsichtlich der Fristigkeit der Kapitalüberlassung oder des zu überlassenden Volumens – haben, ergibt sich für die Finanzintermediäre die Aufgabe, einen Interessenausgleich zu schaffen. Zur Überwindung der wichtigsten Interessensdivergenzen bieten Finanzintermediäre entsprechende Transformationsleistungen (Fristen-, Losgrößen-, Risiko-, Publizitätstransformation) an (<http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/finanzintermediation/finanzintermediation.htm>).



1 Blue Towers in der Bürostadt Niederrad, Frankfurt am Main, Deutschland.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blue\\_Towers\\_-\\_Niederrad\\_-\\_Frankfurt\\_Main\\_-\\_Germany\\_-\\_05.jpg?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blue_Towers_-_Niederrad_-_Frankfurt_Main_-_Germany_-_05.jpg?uselang=de).

genannten Ländern sehr stabil waren. Wir betrachten unsere Analyse daher als kritischen ersten Schritt bei der Erstellung eines Rahmens, der die Quelle der unterschiedlichen Entwicklung im Länderquerschnitt analysieren kann.

Genauer gesagt kombinieren wir das Häuserangebots-/Bankenmodell, welches von Dorofeenko, Lee und Salyer (2014) entwickelt wurde, mit dem Häusernachfragemodell von Iacoviello und Neri, um zu eruieren, wie die angebotsseitige Unsicherheit, die finanzielle Intermediation, und Kredit-beschränkte Haushalte den Häuserpreis und die Gesamtwirtschaft beeinflussen. Zudem ist die Analyse in das monetäre Modell von Carlstrom und Fuerst eingebettet, welche eine Analyse der Rolle von Geldpolitik ermöglicht – insbesondere hinsichtlich des Abfederns negativer Folgen zyklischer Phänomene, welche ihren Ursprung im Häusermarkt haben.

Das Modell von Dorofeenko, Lee und Salyer konzentriert sich auf die Effekte von

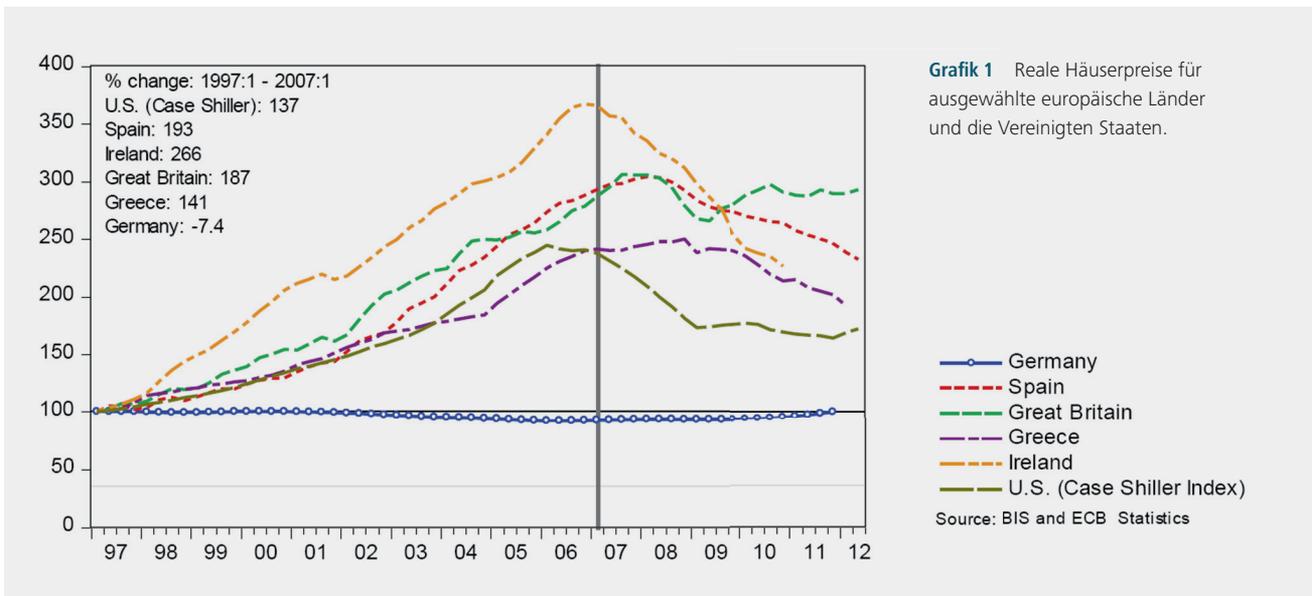
Unsicherheit im Zuge der Häuserproduktion sowie der Kreditvergabe auf Häuserpreise. Zu diesem Zweck kombiniert das Modell von Dorofeenko, Lee und Salyer das multi-sektorale Häusermodell von Davis und Heathcote mit dem Modell von Carlstrom und Fuerst, welches sich mit der Kreditvergabe unter asymmetrischer Information beschäftigt, da beide Modelle gezeigt haben, dass sie einige der Schlüsselaspekte eines Konjunkturzyklus replizieren können. Insbesondere kann das Davis und Heathcote Modell die in den Daten beobachtbare hohe Volatilität von Immobilieninvestitionen relativ zu den Kapitalinvestitionen generieren. Andererseits gelingt es dem Modell nicht, die beobachtete hohe Volatilität der Häuserpreise zu replizieren. Dorofeenko, Lee und Salyer zeigen allerdings, dass Zeit-varierende angebotsseitige Unsicherheit als zusätzlicher Impulsmechanismus dieses Defizit behebt.

Das Verständnis dieser Risikoschocks auf die Wirtschaft ist viel diskutiert unter

Akademikern und Politikern zugleich. Ein vor kurzem erschienener Artikel von Baker, Bloom und Davis demonstriert beispielsweise, dass die langwierige und träge Erholung nach der Großen Rezession in den U.S.A. auf ein erhöhtes Niveau von Politikunsicherheit zurückzuführen ist.

In Dorofeenko, Lee und Salyer führt Unsicherheit zu erhöhter Häuserpreisvolatilität, da Häuserpreise potentielle Verluste auf Grund von Insolvenz einiger Häuserproduzenten reflektieren. In der Tat ist das Modell in etwa konsistent mit dem zyklischen Verhalten der Immobilieninvestitionen und der Häuserpreise in den U.S.A. von 1975 bis 2010. Allerdings ist das Modell von Dorofeenko, Lee und Salyer inkonsistent mit dem Verhalten von Häuserpreisen und der Insolvenzrate der letzten Dekade.

Dies ist nicht überraschend, da die Rolle von Häusernachfrageschocks, kombiniert mit Änderungen der Hypothekenfinanzierung, nicht modelliert werden. Diese Faktoren werden nun berücksichtigt, indem



die Modelle von Iacoviello und Neri und die von Dorofeenko, Lee und Salyer kombiniert werden.

Unter Beachtung Kredit-beschränkter Haushalte analysieren wir drei unterschiedliche Szenarien, die auf unterschiedlichen maximalen Beleihungswerten (Loan-to-Value, LTV, Verhältnis; der Beleihungswert repräsentiert im Bankwesen den Wert einer Kreditsicherheit, von dem mit hoher Wahrscheinlichkeit erwartet werden kann, dass er sich langfristig zu jedem beliebigen

Zeitpunkt realisieren lässt. Er stellt somit das Verhältnis von Kredit zu Wert, hier ausgedrückt in Prozent, dar) basieren: niedrig (80%), mittel (90%) und hoch (100%). Diese unterschiedlichen LTVs sollen drei unterschiedliche europäische Wirtschaften widerspiegeln: Deutschland, Italien und Spanien. Laut des Internationalen Wirtschaftsfonds weist Deutschland eines der niedrigsten LTV auf, Spanien hingegen eines der höchsten – wobei das LTV Italiens zwischen den beiden eben genannten liegt.

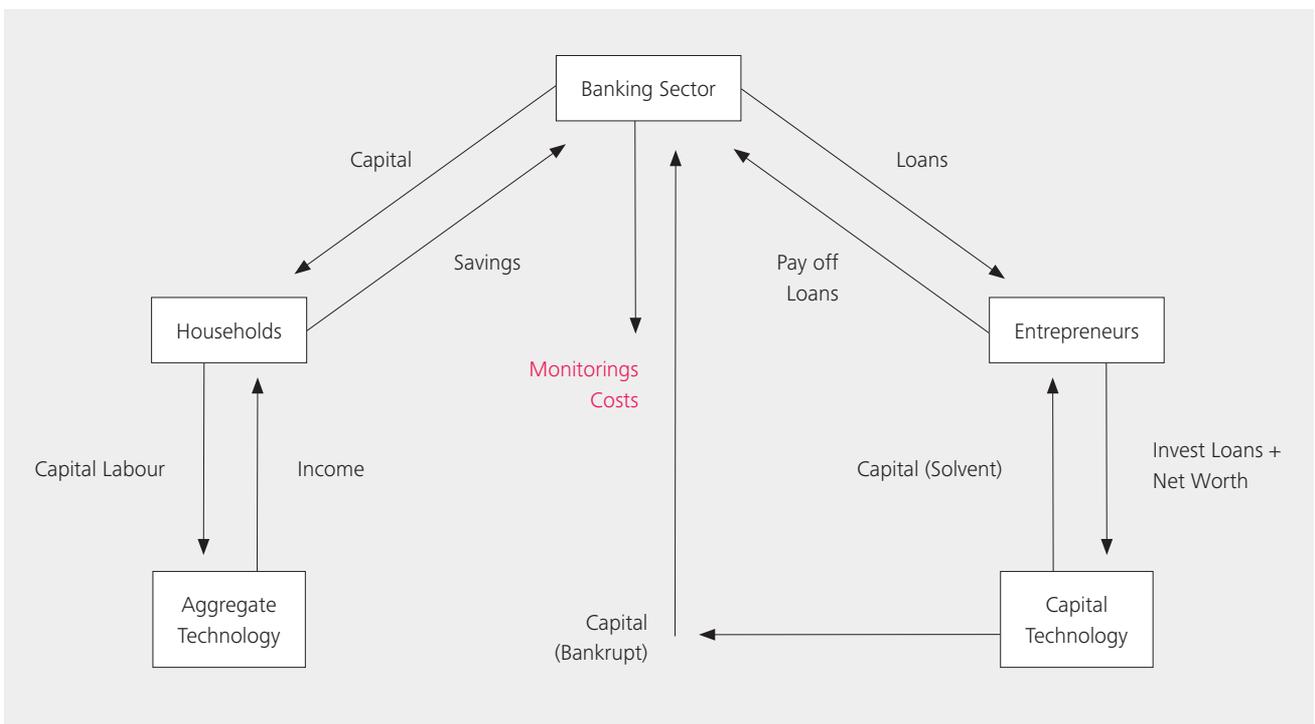
Wir bieten empirische Evidenz, dass die großen Auf- und Abschwünge der Häuserpreise und der Immobilieninvestitionen zu großen Teilen von ökonomischen Fundamentaldaten sowie (eher laxen) finanziellen Beschränkungen getrieben waren. Nach unseren Ergebnissen erklären Risiko- und monetäre Schocks den größten Anteil der Variation in aggregierten realen Variablen, wie dem Bruttoinlandsprodukt, Investitionen oder dem Konsum (Aggregation ist die Bildung von Gesamtgrößen aus Einzel-



2 Luftbild der Wohnanlage „Stadion“ in Lörrach. Von Taxiarchos228 - Eigenes Werk, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22556281>.

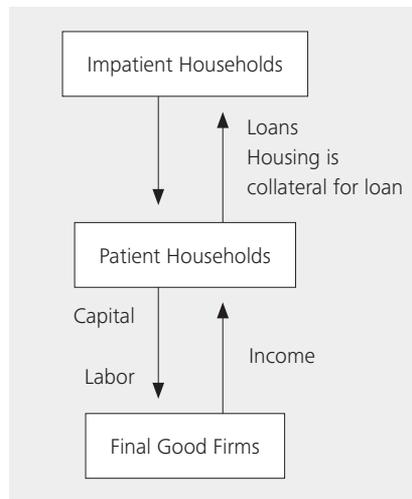


3 Hochhäuser am Potsdamer Platz in Berlin während der blauen Stunde. Von links nach rechts: Atrium-Tower (Renzo Piano), Kollhoff-Tower (Hans Kollhoff), BahnTower (Helmut Jahn), Beisheim-Center (verschiedene Architekten). [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Potsdamer\\_Platz,\\_Berlin,\\_160606,\\_ako.jpg?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Potsdamer_Platz,_Berlin,_160606,_ako.jpg?uselang=de).



4 Visualisierung des Modells von Dorofeenko, Lee und Salyer (2014).

größen mit dem Ziel, über die Verdichtung von Detailinformationen zu einfachen und überschaubaren Aussagen über Zusammenhänge zu gelangen. Beispielsweise ist der aggregierte Konsum die Summe des Konsums aller Konsumierenden). Des Weiteren beeinflusst der Beleihungswert reale, aggregierte Variablen über die Kreditbeschränkung der Haushalte erheblich, insbesondere wenn Preise nicht flexibel sind, sondern sich nach einiger Zeit anpassen. Dies erstreckt sich auch auf Häusermarkt-Variablen, wie den Häuserpreis, die Risikoprämie für Kredite und die Insolvenzrate der Häuserproduzenten. Dieser Effekt ist auffälligerweise umso stärker, je höher das LTV ist. Unsere Resultate zeigen daher, dass das Glätten von Häuserpreisen – d. h. eine Politik, welche die sehr starken Schwankungen wie in **Grafik 1** so gut wie möglich verringert – eine klare und wichtige Rolle für Politiker und Zentralbanker spielt: um



5 Visualisierung des Modells von Iacoviello und Neri (2010).

Märkte zu beruhigen und das Vertrauen in sie wiederherzustellen.

## Literatur

Scott R. Baker, Nicholas Bloom, and Steven J. Davis, Measuring Economic Policy Uncertainty. *The Quarterly Journal of Economics*, Volume 131, Issue 4 (2016), S. 1593–1636.

Charles T. Carlstrom, Timothy S. Fuerst, Agency Costs, Net Worth, and Business Fluctuations: A Computable General Equilibrium Analysis, *The American Economic Review*, Vol. 87, No. 5 (1997), S. 893–910.

Morris A. Davis, Jonathan Heathcote, Housing and the Business Cycle, *International Economic Review*, Vol. 46, No. 3, (2005) S. 751–784.

Victor Dorofeenko, Gabriel Lee and Kevin D. Salyer, Risk Shocks and Housing Markets: Quantitative Analysis, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 45, (2014), S. 194–219.

Stefano Neri, Matteo M. Iacoviello, Housing Market Spillovers: Evidence from an Estimated DSGE model, *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2 (2008), S. 125–164.



Prof. **Gabriel S. Lee**, Ph.D. studierte Mathematik und Volkswirtschaftslehre an der University of Alberta (B.Sc.) und der University of Western Ontario (M.A. Economics). Er erwarb seinen Ph.D. (Economics) an der University of Chicago mit einer Arbeit über "Housing Investment under Time to Build and Adjustment Costs". Nach verschiedenen Forschungsaufenthalten, die ihn unter anderem an die University of Pittsburgh, die University of California, Davis, die Universität Wien und die Universität Innsbruck führten, lehrte er als Dozent am Institut für Höhere Studien in Wien. Seit April 2004 ist er Inhaber des Lehrstuhls für Immobilienökonomie am Institut für Immobilienwirtschaft der Universität Regensburg. Professor Lee befasst sich hauptsächlich mit makroökonomischen und finanzwirtschaftlichen Themen und untersucht in diesem Zusammenhang vor allem die Rolle von Immobilien für das Investitionsportfolio einer Volkswirtschaft.

**Forschungsschwerpunkte:** Wohnungsnachfrage und Investitionen unter Unsicherheit: Dynamische Gleichgewichte von Wohnungssuche und Arbeitslosigkeit, Asymmetrische Information und Wirtschaftszyklen, Optimale Investitionen im Immobiliensektor mit heterogenen Firmen (und Investitionsbeschränkungen).



# Wovon träumt Alexa?

## Ein medienästhetischer Blick auf neue Technologien

Christiane Heibach

In seinem 1968 erschienenen Roman *Do Androids Dream of Electric Sheep*, der Vorlage für den Science-Fiction-Klassiker *Blade Runner*, imaginiert Philip K. Dick eine postapokalyptische Welt, in der Androiden und Menschen sowohl physisch als auch psychisch nicht mehr voneinander zu unterscheiden sind. Einzig die Empathie, das Mitempfinden, scheint noch rein menschliches Hoheitsgebiet zu sein, doch auch das bezweifelt der Protagonist Rick Deckard zunehmend, der als professioneller Kopfgeldjäger unerwünschte Androiden zu eliminieren versucht. Und so stellt sich ihm, der ein elektrisches Schaf auf seiner Dachterrasse hält, die Frage nach den Träumen der Maschinen und damit implizit auch nach ihrem ethisch-ontologischen Status.

Eine solche Vision lebt von der Ähnlichkeit zwischen Mensch und Maschine, für die es in der gegenwärtigen Technologiewelt in Gestalt anthropomorpher Roboter oder sogenannter „virtual humans“ einige, allerdings noch recht unvollkommene Beispiele gibt. Von einer Verwechslung lebender mit künstlichen Entitäten scheinen wir also noch recht weit entfernt zu sein. Doch was wäre, wenn wir uns täuschen? Was, wenn die psychophysische Ähnlichkeit gar nicht das Entscheidende in der Mensch-Maschine-Beziehung ist, sondern sich deren symbiotische Verbindung auf ganz andere, aber nicht minder folgenreiche Art manifestiert?

### Die ‚Natürlichkeit‘ der Technologien

Unsere Alltagswelt ist durchsetzt von Technik, ohne die wir nicht mehr glauben, (über)leben zu können. Dabei sind Smartphones, Laptops und Tablets noch lange nicht die Krone der technischen Schöpfungen. Tatsächlich erleben wir derzeit buchstäblich eine Invasion neuer Technologien in unsere Umwelt – Technologien (verstanden als Konstellation von Geräten und mit diesen verbundenen Diskursen/Handlungskontexten), die darauf abzielen, dass wir Technik (verstanden als konkrete Apparate/Geräte/Anwendungen) gar nicht mehr als Technik wahrnehmen, sondern sie als „natürlich“ empfinden. Dabei werden unterschiedliche Strategien angewandt: Das Echo-System von Amazon beispielsweise stellt mit „Alexa“ ein Spracherkennungssystem bereit, das – wie es schon Siri von Apple vormachte – auf natürliche Sprache reagiert. Der Unterschied zwischen Alexa und Siri besteht allerdings darin, dass Siri die klassischen Funktionen des Smartphones „bedient“, während Alexa wie eine Hausangestellte agiert: Sie dimmt das Licht, spielt die gewünschte Musik, sucht nach Staumeldungen oder schreibt den Einkaufszettel. Damit stellt Alexa eine Schnittstelle zwischen der Technologie und der privaten Wohnatmosphäre dar, die durch deren Aktivitäten verändert werden kann. Darüber hinaus trägt die Kommunikation über natürliche Sprache nicht unwesentlich dazu bei, die Technik mehr als

Partner denn als fremdes Anderes zu empfinden, da man das Gefühl hat, in ‚unmittelbarer‘ Interaktion mit Alexa zu stehen.

Genau diese Unmittelbarkeit scheint ein implizites Paradigma für zahlreiche aktuelle Technikentwicklungen zu sein. Dabei lassen sich unterschiedliche Unmittelbarkeitsformationen und -strategien identifizieren, die unser Verhältnis zu unserer (technisierten) Umwelt und unser eigenes Selbstverständnis mehr oder weniger merklich beeinflussen und verändern. Hier setzt das Erkenntnisinteresse einer Medienästhetik an, die sich nicht nur im engen Sinn als zuständig für medienkünstlerische Fragen versteht, sondern als Fach, in dem grundlegende Fragen nach dem Verhältnis von Medien und Wahrnehmung (griech.: *aisthesis*) verhandelt werden.

### Medien als Gestalter des Mensch-Umwelt-Verhältnisses

Jedes neue Medium verändert unsere Wahrnehmungsformen und unser Verhalten der Umwelt gegenüber. Das zeigt sich an den öffentlichen Diskussionen um die Auswirkungen neuer Medien – und zwar nicht erst, seit es die digitalen Medien gibt. Schon in der Zeit der Erfindung des Buchdrucks im 15. Jahrhundert wurde heftig über dessen positive und negative Folgen diskutiert. Denn durch das Buch als Massenmedium veränderten sich die bis dahin dominanten Formen der Kommunikation und der Wissensvermittlung

entscheidend: Lernte der Schmied beispielsweise sein Handwerk früher, indem er die bewegungstechnischen Arbeitsschritte zum Schmieden eines Hufeisens von seinem Meister kopierte und so multisensorisch den Einsatz des Körpers, die Hitze des Feuers, die Härte des Stahls erleben konnte, so verlangt das interaktionsarme, zweidimensionale und rein auf visuell aufzunehmende Informationen hin orientierte Medium Buch nach einer Darstellung von Wissen, die mehrerer Übersetzungsprozesse bedarf: Die Bewegungen, die Handhabung der Werkzeuge, die gesamten Abläufe müssen nun in (geschriebene) Sprache übertragen werden, um dann vom Leser wieder in Handlungen umgesetzt werden zu können. Die Grenzen einer solchen Wissensvermittlung kennen IKEA-Kunden genauso wie Hobbyköche – schriftliche Anweisungen (und seien sie auch als Bilderrätsel präsentiert, wie die Aufbauanleitungen von IKEA) sind letztlich immer unvollständig. Und doch haben sich Gebrauchsanweisungen, Kochrezepte etc. als dominante Wissensvermittlungsformen herausgebildet und etabliert.

Wie wir also unsere Umwelt erleben, ist niemals unabhängig von Vermittlungsprozessen, in denen Medien eine entscheidende Rolle spielen. Die sprachlichen und bildlichen Darstellungsstrategien von Wissen, die für den Buchdruck entwickelt wurden, haben dabei unsere Weltwahrnehmung entscheidend beeinflusst. Medientheoretiker wie Marshall McLuhan, einer der Urväter der Medienkulturwissenschaft, machten es sich zur Aufgabe, genau diese Wechselwirkung von Medien und Wahrnehmung zu untersuchen – und so wird für McLuhan wie auch für viele andere der Buchdruck zum Synonym für eine Denk- und Wahrnehmungsweise, die lineare und damit kausale Strukturen aufweist, das Auge prämiert, interaktionsarm funktioniert und analytisch zerlegend vorgeht. Dies entspricht nämlich, so die Argumentation, der materiellen Struktur der Druckschrift, bei der jeder Buchstabe für sich steht und eine streng lineare Abfolge von Buchstaben, Wörtern und Sätzen zum Standard wird, ebenso wie die einseitige Kommunikation ohne Rückkopplungsmöglichkeit. Durch die Elektrizität, so McLuhans These, die er schon in den 1960er Jahren entwickelte, wird diese Dominanz jedoch radikal verändert: Die lineare, analytische, monosensuelle Wahrnehmung wird abgelöst durch eine Simultaneität, eine Ganzheitlichkeit und

Multisensorialität, die vor allem durch das Instantane, das Plötzliche und Gleichzeitige der Informations- und Kommunikationsübertragung, entsteht. Die elektronischen Medien und deren Vernetzung verändern also unsere Wahrnehmungs- und Kommunikationsgewohnheiten erneut – und zwar ohne dass wir uns dessen notwendigerweise bewusst werden. Denn Medien verschwinden als vermittelnde Instanzen, sobald wir sie als solche nicht mehr wahrnehmen, sondern uns wie selbstverständlich an sie – und sie an uns – angeglichen haben.

## Die Idee der Unmerklichkeit und Allgegenwart von Technologien

In seinem inzwischen kanonisch gewordenen Aufsatz „The Computer for the 21st Century“ entwickelte der Informatiker und Kommunikationswissenschaftler Mark Weiser 1991 die Idee des „ubiquitous computing“ (UbiComp), deren Kern die weitgehend unmerkliche Allgegenwart intelligenter Technologien ist, mit dem Ziel, dem Menschen das Leben und die Arbeit in jeder Hinsicht zu erleichtern. Die ersten Sätze seines visionären Textes fassen das gesamte Programm dieser Idee prägnant zusammen: „The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.“ Seiner Vision nach sollen sich Computer nahtlos („seamlessly“) in die Welt einfügen und somit ein integraler, unsichtbarer Bestandteil des Alltags werden („an integral, invisible part of the way people live their lives“). Aus diesen Gründen lehnt er Technologien ab, die mit künstlichen Schnittstellen wie z. B. Datenbrillen arbeiten müssen, auch der PC ist für ihn nur ein Übergangsphänomen. Angestrebt werden muss das Prinzip der „Naturalisierung“ von Technologien, die als solche gar nicht mehr wahrnehmbar werden sollen – es geht um „embodied virtuality“ und damit um eine Unmittelbarkeit, die uns das Künstliche und Konstruierte der Technologien, ja nachgerade die Existenz von Technologien vergessen lässt. Hier greift ein anderer Begriff von Unmittelbarkeit, der sehr viel substantieller auftritt als derjenige, der über die Gewöhnung in das medienwissenschaftliche Denken eingeführt wurde. Denn hier ist die Unmittelbarkeit das explizite Ziel der Technologien – sie sollen überhaupt nicht

mehr als solche in Erscheinung treten. Die Vorschläge, die Mark Weiser in seinem Artikel präsentiert, sind – obwohl inzwischen 26 Jahre alt – ein guter Leitfaden für das Erkennen von Strategien der Unmittelbarkeit in den neuen Technologien: Unsichtbarkeit, ‚Natürlichkeit‘ der Interaktion sowie Personalisierung der Medien.

## Unsichtbarkeit durch multimodales Erleben?

Unser Weltzugang ist prinzipiell multimodal und multimedial. Wir nehmen nie nur mit einem Sinn wahr, auch wenn uns das so vorkommen mag, weil wir beispielsweise im Museum Bilder betrachten. Und doch sehen wir auch die Textur des Bildes, spüren die Wärme des Raums, hören die Geräusche, die uns umgeben, fühlen die Härte des Bodens, auf dem wir stehen – all dies macht die Atmosphäre aus, in der wir die Kunst erleben. Technologien, die sich uns als „natürlich“ präsentieren, müssten daher in der Lage sein, genau diese Multimodalität und atmosphärische Qualität zu ermöglichen. Das war eine der Motivationen, die in den 1970er Jahren zur Virtual Reality (VR), später dann auch Augmented Reality (AR) führte. Digitale Technologien sollten Räume erzeugen, in denen der Mensch sich bewegen kann wie in realen Räumen (VR), oder virtuelle und reale Räume zusammenführen (AR). Das Holodeck aus der Science-Fiction-Serie *Star Trek – The Next Generation* zeigt das Ideal dieser Vision: Dort können Szenarien erzeugt werden, durch die der Mensch sich bewegt und in denen er agiert, als wären sie echt. So weit hat es die Virtual-Reality-Forschung bisher nicht gebracht: Durch Datenbrillen und -anzüge, die zudem die Bewegungsfreiheit einschränken, kann kaum der Effekt der Immersion erzeugt werden, der bewirken würde, dass sich die User wie in ihrer alltäglichen Umgebung fühlen. Und auch wenn andere Sinne berücksichtigt werden, wie bei Morton Heiligs *Sensorama*, einer Entwicklung zur Erweiterung des Kinoerlebnisses von 1962 [1], das als 4D-Kino nicht nur dreidimensionale Bilder und Sound, sondern auch Wind, Geruch und einen beweglichen Stuhl bereithält, so ist das Erleben doch noch viel zu technisch induziert und künstlich.

Aktuelle Entwicklungen wie das VR-System *oculus rift* machen deutlich, was die Crux der VR-Entwicklung sein könnte:



1 Morton Heiligs *Sensorama*-Konstruktion von 1962. Quelle: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sensorama-morton-heilig-virtual-reality-headset.jpg> .

VR-Anwendungen erheben zwar den Anspruch, möglichst realitätsidentisches Erleben zu ermöglichen, verlassen sich jedoch dabei viel zu sehr auf das Paradigma des Visuellen. Dadurch entsteht eine sensorische Schizophrenie, da man sich mit den Augen in einer künstlichen Welt befindet, mit dem restlichen Körper aber in der Realität verbleibt, die man über die Datenbrille nicht wahrnimmt, in der man sich dennoch bewegt. Damit wird das Ziel der Simulation von Realität letztlich weitgehend verfehlt – die plumpen Schnittstellen, die reduzierte bzw. gespaltene Sinnlichkeit und der Konstruktionscharakter stehen dem Unmittelbarkeitsempfinden entgegen. Ähnliches lässt sich für die Idee der Augmented Reality sagen, obwohl hier die sensorische Schizophrenie dadurch gemildert wird, dass der reale Raum in die Projektion miteinbezogen wird. Abbildung [2a] und [2b] zeigen ein künstlerisches Augmented Reality-Projekt, *lifeClipper 3*

von Jan Torpus, bei dem über ein GPS-System der durchschrittene Raum in die Datenbrille übertragen und mit Phantasiegestalten und -formen überlagert wird, die sich vor den Augen in der Datenbrille entfalten. Unabhängig von der Poetik dieser AR-Welt mindern auch hier die umfangreichen Apparate die Intensität des Erlebens, zumal man Gefahr läuft, reale Hindernisse zu übersehen und plötzlich ins Straucheln zu geraten.

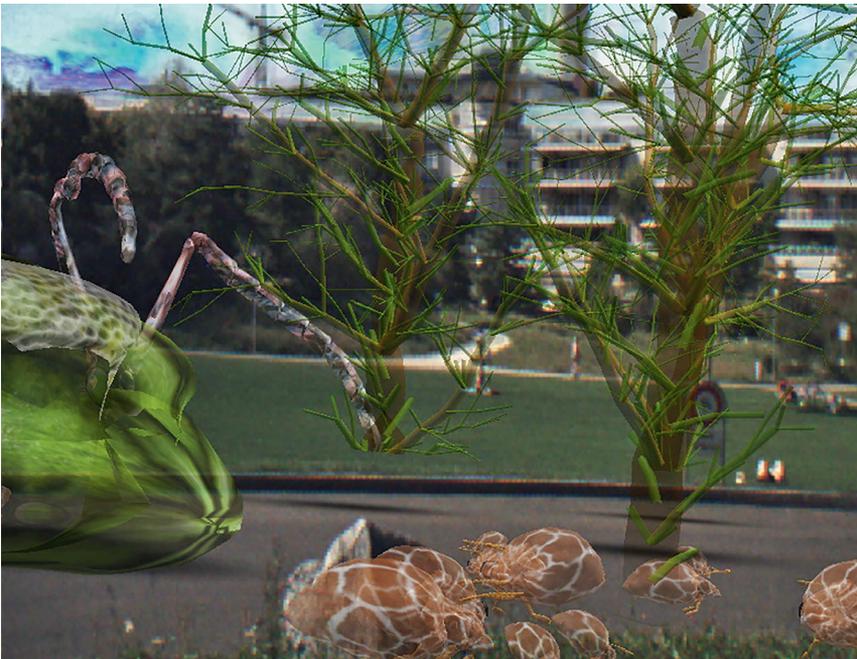
Mark Weisers Idee des Verschwindens der Technologien in der Alltagsumgebung ist dagegen zwar ästhetisch weniger anspruchsvoll, aber deswegen näher an der Realisierung von Unmittelbarkeitserleben als die meisten VR- und AR-Experimente: Hier ändern sich Erlebensmodi nicht merklich, da sich die Technologien nahtlos in die bestehende Lebenswelt einfügen, sie werden „atmosphärisch“. Der Mensch erlebt nach wie vor seine Alltagswelt, und zwar multimedial und multisensorisch.

## Elemente der „natürlichen“ Mensch-Maschine-Interaktion

Neben dem atmosphärischen Erleben sind die Formen der Interaktion der zweite zentrale Aspekt des Mensch-Maschine-Verhältnisses, durch die der Eindruck von Unmittelbarkeit erzeugt werden kann. Auch hier spielt die „Natürlichkeit“ eine große Rolle, weshalb die Unmittelbarkeitsstrategien auch Aussagen darüber erlauben, was in unserer Interaktion und Kommunikation als selbstverständlich angesehen wird. Dazu gehört erstens die Minimierung durch Distanz zum Gerät in der physischen Interaktion, nämlich in der *Berührung*: In den letzten Jahren konnte im Umgang mit unseren digitalen Apparaten eine Bewegung weg von als distanzerzeugend erlebten Schnittstellen wie der Tastatur hin zur distanzlosen Berührung beobachtet werden. Touchscreens bzw. sogenannte *tangible interfaces* suggerieren eine Unmittelbarkeit, die weder der Stift, geschweige denn die Tastatur bereitzustellen in der Lage sind. Gestische Kommunikation wird als „natürliche“ Kommunikation erlebt, ebenso wie die Berührung durch den direkten Kontakt mit dem Kommunikationsmedium die Idee der Unmittelbarkeit befördert.

Zum Zweiten wird „Natürlichkeit“ durch die Versuche, gesprochene Sprache zum Medium der Mensch-Technik-Kommunikation zu erheben, erzeugt. Berührung und gesprochene Sprache gehören dabei zusammen und werden in der Mediengeschichte, aber auch in der Anthropologie als wesentliche Merkmale der Kommunikation in archaischen und vortechnischen indigenen Kulturen gesehen. Sie ermöglichen eine Interaktion mit minimaler Distanz (Berührung) und direkter Rückkoppelung (gesprochene Sprache). Technologien, die gesprochene Sprache als Kommunikationsmedium anbieten oder auf Gestik reagieren, greifen diese „ursprünglichen“ unmittelbaren Interaktionsformen mit dem Ziel auf, ihre artifizuell-technische Struktur zu verbergen. Vor allem werden damit die komplexen Übersetzungsprozesse überdeckt, die für die Kommunikation nicht so sehr zwischen den Menschen, sondern zwischen Mensch und Gerät vonnöten sind.

Der dritte wichtige Aspekt in der Mensch-Maschine-Interaktion ist die emotionale Ebene. Zwischenmenschliche Kommunikation geht selten ohne affektive und emotionale Aspekte vonstatten. Gerade Taktilität ist ein sensorischer Modus, der



2a und 2b *lifeClipper 3* von Jan Torpus (2009/10), oben die Sicht durch die Datenbrille, unten die Ausrüstung des AR-Systems, © Jan Torpus.

im doppelten Sinne mit Gefühl zu tun hat, und so kann man den Trend zu *tangible interfaces* auch als einen Ausdruck einer zunehmenden Emotionalisierung unserer alltäglichen Interaktionen auffassen. Das Gleiche gilt für die mündliche Kommuni-

kation, bei der die Stimme immer mehr kommuniziert als die Worte – sei es durch Intonation, durch die Sprechgeschwindigkeit oder die Stimmlage. Non-verbale Signale vermitteln häufig Emotionen; fehlen diese, dann wissen wir sofort, dass wir

es mit einer „Roboterstimme“, also einer künstlichen Stimme, zu tun haben. Eine emotionale Beziehung zur Technik aufzubauen gelingt uns dann, wenn eine Rückkoppelung in einer Form erfolgt, die uns „natürlich“ erscheint. Umgekehrt müssen smarte Technologien lernen, Emotionen zu erkennen. Solche Forschungen werden im Bereich des *affective computing* betrieben, in dem beispielsweise Robotern beigebracht wird, Emotionen zu erkennen und zu deuten (z. B. über die Interpretation von Gesichtsausdrücken). Im Bereich der Psychotherapie werden mittlerweile sogar virtuelle Therapeuten eingesetzt, die über Mimik, Gestik und die Stimme wiederum Empathie vermitteln können sollten. Derartige Projekte beruhen auf der Erkenntnis, dass Wahrnehmungsakte stark von emotionalen und affektiven Faktoren geprägt sind. Das stellt auch eine Herausforderung für die Erkenntnistheorie als philosophische Disziplin dar, die über lange Zeit hinweg Erkenntnis an begriffliches und rationales Denken geknüpft hat. Philosophische Theorien des Embodiments und der Gesamtleiblichkeit berücksichtigen auch un- und vorbewusste sowie emotionale Prozesse als erkenntnisrelevant, indem sie von einer prinzipiellen Einheit von Körper und Geist ausgehen. Sie machen damit deutlich, wie wichtig eine solche ganzheitliche Perspektive für unser Umwelterleben und damit auch für unsere Erkenntnis ist.

Berührung und damit Distanzlosigkeit, Kommunikation über natürliche Sprache sowie die Integration affektiver bzw. emotionaler Komponenten in die Mensch-Maschine-Interaktion zielen nicht zuletzt darauf ab, die Technik zum Partner des Menschen werden zu lassen, indem deren Struktur der der zwischenmenschlichen Kommunikation angenähert wird. Dieser Idee liegt wiederum eine ganz grundsätzliche Annahme über die Isomorphie, also die Strukturgleichheit zwischen Mensch und Maschine, zugrunde.

### Die Technik als *alter ego* des Menschen?

Die Technologien des *ubiquitous computing* affizieren, „berühren“ uns in vielfältiger Weise unterhalb der bewussten Wahrnehmungsschwelle. Damit wächst die Gefahr, dass wir nicht mehr merken, wie unser Empfinden durch sie erzeugt, vielleicht sogar gesteuert wird. Für Mark Weiser ist

dieser Punkt nicht explizit wichtig, aber seine Idee, die Technologien sollten als intelligente Agenten dem Menschen komplementär zur Seite gestellt werden, evoziert ein altes Menschheitsmotiv: das Erschaffen eines möglichst menschenähnlichen Wesens. Die Phantasmen über solche künstlichen Intelligenzen reichen weit zurück – die Linie kann vom Golem über Frankenstein zum Androiden Data aus *Star Trek* gezogen werden oder von Pygmalions Galatea über E.T.A. Hoffmanns Olympia zum ersten, 1966 entstandenen Sprachprogramm Eliza (von seinem Schöpfer Joseph Weizenbaum nach George Bernard Shaws Stück *Pygmalion* benannt), um schließlich weiter zu Siri und Alexa zu führen.

Die Idee von der Technik als Partner verweist auf eine weitere Figur des Unmittelbarkeitsdenkens: der vorausgesetzten strukturellen Ähnlichkeit von Mensch und Maschine. So spricht ein anderer Pionier der Computertechnologie, J.C.R. Licklider, ebenfalls schon in den 1960er Jahren in einem berühmten Aufsatz von der *Man-Computer Symbiosis*, die dadurch entstehe, dass sich beide Entitäten komplementär ergänzen. Das setzt aber voraus, dass sie auf derselben Ebene kommunizieren und sich verständigen können – Mensch und Maschine „tick(t)en“ demnach gleich. Die Kybernetik, die sich in den 1940er und 1950er Jahren als interdisziplinäre Wissenschaft von den Steuerungsmechanismen und der Kommunikation in Mensch und Maschine etablierte, geht davon aus, dass menschliche und technische Systeme nach den gleichen Mustern funktionieren, und lässt dabei allerdings die affektive Ebene völlig außen vor. Es geht ihr vielmehr um Prozesse des Systemerhalts, die auf der Kommunikation/Rückkoppelung aller systeminternen Elemente beruhen und auf einem Streben nach Gleichgewicht/Homöostase auf der Basis von Ausgleichsprozessen, wie man sie von der Funktionalität des Thermostats her kennt. Je komplexer die Systeme, desto mehr beruhen diese Feedback-Kreisläufe und homöostatischen Zustände auf anspruchsvollen Übersetzungsprozessen, da schließlich artverschiedene Elemente gekoppelt werden, die sich miteinander irgendwie verständigen müssen. In der Kybernetik rücken diese Prozesse aber gegenüber der Isomorphie von Mensch und Maschinen in den Hintergrund. Diese Annahme einer Strukturgleichheit macht es überhaupt erst möglich, von einer partnerschaftlichen Beziehung zwischen Mensch und Technologie auszugehen.

Neben dem Ähnlichkeitstopos mit seinen affektiven Implikationen, der die Technik als Partner vorstellt, gibt es eine weitere Entwicklung, bei der die Technologien uns buchstäblich auf den Leib rücken. Das *intimate computing* kümmert sich beispielsweise um die Entwicklung von sensorisch komplexen Geräten, bei denen physische Nähe und sogar die Verschmelzung zwischen Technologie und Menschenkörper mit der Interpretation von Emotionen zusammenkommen. So wird die Apple Watch, die im Prinzip ein Aufzeichnungs- und Überwachungssystem für unsere Körperfunktionen darstellt, von der Herstellerfirma mit folgendem Satz beschrieben: „And since Apple Watch sits on your wrist, your alerts aren't just immediate. They are intimate.“ Allein schon das Weglassen des Artikels vor „Apple Watch“ signalisiert, dass wir es hier eher mit einem Partner denn mit einem Instrument zu tun haben – ganz zu schweigen von der Distanzlosigkeit des Tragens und der Externalisierung interner und intimer Körpersignale, die durch die Apple Watch erfolgt. Die Medien werden damit Teil unseres Leibes – das gilt für sogenannte „wearables“ wie der Apple Watch bis hin zum „underwearable“ des intelligenten Textils. Diese Entwicklungen inspirierten den Informatiker Steve Mann sogar zu dem Begriff „eudaemonic computing“, in dem die Eudaimonie als traditionsreicher Begriff der griechischen Philosophie, der die gelungene Lebensführung und das ausgeglichene Gemüt bezeichnet, explizit als Ziel der Hochtechnologie benannt wird.

### Die Erforschung von Unmittelbarkeitseffekten

Für den medienästhetischen Blick sind diese Entwicklungen von höchster Brisanz und zwar in mehrfacher Hinsicht. So offenbaren sie in ihren Prämissen und ihrer Zielsetzung bestimmte Grundannahmen über das Mensch-Umwelt- und Mensch-Technik-Verhältnis. Die Beobachtung, auf welchen Ebenen das Phantasma der Unmittelbarkeit wirksam wird, lenkt den Blick auf jeweilige kultur- und medienhistorische Motive und deren spezifische Konstellationen. Doch auch für die Gegenwart öffnet sich ein weites Forschungsfeld, in deren Mittelpunkt die Wechselwirkung zwischen dem Menschen und diesen Technologien steht. Diese können und müssen nicht nur

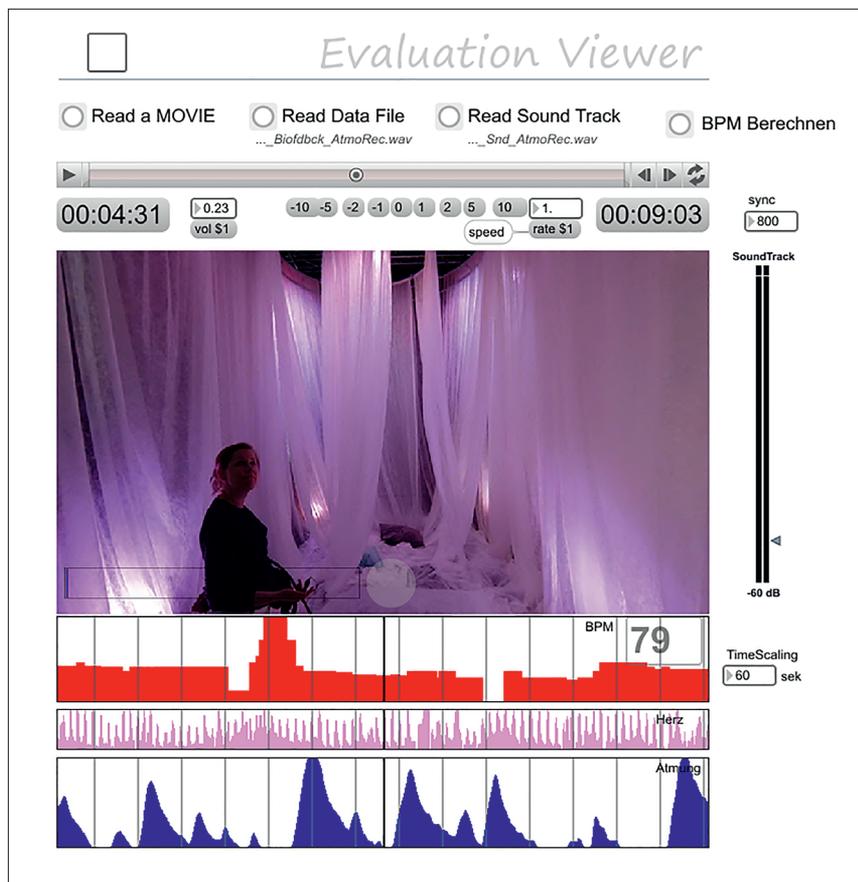
hermeneutisch durch die Analyse der Diskurse, sondern auch empirisch untersucht werden. Am Institut für Experimentelle Design- und Medienkulturen der Hochschule für Gestaltung und Kunst (Fachhochschule Nordwestschweiz) in Basel leitete ich dazu von 2015 bis 2017 ein interdisziplinäres, vom Schweizer Nationalfonds gefördertes Pilotprojekt mit dem Titel „Gestaltete Unmittelbarkeit. Atmosphärisches Erleben in einer affektiv-responsiven Umgebung“. Ausgehend von der Frage, wie sich responsive, technisch gesteuerte Räume auf das leibliche Empfinden des Menschen auswirken und welche Rückkoppelungseffekte zwischen Raum und Mensch entstehen, gestaltete unser Team einen abstrakten Raum, in dem Testpersonen sich frei und ohne Aufgabenstellung bewegen konnten. Ohne es zu wissen, konnten sie über Sensoren mit ihrem Atem, ihrer Bewegung und ihrer Pulsfrequenz Raumelemente steuern: den Sound, das Licht und die Luftzirkulation über Ventilatoren.

Die Testpersonen wurden direkt nach ihrem etwa zehnminütigen Aufenthalt befragt, ebenso wurden ihre Aktivitäten in dem von außen nicht einsehbaren Raum gefilmt. Die Auswertung der Interviews wurde anschließend zu den biosensorischen Daten und den Filmaufnahmen, die mittels einer eigens entwickelten Software zusammengeführt wurden, in Bezug gesetzt.

Angesichts der recht einfachen Versuchsanordnung, die strukturell auf dem kybernetischen Feedbackloop basierte, waren die Ergebnisse durchaus komplex. So entwickelten die Testpersonen verschiedene Strategien, um sich trotz der Fremdheit des Raumes wohlfühlen zu können. Diese bestanden zum einen in der imaginativ-emotionalen Aneignung des Raums, indem mittels Assoziationen vertraute Situationen evoziert wurden. So wurden dem abstrakten Sound bekannte Geräusche zugeordnet (Meeresrauschen, Wind, Autobahn) und dem Raum eine Schutzfunktion z.B. mit der Vorstellung zugeschrieben, sich in einem Himmelbett oder einem Strandkorb am Meer zu befinden. Elemente des Raumes wurden emotional besetzt (das Licht wurde als „nervös“, der Ventilator als „langweilig“, der Stoff als „sanft“ und „zärtlich“ bezeichnet etc.). Zum anderen wurde der Raum von den Testpersonen auch kognitiv-analytisch auf seine Funktionsweise hin erkundet. Im Verlauf der verschiedenen Testreihen ließen sich so Aneignungs- und Verhaltensmuster



3 Der experimentelle responsive Raum.



4 Die Software zur Auswertung der Daten.

identifizieren, die dem Ziel der Herstellung eines harmonischen Gleichgewichts mit dem Raum und dessen Elementen dienen – „angenehm“ war eines der am meisten benutzten Worte bei der Beschreibung des eigenen Empfindens.

Dieses Adaptionsverhalten lässt weitere Schlüsse für unser Verhältnis zu unsichtbaren Technologien zu: Wenn wir danach streben, uns an unsere Umgebung anzupassen,

dann kann diese vermutlich sehr viel mehr steuern als nur unser Verhalten – sie greift auch tief in unsere „Software“ der Wahrnehmung und des Empfindens ein. Darüber hinaus scheint es ein grundlegendes menschliches Bedürfnis zu sein, den Eindruck von Unmittelbarkeit aktiv zu erzeugen, weshalb sich Technologien und Menschen in dieser Zielsetzung geradezu komplementär ergänzen. Doch um diese

Hypothese zu belegen, bedarf es weiterer Studien sowie medien- und kulturhistorischer Identifizierungen von Unmittelbarkeitstopoi und -topologien. Das ist umso relevanter, als zu vermuten ist, dass Alexa nicht von harmlosen elektrischen Schafen träumt, sondern von ungeheuren Datenmengen, die sie den Nutzern durch ihr scheinbar so hilfsbereites Wesen entlockt. Und auch darum geht es in der Medienästhetik: Solche Träume durch die Hinterfragung der Konsequenzen technischer Entwicklungen und durch die medien- und kulturtheoretische Einordnung ihrer Grundprämissen explizit zu machen, damit wir wenigstens bewusst über den Grad unserer Programmierungen entscheiden können.

## Literatur

Christiane Heibach, Immersive Realitäten? Zur Wirkung verschwindender Technologien. In: Lars Grabbe, Patrick Rupert-Kruse & Norbert Schmitz (Hg.), *Immersion – Design – Art Revisited*, Darmstadt: Büchner, im Druck.

Christiane Heibach (Hg.), *Atmosphären. Dimensionen eines diffusen Phänomens*, München: Fink 2012.

Marshall McLuhan, *Die magischen Kanäle. Understanding Media*. Düsseldorf: ECON 1968.

Jan Torpus, Christiane Heibach, Andreas Simon, Ambient Intelligence? Experiential Qualities of Reactive Environments. In: *Congress Proceedings of the 3rd International Conference on Ambiances (Volos/Gr, Sept. 21–24, 2016)*, S. 553–558, online: <http://ambiances2016.arch.uth.gr/en/article-submission/congress-proceedings> (22.10.2017).

Mark Weiser, The Computer for the 21st Century, in: *Scientific American* Vol. 265, Nr. 3 (Sept. 1991), S. 94–104, online: <https://www.ics.uci.edu/~corps/phaseii/Weiser-Computer21stCentury-SciAm.pdf> (22.10.2017).



© Samuel Hanselmann

Prof. Dr. phil. habil. **Christiane Heibach**, geb. 1967 in Lourenço Marques/Mosambik, 1985–1991 Studium der Germanistik, Geschichte, Philosophie in Bamberg, Paris und Heidelberg, 2000 Promotion in Deutscher Philologie, 1999–2008 wissenschaftliche Assistentin am Lehrstuhl für Vergleichende Literaturwissenschaft mit den Schwerpunkten Kultur- und Medientheorie, Mediengeschichte der Universität Erfurt (Habilitation 2007). 2009–2013 DFG-Projekt (Eigene Stelle) „Epistemologie der Multimedialität“ an der Hochschule für Gestaltung Karlsruhe, 2015–2017 Leiterin des SNF-Pilotprojekts „Gestaltete Unmittelbarkeit. Atmosphärisches Erleben in einer affektiv-responsiven Umgebung“ am Institut Experimentelle Design- und Medienkulturen der Hochschule für Gestaltung und Kunst, FHNW Basel. Seit April 2016 Professorin für Medienästhetik am Institut für Information und Medien, Sprache und Kultur der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Ästhetik, Theorie und Geschichte digitaler Medien, Ästhetik multimedialer und intermedialer Kunstformen, Medienepistemologie.

# Prozessorientiertes Qualitätsmanagement in Zeiten der Digitalisierung

## Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Lehrstuhl für Business Engineering an der Universität Regensburg

Florian Johannsen

Dem prozessorientierten Qualitätsmanagement kommt in Zeiten der Digitalisierung enorme Bedeutung zu. Bedingt durch neue Technologien können Konsumenten sehr einfach Informationen über Produkte, Anbieter oder die günstigsten Angebote einholen und zudem über soziale Plattformen Erfahrungen austauschen. Dies führt dazu, dass sich die Erwartungshaltung der Kunden sehr rasch ändert und Unternehmen ihre Geschäftsprozesse entsprechend anpassen bzw. verbessern müssen, um Konsumenten langfristig zu binden. Allerdings erweist sich die Durchführung von Prozessverbesserungsprojekten in der Praxis oft als herausfordernd, was häufig auf eine mangelhafte Kommunikation bzw. Dokumentation von Projektergebnissen zurückzuführen ist. Aus diesem Grund wurden ein Verbesserungsansatz für Geschäftsprozesse entwickelt und ein Softwaretool realisiert, um Unternehmen bei der zielgerichteten Durchführung von prozessorientierten Qualitätsmanagementprojekten zu unterstützen. Die vorgestellte Lösung trägt maßgeblich zur systematischen Erarbeitung, Dokumentation sowie Kommunikation von Projektergebnissen bei und leistet auf diese Weise einen wichtigen Beitrag für den Erfolg von Prozessverbesserungsinitiativen.

### Bedeutung des prozessorientierten Qualitätsmanagements in Zeiten der Digitalisierung

Der Umgang mit der Digitalisierung stellt viele Unternehmen vor zentrale Herausforderungen. So drängen neue Technologien auf den Markt, z.B. Cloud-Computing, soziale Netzwerke etc., welche die Markttransparenz erhöhen und gleichzeitig die Informationsasymmetrie zwischen Käufern und Verkäufern nachhaltig reduzieren. Beispielsweise ermöglichen es Preisvergleichsportale, für ein bestimmtes Produkt den günstigsten Anbieter oder das Angebot zu den besten Konditionen zu finden. Daher wird es für Unternehmen zunehmend schwieriger, Kunden langfristig an sich zu binden. Gleichzeitig tauschen Konsumenten ihre Erfahrungen über Bewertungsplattformen aus und nutzen vermehrt digitale Kanäle, z.B. soziale Netzwerke, um mit Unternehmen in Kontakt zu treten, z.B. im Rahmen des Kundenservice.

Vor diesem Hintergrund nimmt das prozessorientierte Qualitätsmanagement in Unternehmen eine zentrale Rolle ein. Das prozessorientierte Qualitätsmanagement versucht gezielt, die Kundenbedürfnisse zu identifizieren, um daraufhin die Geschäftsprozesse systematisch an der Erwartungshaltung der Konsumenten auszurichten. Dabei stellt ein Geschäftsprozess,

der das Untersuchungsobjekt verkörpert, eine Abfolge von Aktivitäten dar, um eine spezifische betriebliche Aufgabe zu erfüllen, z.B. der Produktentwicklungsprozess oder der Beschwerdemanagementprozess. Obwohl zahlreiche Methoden und Techniken für das prozessorientierte Qualitätsmanagement existieren, erweist sich die Durchführung entsprechender Initiativen häufig als komplex. Ursächlich hierfür ist u.a. die mangelhafte Dokumentation bzw. Kommunikation von Projektergebnissen innerhalb eines Unternehmens – oder über Firmengrenzen hinaus – sowie die Unsicherheit darüber, mit welchen Qualitätsmanagementansätzen die gesteckten Qualitätsziele am besten erreicht werden können.

In diesem Beitrag wird die Arbeit zum prozessorientierten Qualitätsmanagement, welche am Lehrstuhl für Business Engineering entstanden ist und Unternehmen zielgerichtet bei Prozessverbesserungsinitiativen unterstützt, vorgestellt.

### Prozessorientiertes Qualitätsmanagement als Herausforderung für Unternehmen

Obwohl das prozessorientierte Qualitätsmanagement in heutigen Unternehmen zu den wichtigsten Themen gehört, existieren

dennoch zentrale Herausforderungen, denen sich Qualitätsmanager und Prozessverantwortliche stellen müssen.

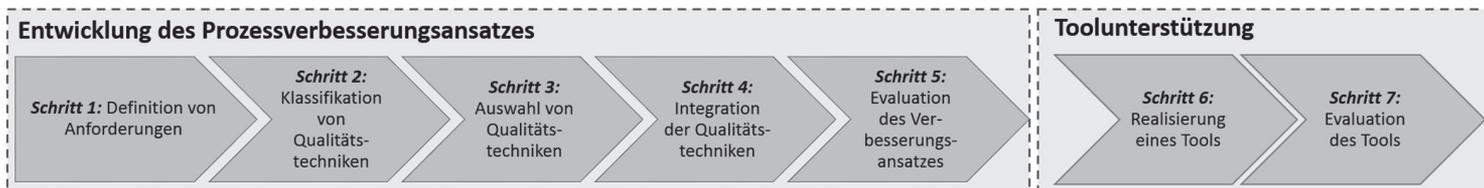
Erstens verändert sich die Erwartung von Kunden an Produkte und Dienstleistungen in der heutigen Zeit sehr schnell. Dies ist vor allem auf die große Verbreitung digitaler Technologien zurückzuführen sowie auf die dadurch bedingte zeit- und ortsunabhängige Verfügbarkeit von Informationen, z. B. über Anbieter und Produkte. Zweitens wird Wertschöpfung verstärkt im Rahmen firmenübergreifender Kollaborationen betrieben. Dabei gilt es bei der Optimierung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse darauf zu achten, dass alle an der Wertschöpfung beteiligten Unternehmen an entsprechenden Qualitätsmanagementprojekten partizipieren. In diesem Zusammenhang müssen die erarbeiteten Ergebnisse sorgfältig dokumentiert und an alle Kollaborationspartner, über Unternehmensgrenzen hinweg, kommuniziert werden. Drittens stellt die Aus-

bessern können. Gleichzeitig bedarf es geeigneter Software, um Mitarbeiter bei der Durchführung von Prozessverbesserungsinitiativen zu unterstützen sowie die erarbeiteten Ergebnisse zu dokumentieren und unternehmensintern sowie -extern – an Partnerunternehmen – zu kommunizieren.

### Forschungs- und Entwicklungsarbeit am Lehrstuhl für Business Engineering zum prozessorientierten Qualitätsmanagement

Am Lehrstuhl für Business Engineering der Universität Regensburg wurde in Kooperation mit der Universität Wien eine Lösung entwickelt, welche sich aus einem konzeptuellen Ansatz zur Durchführung von Prozessverbesserungsprojekten sowie einem Softwaretool namens „RUPERT“ (Regensburg University Process Excellence and Reengineering Toolkit) zusammensetzt, um

„Improve: Verbessere den Prozess“ sowie „Control: Kontrolliere die Prozessleistung“ – als geeignetes Vorgehen für den Prozessverbesserungsansatz erachtet. Gleichzeitig wurde beschlossen, dass der Prozessverbesserungsansatz nicht mehr als max. 15 Qualitätstechniken umfassen sollte, um seine Komplexität gering zu halten. Danach wurden die angestrebten Eigenschaften der Qualitätstechniken formuliert (Kategorie 2), um die vorab determinierten Aktivitäten des Verbesserungsansatzes zu unterstützen. Um möglichst allen Mitarbeitern eines Unternehmens die Anwendung des Ansatzes zu ermöglichen, standen vor allem die leichte Erlernbarkeit der Techniken, deren hohe Flexibilität sowie deren Eignung für einen Einsatz in Workshops im Vordergrund. Zuletzt galt es, die gewünschten Synergien bzw. Wechselwirkungen zwischen den Qualitätstechniken zu spezifizieren (Kategorie 3). So wurde beispielsweise definiert, dass die von einer Qualitätstechnik in einer



1 Vorgehen und Arbeitsschritte der Untersuchung. Die durchlaufenen Arbeitsschritte untergliedern sich in solche, welche die Entwicklung eines konzeptuellen Prozessverbesserungsansatzes anstreben, sowie in Aktivitäten zur Implementierung eines entsprechenden Softwaretools.

wahl geeigneter Methoden und Techniken für prozessorientierte Qualitätsmanagementprojekte eine Hürde dar. Obwohl sich in der Literatur eine Vielzahl an Methoden (z. B. Six Sigma, Lean Management, Total Quality Management) und Techniken (z. B. Ursache-Wirkungsdiagramm, Value-Stream-Map) findet, sind viele Unternehmen unsicher, mit welchen dieser Ansätze sich die angestrebten Qualitätsziele letztendlich erreichen lassen. Gleichzeitig zeigen Studien, dass viele ganzheitliche Qualitätsmanagementmethoden als zu umfassend oder zu komplex in ihrer Anwendung erachtet werden.

Angesichts dieser Herausforderungen benötigen Unternehmen prozessorientierte Qualitätsmanagementansätze, welche an die Anforderungen ihrer Mitarbeiter adaptiert und gleichzeitig einfach in der Handhabung sind, so dass alle Projektmitarbeiter – unabhängig von ihrem Kenntnisstand zum prozessorientierten Qualitätsmanagement – fortlaufend Geschäftsprozesse ver-

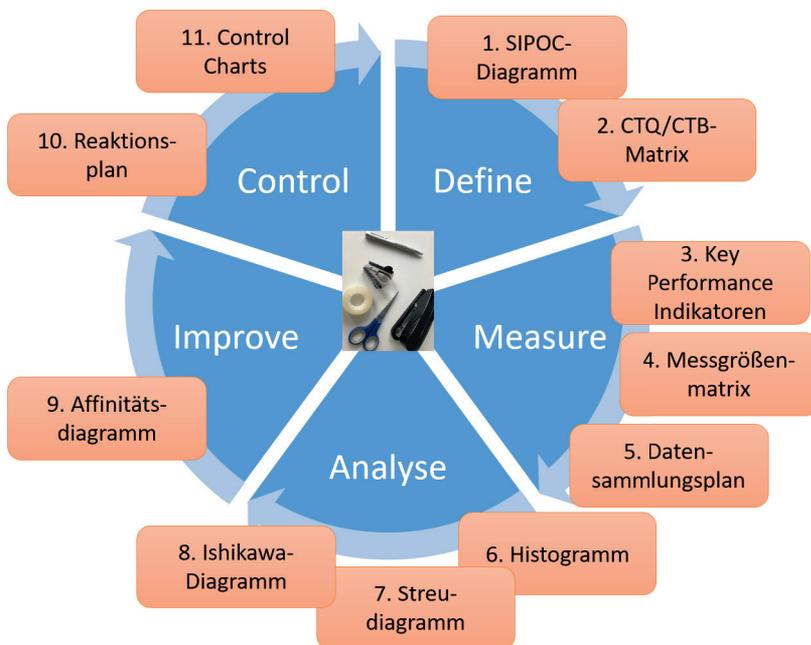
Mitarbeiter in Prozessinitiativen anzuleiten bzw. zu unterstützen. Das Vorgehen des Forschungsvorhabens wird in Abbildung [1] dargestellt.

Schritt 1: Für die Entwicklung eines konzeptuellen Prozessverbesserungsansatzes galt es, in einem ersten Schritt Anforderungen zu definieren. Diese ließen sich in die Kategorien 1) Umfang des Ansatzes, 2) Eigenschaften der berücksichtigten Qualitätstechniken sowie 3) Wechselwirkungen zwischen Qualitätstechniken untergliedern. Dabei wurde im Rahmen der ersten Kategorie festgelegt, auf Basis welcher Aktivitäten, z. B. Analyse der Problemursachen, Modellierung des Prozesses oder Identifikation der Kundenanforderungen, die Verbesserung eines Prozesses zu vollziehen ist und in welcher Reihenfolge die Aktivitäten auszuführen sind. Im vorliegenden Fall wurden die Phasen des Six Sigma-Zyklus – „Define: Definiere das Problem“, „Measure: Messe die Prozessleistung“, „Analyse: Analysiere die Prob-

spezifischen Phase erarbeiteten Ergebnisse von einer anderen Qualitätstechnik unmittelbar aufgegriffen und weiterverarbeitet werden sollen. Zudem sollten die Qualitätstechniken in einer sukzessiven Reihenfolge ausgeführt werden.

Schritte 2 und 3: In einem zweiten Schritt wurden Qualitätstechniken aus der Literatur zusammengetragen und klassifiziert, wie z. B. Kreativitätstechniken oder statistische Techniken. Dies stellte die Grundlage für die anschließende Selektion von Qualitätstechniken für den Prozessverbesserungsansatz dar. Insgesamt wurden mehr als 100 Qualitätstechniken aus der Literatur gesichtet und – auf Basis der in Schritt 1 festgelegten Anforderungen – bewertet.

Schritte 4 und 5: Anschließend wurden die auf diese Weise priorisierten und selektierten Qualitätstechniken – im Sinne eines Vorgehensmodells – in einer zeitlich-sachlogischen Reihenfolge angeordnet. Der so entstandene Prozessverbesserungs-



2 Schema des Prozessverbesserungsansatzes. Der Einsatz der Qualitätstechniken wird entlang der Phasen des Six Sigma-Zyklus „Define“, „Measure“, „Analyse“, „Improve“ und „Control“ strukturiert. Dadurch weiß der Anwender genau, wann im Projekt welche Qualitätstechnik einzusetzen ist.

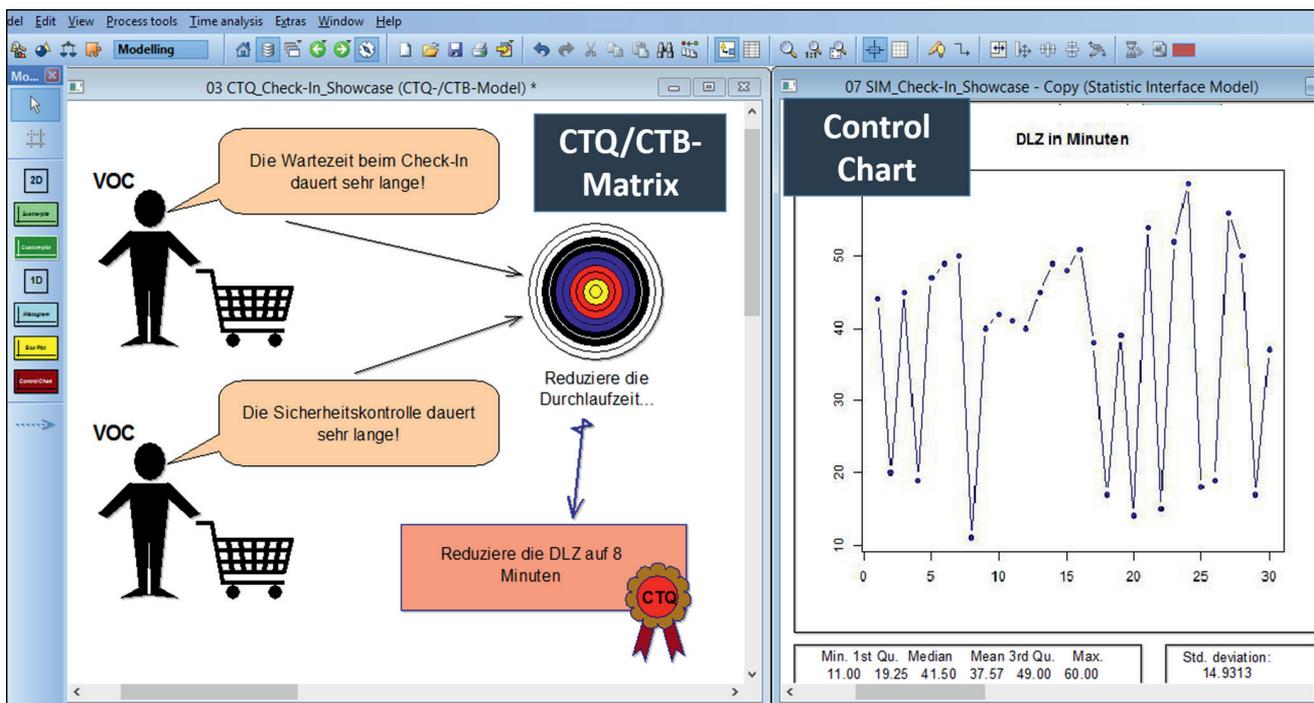
ansatz wurde dann in mehreren Projekten bei Partnerunternehmen aus dem Finanzdienstleistungssektor bzw. der Automobilbranche getestet.

Der Verbesserungsansatz selbst stellt sich wie in Abbildung [2] gezeigt dar: Die Phase „Define“ eines Projekts setzt sich

mit der Visualisierung des zu verbessern den Geschäftsprozesses sowie der Identifikation der Kundenwünsche auseinander. Hierzu sieht der Ansatz zunächst die Erstellung eines SIPOC-Diagramms, und damit einer generischen Prozessbeschreibung, vor (siehe auch [4]), um nachfolgend die Kun-

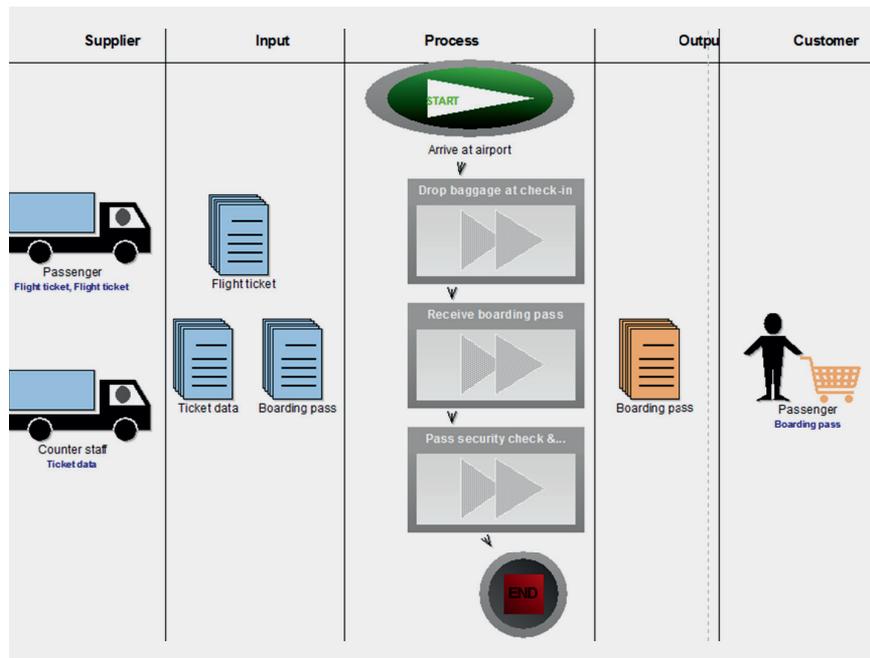
denwünsche mittels der CTQ/CTB-Matrix, und damit einer Technik zur Strukturierung von Kundenbedürfnissen, zu spezifizieren (siehe auch [3]). In der „Measure“-Phase wird geprüft, inwiefern die aktuelle Prozesseleistung mit der Erwartungshaltung der Kunden übereinstimmt. Zu diesem Zweck werden sogenannte Key Performance Indikatoren, also Kennzahlen zur Leistungsmessung (z. B. Durchlaufzeiten), definiert und anschließend entsprechende Messdaten erhoben. Unterstützend kommen hier die Messgrößenmatrix sowie ein Datensammlungsplan zum Einsatz. In der Projektphase „Analyse“ werden die Ursachen für eine nicht zufriedenstellende Leistung des Prozesses ermittelt. Dabei werden die vorab gesammelten Messdaten ausgewertet (Histogramme, Streudiagramme) sowie Problemursachen systematisch strukturiert (Ishikawa-Diagramm). Anschließend werden Verbesserungsvorschläge entwickelt und mittels des Affinitätsdiagramms priorisiert (Phase „Improve“). Nach der Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen ist mittels des Reaktionsplans festzulegen, wie einer künftigen Schwankung der Prozesseleistung begegnet werden soll. Gleichzeitig ist der Prozess kontinuierlich zu überwachen und seine Leistung anhand von Control Charts zu messen.

Schritte 6 und 7: Für die technische Umsetzung des Prozessverbesserungsans-



3 Screenshot aus dem Tool „RUPERT“. Dieser Screenshot hebt auf der linken Bildhälfte die CTQ/CTB-Matrix hervor. Mittels dieser werden Kundenanforderungen identifiziert, klassifiziert und zu Qualitätszielen verdichtet. Die rechte Bildhälfte zeigt die automatisierte Datenauswertung erhobener Messdaten, um die aktuelle Leistung eines Prozesses zu beurteilen.

satzes – in Form des Modellierungstools „RUPERT“ – wurde auf die frei verfügbare Metamodellierungsplattform ADOxx (www.adoxx.org) zurückgegriffen, welche bereits seit mehr als 15 Jahren erfolgreich in Forschung und Praxis eingesetzt wird. In diesem Zusammenhang galt es, die Qualitätstechniken des oben gezeigten Prozessverbesserungsansatzes in Form von Metamodellen zu spezifizieren. Dabei kann, im vorliegenden Fall, ein Metamodell als Abbildungsvorschrift verstanden werden, wie auf Basis von Informationen oder Mitarbeiterwissen mittels einer Qualitätstechnik systematisch Ergebnisse erarbeitet werden. Anschließend wurden die Metamodelle formalisiert und damit die Grundlage für deren Implementierung geschaffen. In Abbildung [3] wird beispielhaft ein Screenshot des implementierten Tools gezeigt, wobei die CTQ/CTB-Matrix sowie die Datenauswertung mittels Control Charts im Mittelpunkt stehen.



4 SIPOC-Diagramm zum Check-In-Prozess. Das Diagramm verdeutlicht die zentralen Schritte des Check-In-Prozesses. Dadurch erhält der Anwender einen schnellen Überblick über den Prozess und erkennt erste Ansatzpunkte für Verbesserungen.

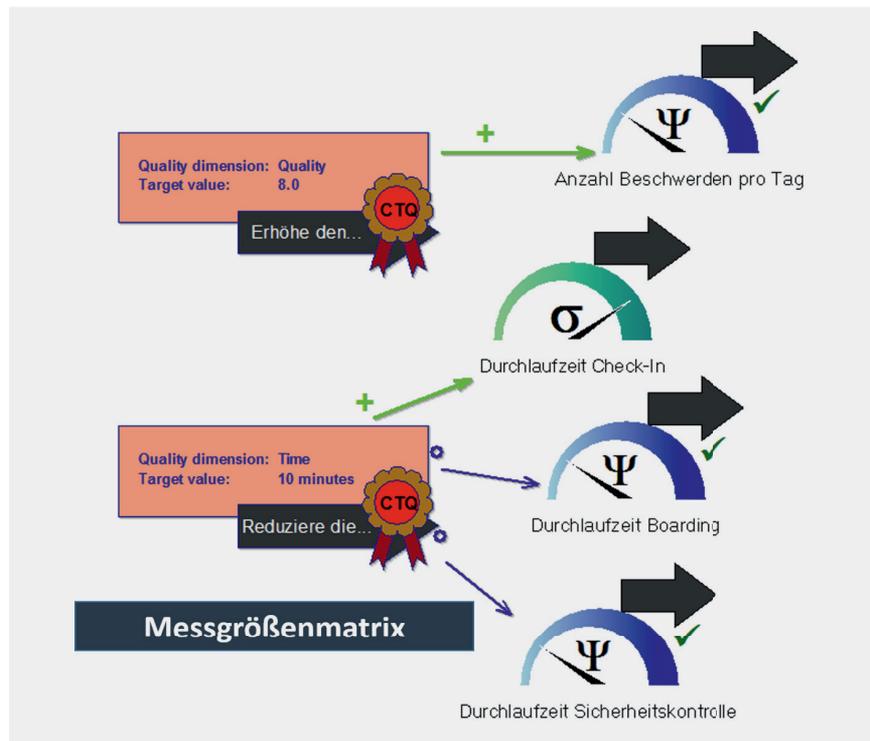
### Demonstration des Prozessverbesserungsansatzes: Check-In-Prozess am Flughafen

Im Folgenden soll die Funktionsweise des entwickelten Prozessverbesserungsansatzes sowie des zugehörigen Tools „RUPERT“, welche auf Basis des in Abbildung [1] gezeigten Vorgehens erstellt wurden, anhand des Beispiels eines Check-In-Prozesses am Flughafen beschrieben werden. Der Prozess gestaltet sich wie folgt: Nachdem der Passagier am Flughafen angekommen ist, gibt er seine Koffer bei der Gepäckabgabe auf. Dort prüft ein Mitarbeiter des Bodenpersonals die Personalien sowie das Flugticket des Passagiers. Anschließend erzeugt der Mitarbeiter eine Bordkarte und händigt diese dem Passagier aus. Danach begibt sich der Passagier zum Sicherheitscheck. Dort legt er dem Sicherheitspersonal seine Bordkarte vor und übergibt sein Handgepäck. Nach dem absolvierten Sicherheitscheck geht der Passagier zu seinem Abflug-Gate. Nachdem der offizielle Aufruf zum Boarding erfolgt ist, betritt der Passagier das Flugzeug.

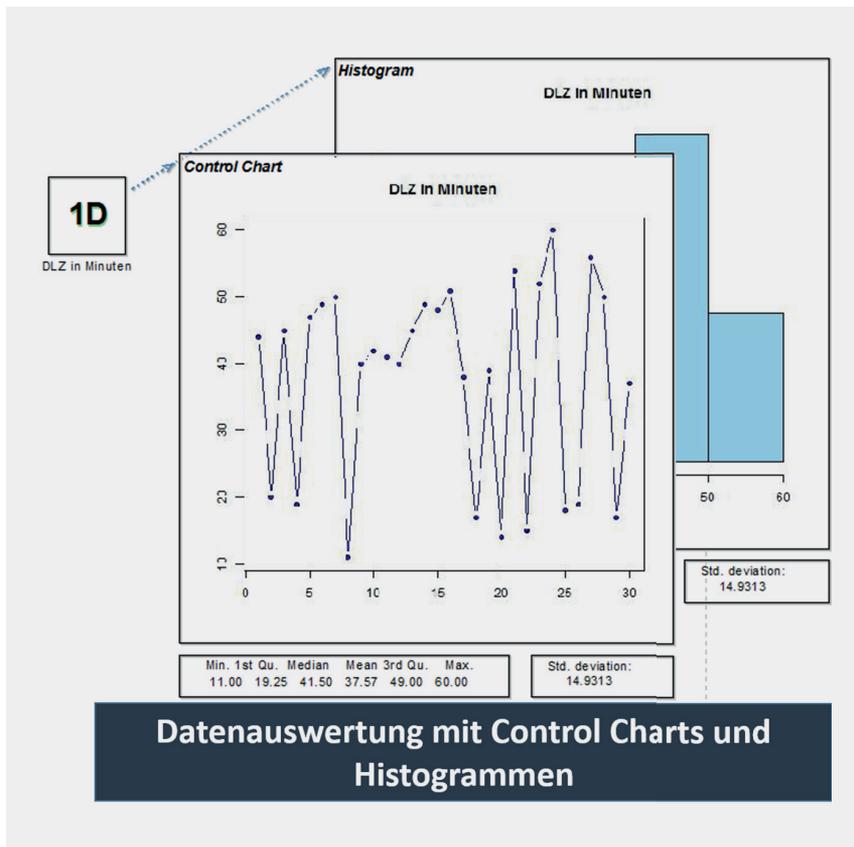
Ein Überblick über diesen Prozess wird in Abbildung [4] mit Hilfe des SIPOC-Diagramms gegeben. Dabei werden neben den Aktivitäten des Prozesses auch die zu verarbeitenden Daten (Input und Output) sowie die Prozessbeteiligten (Customer, Supplier) abgebildet.

Mittels der CTQ/CTB-Matrix werden anschließend die Anforderungen der Kunden (Passagiere) sowie Mitarbeiter identifiziert und zu qualitätskritischen Merkmalen (Qualitätsziele) verdichtet. Beispielsweise beklagen in unserem Beispiel viele Passagiere die

langen Wartezeiten am Check-In-Schalter sowie die fehlende Hilfsbereitschaft des Bodenpersonals. Gleichzeitig bemängelt das Bodenpersonal die hohe Arbeitsbelastung, welche auf das Bereinigen von Fehlern, die während der täglichen Arbeit auf-



5 Die Messgrößenmatrix zum Check-In-Prozess. Die Qualitätstechnik „Messgrößenmatrix“ ordnet die definierten Qualitätsziele entsprechenden Key Performance Indikatoren zu. So wird klar dargestellt, wie sich der Zielerreichungsgrad messen lässt.



6 Ausschnitt aus der Datenauswertung. Über eine Schnittstelle zur Statistik-Software „R“ können Messdaten automatisiert ausgewertet und die Ergebnisse unmittelbar angezeigt werden. Auf diese Weise ist die objektive Bewertung der Leistung eines Prozesses sichergestellt. Im Beispiel wird die Schwankung bei den Wartezeiten am Check-In Schalter deutlich.

treten, zurückzuführen ist. Folglich werden vor dem Hintergrund dieser Aussagen drei Qualitätsziele formuliert, namentlich 1. die Senkung der Wartezeiten am Schalter auf 10 Minuten, 2. die Erhöhung des Kundenzufriedenheitsindex sowie 3. die Reduktion der Fehlerrate auf 0%. Um die derzeitige Leistung des Prozesses messen zu können, werden Key Performance Indikatoren (KPIs) hinsichtlich der Faktoren „Zeit“, „Servicequalität“ und „Fehlerrate“ formuliert. Die KPIs werden dann, unter Zuhilfenahme der Messgrößenmatrix, den vorab definierten Qualitätszielen zugeordnet. Auf diese Weise wird deutlich, welche KPIs zur Messung spezifischer Qualitätsziele geeignet sind [5].

Mittels des Datensammelplans wird festgelegt, welcher Mitarbeiter für die Erhebung der Messdaten verantwortlich ist, bevor die Daten zielgerichtet ausgewertet werden können. Für die Datenauswertung sieht das Tool „RUPERT“ eine Schnittstelle zur frei verfügbaren Statistiksoftware „R“ ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) vor [6].

Danach erfolgt die Suche nach Ursachen für das Nicht-Erreichen der Qua-

litätsziele. An diesem Punkt kommt das Ishikawa-Diagramm zum Einsatz. Beispielsweise stellt sich heraus, dass veraltete IT-Systeme oder Fehleingaben des Bodenpersonals maßgeblich zu den langen Wartezeiten für Passagiere beitragen. Mittels des Affinitätsdiagramms werden anschließend Maßnahmen zur Verbesserung der derzeitigen Ist-Situation definiert. Diese können beispielsweise das gezielte Training des Bodenpersonals, die Erneuerung der IT oder eine bessere Informationsversorgung für Passagiere umfassen.

## Diskussion und Ausblick

Eine wesentliche Herausforderung von prozessorientierten Qualitätsmanagementprojekten liegt in der Selektion geeigneter Qualitätstechniken sowie der Dokumentation, Kommunikation und Weiterverarbeitung erzielter Ergebnisse. Dies gilt insbesondere für kollaborative Szenarien in Zeiten der Digitalisierung, in denen unterschiedliche Firmen gemeinschaftlich bzw. im Verbund Wertschöpfung betrei-

ben. Oftmals fehlt es in solchen Szenarien an einer ganzheitlichen Betrachtung der Wertschöpfungskette, was mit der Gefahr einhergeht, Verbesserungsvorschläge zu entwickeln, welche deren Auswirkung auf den Gesamtprozess nicht berücksichtigen. Gleichzeitig verwenden die kollaborierenden Partner in ihren Unternehmen oft verschiedene Qualitätsmanagementmethoden, was die Koordination unternehmensübergreifender Projekte erschwert und zu Doppelarbeiten führen kann. Mitarbeitern mangelt es zudem an der Zeit, sich detailliert in unterschiedliche Qualitätsmanagementansätze einzuarbeiten, was für die Konsolidierung der Ergebnisse verschiedener Projektgruppen, welche mit heterogenen Methoden arbeiten, hinderlich ist. Darüber hinaus werden viele existierende Qualitätsmanagementmethoden in der Praxis als zu umfassend und komplex wahrgenommen.

Der Erfolg von prozessorientierten Qualitätsmanagementprojekten hängt damit maßgeblich von der Partizipation aller an einer Kooperation beteiligten Partner, der Verwendung eines einheitlichen Verbesserungsansatzes – der zugleich von Mitarbeitern mit unterschiedlichen Kenntnisstand angewandt werden kann – sowie der effektiven Dokumentation und Kommunikation der erzielten Resultate ab. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Forschungsvorhaben ein Ansatz zur Prozessverbesserung vorgestellt, der im Rahmen der kollaborativen Wertschöpfung unmittelbar eingesetzt werden kann. Die Qualitätstechniken, die der Ansatz umfasst, sind in einer zeitlich-sachlogischen Reihenfolge angeordnet und zudem leicht erlernbar. Außerdem wurde das Softwaretool „RUPERT“ implementiert, welches die Dokumentation, Kommunikation und Weiterverarbeitung erarbeiteter Projektergebnisse entscheidend fördert. So speichert RUPERT Ergebnisse beispielsweise in einer zentralen Datenbank, so dass diese von Mitarbeitern jederzeit eingesehen und referenziert werden können. Durch die Realisierung des Tools als Client-Server-Lösung ist der Zugriff auf die Ergebnisse überdies auf unterschiedlichen Endgeräten und standortunabhängig möglich. In aktuellen Arbeiten wird die Anbindung des Softwaretools an soziale Kanäle angestrebt. Dabei ist angedacht, Kundenkommentare unmittelbar aus sozialen Plattformen, wie Facebook und Twitter, zu extrahieren, um auf diese Weise wertvolle Rückschlüsse auf die Konsumentenmeinung ziehen zu können.

## Literatur

Friedrich Rosenkranz, Geschäftsprozesse: Modell- und computergestützte Planung. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2002.

Peter Pande, Robert Neuman, Roland Cavanagh, The Six Sigma Way: How GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. New York et al. McGraw-Hill, 2000.

Diana Davis D, 3rd Biennial PEX Network Report: State of the Industry – Trends and Success Factors in Business Process Excellence. Report Process Excellence Network, 2013.

Florian Johannsen, Hans-Georg Fill, Codification of Knowledge in Business Process Improvement Projects. European Conference on Information Systems, Tel Aviv, 2014.

Hans-Georg Fill, Dimitris Karagiannis, On the Conceptualisation of Modelling Methods Using the ADOxx Meta Modelling Platform. Enterprise Modelling and Information Systems Architectures – An International Journal 8 (2013), S. 4–25.



© Privat

PD Dr. rer. pol. **Florian Johannsen**, geb. 1981 in Regensburg. Studium der Wirtschaftsinformatik in Regensburg, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik III an der Universität Regensburg. Promotion an der Universität Regensburg (2011). Akademischer Rat a. Z. am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik III an der Universität Regensburg, Habilitation an der Universität Regensburg (2017). Seit Oktober 2017 Vertretungsprofessor für Wirtschaftsinformatik (industriennahe Dienstleistungen) an der Universität Bremen.

**Forschungsschwerpunkte:** Prozessorientiertes Qualitätsmanagement, Prozessmodellierung, betrieblicher Social Media-Einsatz sowie Method Engineering.

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

**Rottal Inn Kliniken**  
Zuverlässig · Leistungsstark · Heimatnah



Die Rottal-Inn Kliniken bieten an ihren 3 Standorten leistungsstarke Medizin und sind Mitarbeitern und Patienten ein zuverlässiger Partner. Das zukunftsweisend strukturierte Krankenhausunternehmen garantiert mit seiner modernen Schwerpunktambulanz in Eggenfelden, den Spezialbereichen für Orthopädie und Innere Medizin / Altersmedizin am Standort Pfarrkirchen und der renommierten Fachambulanz für Psychosomatik in Simbach am Inn die optimale heimatnahe Versorgung.

Sind Sie auf der Suche nach einer bereichernden und abwechslungsreichen ärztlichen Tätigkeit? Können Sie sich vorstellen, eines unserer hoch motivierten Teams in einem dynamisch wachsenden Unternehmen zu verstärken?

Wir suchen • **Assistenzärzte (m/w)** • **Werkstudenten (m/w) im ärztlichen Bereich**

Die Angebote finden Sie unter [www.rottalinnkliniken.de](http://www.rottalinnkliniken.de) Unser Unternehmen überzeugt mit vielen Vorzügen und umfangreicher Unterstützung. Haben wir Ihr Interesse geweckt? Nutzen Sie die Chance und bewerben Sie sich bei uns. Weitere Informationen erhalten Sie unter Tel.: 08721-983 2117 oder E-Mail: [recruiting@rottalinnkliniken.de](mailto:recruiting@rottalinnkliniken.de)

Rottal-Inn Kliniken KU · Eggenfelden · Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Regensburg

# Sehen mit einem Zentralskotom

## Neuroplastische Veränderungen als Folge von Makuladegeneration

Mark W. Greenlee, Tina Plank

In Deutschland sind schätzungsweise drei Millionen Menschen von der altersabhängigen Makuladegeneration betroffen. Bei der Makuladegeneration wird speziell die zentrale Stelle des schärfsten Sehens auf der Netzhaut zerstört oder geschädigt, was zu einem Sehkraftverlust und damit zur Abnahme der Lesefähigkeit führt. Das Sehen im äußeren Gesichtsfeld bleibt meist erhalten.

Im Rahmen einer von der DFG geförderten Forschergruppe (<http://www.uni-regensburg.de/FOR1075>) befassen wir uns seit 2008 mit den Folgen von zentralen Gesichtsfeldausfällen auf das Gehirn. In Zusammenarbeit mit der Augenklinik des Universitätsklinikums Regensburg untersuchen wir Patienten mit juvenilen Makulaerkrankungen (JMD, vor allem erblichen Netzhautdystrophien, wie z.B. Morbus Stargardt, und Zapfen-Stäbchendystrophie) sowie altersabhängiger Makuladegeneration (AMD) mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT), während sie verschiedene Sehaufgaben absolvieren. Hierbei interessiert uns besonders, inwiefern es aufgrund des durch die Erkrankung entstehenden zentralen Gesichtsfeldausfalls (Zentralskotom) zu Umstrukturierungen in visuellen Arealen des Gehirns kommt, und ob spezielle Trainingsmaßnahmen eine solche Anpassung des Gehirns begünstigen können. In diesem Zusammenhang spielt die neuronale Verarbeitung von Sehreizen in der Sehrinde eine wichtige Rolle.

### Neuronale Verarbeitung von Sehreizen

Ein Organisationsprinzip der neuronalen Verarbeitung von Seheindrücken ist die retinotopie Abbildung des Gesichtsfeldes im visuellen Kortex des Gehirns. Retinotopie bedeutet hier, dass benachbarte Bereiche im Gesichtsfeld auch auf benachbarte Bereiche im Gehirn abgebildet und von diesen verarbeitet werden. Hierbei fällt dem Bereich des schärfsten Sehens (Makula) im zentralen Gesichtsfeld ein im Verhältnis zur Peripherie vergrößerter Anteil des visuellen Kortex zu. Bei zentralen Gesichtsfeldausfällen aufgrund von Erkrankungen der Makula erhält daher ein vergleichsweise großer Bereich des visuellen Kortex keinen Input mehr. Patienten mit einem zentralen Gesichtsfeldausfall (Skotom) entwickeln zudem in der Regel einen neuen, bevorzugten Fixationsbereich auf noch intakter, peripherer Netzhaut, den sogenannten *preferred retinal locus* (PRL), der dann auch zum Lesen oder zum Fixieren von Objekten bzw. Gesichtern im Alltag verwendet wird.

Ein weiteres Organisationsprinzip ist der hierarchische Aufbau der visuellen Verarbeitung. Während frühe visuelle Areale vor allem die kleinen Details einer Szene analysieren, schreitet die Verarbeitung in den folgenden Seharealen fort. Schritt für Schritt werden hier, grob gesprochen, die einzelnen Elemente zu komplexeren Formen, zu ganzen Objekten und schließlich zu einer gesamten Szene zusammengesetzt.

Im Rahmen des Forschungsprojekts befassen wir uns mit den Auswirkungen eines

Zentralskotoms sowohl auf die frühe, retinotopie visuelle Verarbeitung wie auch auf die spätere, die mit der Objekterkennung in Beziehung steht. Reorganisiert sich die retinotopie Abbildung im frühen visuellen Kortex bei zentralen Sehstörungen? Verändert sich die Verarbeitung von Sehreizen an der bevorzugten exzentrischen Netzhautstelle (PRL)? Und welchen Einfluss hat möglicherweise die Blickstabilität (d.h. Fixation) am PRL?

### Verarbeitung in der Sehrinde nach zentralem Gesichtsfeldausfall

Möchte man die retinotopie Abbildung des Gesichtsfeldes im individuellen Gehirn sichtbar machen, so benutzt man in der Regel flackernde Schachbrettmuster, die nacheinander verschiedene Teile des Gesichtsfelds stimulieren. Auf diese Weise erhält man „Landkarten“ der Repräsentationsbereiche des Gesichtsfelds im visuellen Kortex [1].

Die Vermutung, dass diese „Landkarten“ bei Patienten aufgrund des Zentralskotoms systematisch und großflächig „verzerrt“ oder „verschoben“ wären, bestätigte sich bisher nicht [1]. Der zentrale Repräsentationsbereich im Kortex, der aufgrund des Skotoms keinen Input mehr erhält, bleibt bei dieser Art von Stimulation weitgehend „stumm“ und wird nicht zur Verarbeitung von Reizen aus dem benachbarten, intakten Gesichtsfeld herangezogen, wie von uns und anderen Autoren gezeigt werden konnte. Stimuliert man

jedoch das intakte, periphere Gesichtsfeld gezielt mit bedeutungshaltigem Material (z. B. Bildern von Alltagsgegenständen) oder verbindet man die Sehreize mit einer aktiven Aufgabe (z. B. Wiedererkennen von bereits gesehenen Objekten), dann findet man durchaus eine „Mitaktivierung“ des vormals „stummen“ zentralen Repräsentationsbereichs im Kortex. In unserer Studie finden wir gleichermaßen, dass die „Mitaktivierung“ des zentralen Bereichs bei Stimulation des PRLs stärker ausgeprägt ist als bei Stimulation einer nicht bevorzugten Stelle im gegenüberliegenden peripheren Gesichtsfeld. Eine weitere Beobachtung aus unserer Studie deutet ebenfalls auf die besonders gute Verarbeitung von Sehreizen am PRL hin: In den späteren visuellen Arealen, die für die Objekterkennung wichtig sind, führt eine Stimulation des PRL zu signifikant höheren Aktivierungen als eine Stimulation im gegenüberliegenden Gesichtsfeld. Eine erhöhte Aktivierung beim aktiven Sehen mit der Stelle im peripheren Gesichtsfeld, die von den Patienten bevorzugt im Alltag genutzt wird, spricht dafür, dass sich das Gehirn der Patienten an das erkrankte Auge angepasst hat.

Welchen Vorteil hat es nun, eine besonders hohe Stabilität der Fixation am PRL erreicht zu haben? Wir finden in unseren Untersuchungen, dass die Aktivierung gerade in objektspezifischen Arealen bei stabiler exzentrischer Fixation höher ausfällt als bei instabiler exzentrischer Fixation. Ob dies auch Auswirkungen auf Sehleistungen hat, testeten wir mit einer visuellen Suchaufgabe. Bei dieser Aufgabe sollten die Teilnehmer unter einer

Gruppe von gleichzeitig und nur sehr kurz dargebotenen Buchstaben „T“ den Zielbuchstaben „L“ finden. Der Zielbuchstabe „L“ wurde dabei in jedem Durchgang an einer anderen Stelle in einer kreisförmigen Anordnung im Gesichtsfeld präsentiert. Es stellte sich heraus, dass die teilnehmenden Patienten die Aufgabe insgesamt besser lösen konnten, wenn der Zielbuchstabe „L“ im Bereich des PRLs präsentiert wurde. Zudem zeigte sich aber, dass wiederum die Gruppe mit stabiler exzentrischer Fixation bei dieser Aufgabe signifikant besser war. Dies ging einher mit einer erhöhten Aktivierung im frühen visuellen Kortex bei Präsentation des Zielreizes, die wiederum bei stabiler Fixation besonders prägnant war. Bei einer unserer Untersuchungen zu strukturellen Veränderungen im Gehirn bei Netzhautdystrophien konnten wir zudem einen positiven Zusammenhang zwischen der Fixationsstabilität und dem Volumen an grauer Hirnsubstanz in einem Gehirnbereich finden, der u. a. mit der Blickbewegungssteuerung in Beziehung steht.

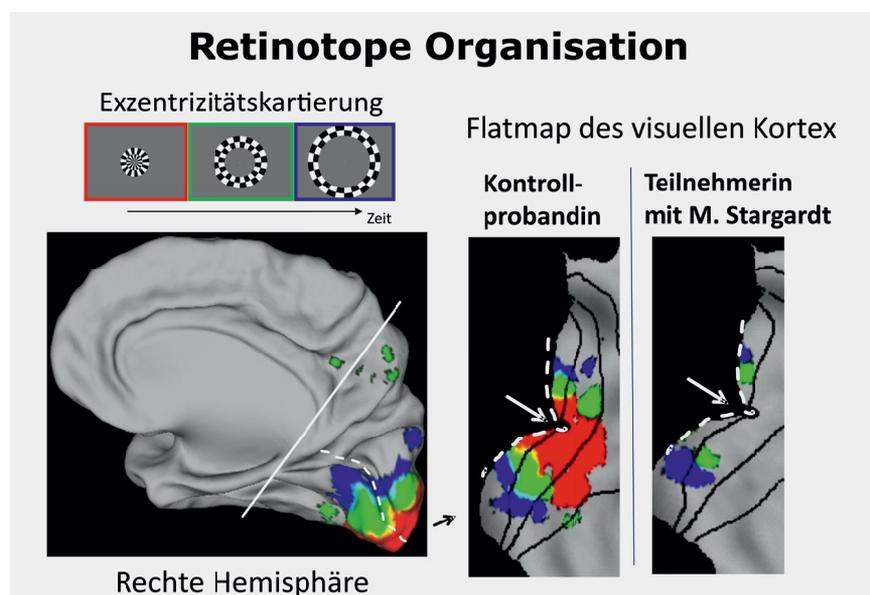
### Neuronale Veränderungen nach Trainingsmaßnahmen?

Aufgrund dieser Beobachtungen ist es naheliegend, auch mögliche Veränderungen des Gehirns nach Trainingsmaßnahmen zur Verbesserung des peripheren Sehens bei Zentralskotom zu untersuchen. Zu dieser Fragestellung führten wir bisher zwei Studien durch, zum einen ein Training zur Blickstabilisierung, zum anderen ein Train-

ing des PRLs durch perzeptuelles Lernen. Zur Blickstabilisierung am PRL trainierten wir neun Teilnehmer mit AMD über einen Zeitraum von sechs Monaten im exzentrischen Sehen. Zum Einsatz kamen hier Trainingsmaßnahmen, wie sie in der Literatur beschrieben werden. So bestand das Training aus einem exzentrischen Sehtraining mittels der Software *Xcentric Viewing* (vom Sehförderzentrum Chemnitz), einem Blickbewegungs- und einem Lesetraining mit Hyperokular. Im Laufe des Trainings konnten wir eine durchschnittliche Steigerung der Blickstabilität am PRL um 50% erreichen. Auch die Lesegeschwindigkeit stieg um durchschnittlich 24% und die Sehschärfe im Nahbereich um durchschnittlich 27% an. Im visuellen Kortex fanden wir einen positiven Zusammenhang zwischen dem Anstieg in der Gehirnaktivierung und der Zunahme der Blickstabilität während der Phase des Trainings, in der die Blickstabilisierung besonders erkennbar war. Dies zeigte sich sowohl in Arealen der frühen visuellen Verarbeitung als auch in denen der späteren Verarbeitung, die eine besondere Rolle für die Objekterkennung spielen. Wir konnten zudem eine Zunahme an grauer und weißer Hirnsubstanz im Kleinhirn im Trainingsverlauf feststellen. Wir vermuten, dass dieser Anstieg mit der verbesserten Blickbewegungssteuerung zusammenhängt.

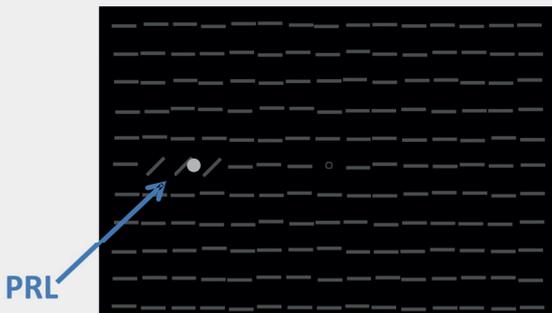
In der zweiten Studie zu diesem Thema setzten wir perzeptuelles Lernen ein, um das periphere Sehen an einem bereits etablierten PRL zu verbessern. Unter perzeptuellem Lernen versteht man ein Lernen, das unbewusst auf der Wahrnehmungs-

1 Stimuliert man den zentralen (rot), mittleren peripheren (grün) und äußeren peripheren (blau) Bereich des Gesichtsfeldes mit flackernden Schachbrettmustern, so lässt sich die mit den verschiedenen Exzentrizitäten korrespondierende Aktivierung im visuellen Kortex abbilden. Die Flatmap stellt hier eine Ausfaltung der Fläche des Kortex der jeweiligen Hirnhälfte (im Bild die rechte Hemisphäre) dar. Während bei einer Kontrollprobandin alle drei exzentrischen Bereiche Aktivierung zeigen, bleibt bei der Teilnehmerin mit Morbus Stargardt aufgrund des Zentralskotoms der zentrale Repräsentationsbereich im Kortex stumm.

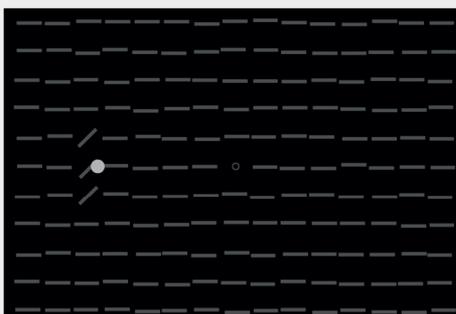


# Perzeptuelles Lernen am PRL

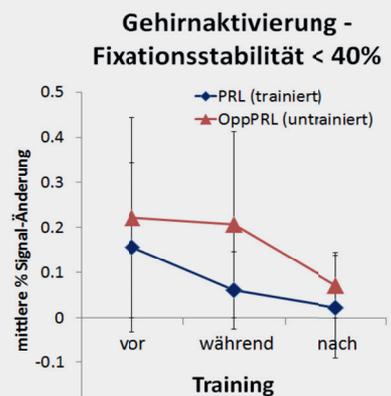
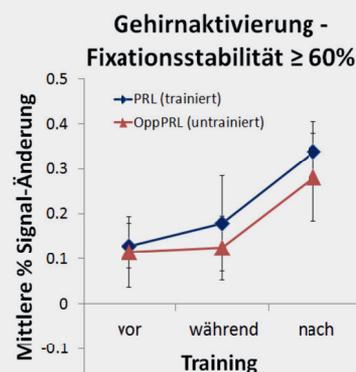
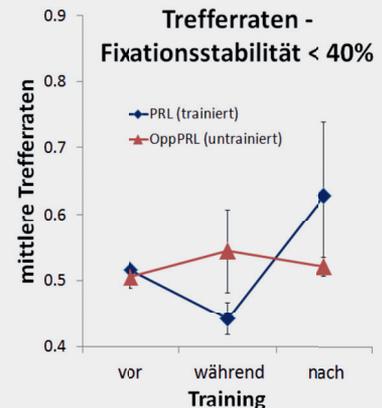
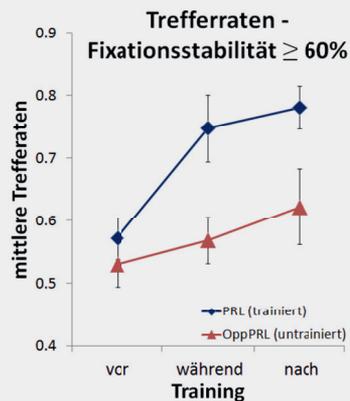
## Texturunterscheidungsaufgabe (Karni & Sagi, 1991)



Zielreiz waagrecht angeordnet



Zielreiz senkrecht angeordnet



2 Links: Reizsituation in der Texturunterscheidungsaufgabe. Aufgabe der Teilnehmer ist es, in jedem Durchgang zu entscheiden, ob der Zielreiz, bestehend aus drei geneigten Linien, waagrecht (oben) oder senkrecht (unten) angeordnet war. Dabei wird der Zielreiz am PRL jedes Teilnehmers für nur sehr kurze Zeit ( $< 14$  ms) dargeboten. Rechts: Trefferraten (oben) und Gehirnaktivierung (unten) im Verlauf des Trainings. Die blaue Linie zeigt die Entwicklung für Durchgänge, in denen der Zielreiz an der trainierten Stelle (PRL) dargeboten wurde, die rote Linie die Entwicklung für Durchgänge mit dem Zielreiz an einer untrainierten Stelle im gegenüberliegenden Gesichtsfeld (OppPRL). Teilnehmer mit stabiler Fixation und mit instabiler Fixation werden getrennt betrachtet. Die Fixationsstabilität wurde in einem unabhängig von der Aufgabe durchgeführten Fixationstest bestimmt. Die Teilnehmer mussten dabei über eine Dauer von 30 s ein  $4^\circ$  großes Kreuz fixieren. Es wurde dabei die Prozentzahl an Fixationen bestimmt, die in einem Bereich von  $2^\circ$  um das Zentrum des Fixationskreuzes lagen. Teilnehmer, bei denen mindestens 60 % der Fixationen in diesem Bereich lagen, wurden zu den „stabilen Fixierern“ gerechnet (mittlere Spalte), Teilnehmer, bei denen weniger als 40 % der Fixationen in diesen Bereich fielen, wurden zu den „instabilen Fixierern“ gezählt (Spalte ganz rechts).

ebene stattfindet. Eine Verbesserung stellt sich hier implizit über stetige Übung oder Erfahrung mit bestimmten Sehreizen ein. Ein Alltagsbeispiel hierfür wäre das wiederholte Spielen eines Computerspiels, bei dem die Schwierigkeit mit der Erfahrung ansteigt. In unserer Untersuchung benutzten wir eine Texturunterscheidungsaufgabe, die auch in früheren Untersuchungen zum perzeptuellen Lernen schon häufig zum Einsatz kam und erstmals von Avi Karni und Dov Sagi im Jahr 1991 beschrieben und systematisch untersucht wurde [2].

Bei dieser Aufgabe besteht der Zielreiz aus drei geneigten Linien vor einem

Hintergrund aus waagrechten Linien. In jedem Durchgang muss nun entschieden werden, ob die drei geneigten Linien zueinander senkrecht oder waagrecht angeordnet sind. Die Schwierigkeit besteht vor allem darin, dass der Zielreiz nur sehr kurz gezeigt wird ( $< 14$  ms) und von einem darauffolgenden Reiz (bestehend aus zufällig angeordneten Pfeilköpfen) maskiert wird. 13 Probanden mit AMD oder JMD nahmen an dieser Untersuchung teil. Die Aufgabe wurde über sechs Sitzungen hinweg, die über etwa drei Wochen verteilt waren, trainiert und wurde von drei MRT-Sitzungen begleitet. Im Verlauf des Trainings zeigten die Teilnehmer einen signifikanten

Lernerfolg: Sie brauchten immer weniger Darbietungszeit der Reize, um die Anordnung der geneigten Linien des Zielreizes zu erkennen. Auch die Gehirnaktivierung in frühen visuellen Arealen stieg mit dem Training moderat an. Es zeigte sich auch hier der Vorteil einer stabilen exzentrischen Fixation: Sowohl Lernerfolg, als auch Anstieg der Gehirnaktivierung waren bei den Teilnehmern mit hoher Blickstabilität ausgeprägter [2].

Die Beispiele zeigen, dass aktives Sehtraining Vorteile für Patienten mit einer Makuladegeneration haben kann. Auch das Gehirn von Erwachsenen weist eine gewisse Plastizität auf. Durch wiederholtes



Üben können Patienten lernen, exzentrisch zu fixieren und sich dadurch visuell besser orientieren. Auf diese Weise gewinnen die Patienten durch Sehtraining an Lebensqualität.

**Fazit**

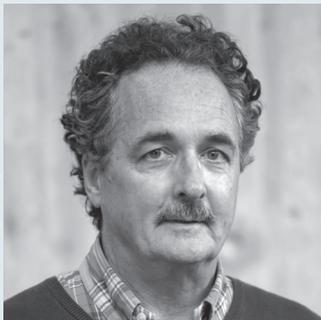
Durch das hohe Aufkommen an Seherkrankungen mit zunehmendem Alter wächst der Druck auf Versorgungseinrichtungen, ein adäquates Sehtraining für Patienten mit einem Zentralskotom anzubieten. Die oben dargestellten Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass die Stabilisierung des Blicks ein wichtiger Baustein ist, um das Restsehen außerhalb des Skotoms optimal zu nutzen. Mit den modernen bildgeben-

den Verfahren konnten wir und andere Arbeitsgruppen zeigen, dass das Gehirn der Patienten sich dieser neuen Situation anpasst. Eine wichtige Voraussetzung dieser Anpassung ist es, eine exzentrische Fixationsstelle zu etablieren, den sogenannten PRL (engl.: *preferred retinal locus*). Mit entsprechendem Blicktraining können die Patienten anspruchsvolle visuelle Aufgaben erledigen, die für eine zufriedenstellende Bewältigung des Alltags wichtig sind.

**Literatur**

Chris I. Baker, Eli Peli, Nicholas Knouf, Nancy G. Kanwisher, Reorganization of visual processing in macular degeneration. *The Journal of neuroscience* 25(3) (2005), S. 614–618.  
 Heidi A. Baseler, André Gouws, Koen V. Haak,

Christopher Racey, Michael D. Crossland, Adnan Tufail, Gary S. Rubin, Frans W. Cornelissen, Antony B. Morland, Large-scale remapping of visual cortex is absent in adult humans with macular degeneration. *Nature neuroscience* 14 (5) (2011), S. 649–655.  
 Avi Karni, Dov Sagi, Where practice makes perfect in texture discrimination: evidence for primary visual cortex plasticity. *Proceedings of the National Academy of Science* 88 (1991), S. 4966–4970.  
 Yoichiro Masuda, Serge O. Dumoulin, Satoshi Nakkadomari, Brian A. Wandell, V1 projection zone signals in human macular degeneration depend on task, not stimulus. *Cerebral cortex* 18 (11) (2008), S. 2483–2493.  
 William Seiple, Janet P. Szlyk, Timothy McMahon, Jose Pulido, Gerald A. Fishman, Eye-movement training for reading in patients with age-related macular degeneration. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 46 (8) (2005), S. 2886–2896.



© Universität Regensburg

Prof. Dr. **Mark W. Greenlee** wurde im Oktober 2003 zum Lehrstuhlinhaber der Experimentellen Psychologie und Methodenlehre nach Regensburg berufen. Zuvor war er Professor für Kognitive Neuropsychologie an der Universität Oldenburg von 1999 bis 2003, während dieser Zeit war er Mitglied des DFG-Sonderforschungsbereichs „Neurokognition“ (SFB 517). Greenlee studierte Psychologie an der Wayne State University (Detroit, Michigan/USA) und der Universität Freiburg und erhielt sein Diplom 1984. 1986 folgten sein Doktorgrad und 1989 seine Habilitation an der Medizinischen Fakultät der Universität Freiburg. Er arbeitete als Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Freiburg, als Feodor-Lynen-Stipendiat der Humboldt-Stiftung an der Universität Oslo und 1994 als Gast-Stipendiat der University of London, Institut für Psychologie, Royal Holloway College. Von 1995 bis 1999 war er Herrmann und Lilly Schilling-Professor.

**Forschungsschwerpunkte:** Funktionale Neuroanatomie des menschlichen visuellen Systems, funktionelle Magnetresonanztomographie des Gehirns von Menschen (siehe: <http://www.uni-regensburg.de/psychologie-paedagogik-sport/psychologie-greenlee/research/index.html>).

PD Dr. **Tina Plank** studierte Volkswirtschaftslehre und Psychologie an der Universität Regensburg. 2005 promovierte sie im Fach Psychologie zu einem Thema der Psychoakustik. Nach der Promotion forschte sie im Rahmen eines Postdoc-Stipendiums zu neuronalen Korrelaten audiovisueller Reizverarbeitung. Seit 2007 ist sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Experimentelle Psychologie und Methodenlehre, unter anderem im Rahmen des BMBF geförderten Projekts „Brain plasticity and perceptual learning: Experimental analysis and computational modeling“ und der DFG-Forschergruppe „Regulation und Pathologie von homöostatischen Prozessen der visuellen Funktion“. 2017 habilitierte sie sich an der Fakultät für Psychologie, Pädagogik und Sportwissenschaft der Universität Regensburg zu dem Thema „Structural and functional neural correlates of visual processing in patients with central vision loss“.

**Forschungsschwerpunkte:** Neuroplastizität nach Netzhauterkrankungen, multisensorische Wahrnehmung



© Universität Regensburg

# Wachsen und Erhalten – Blutgefäße im gesunden und kranken Auge

## Einblicke in die Gefäßversorgung der Netzhaut und das Entstehen von krankhaften Gefäßveränderungen

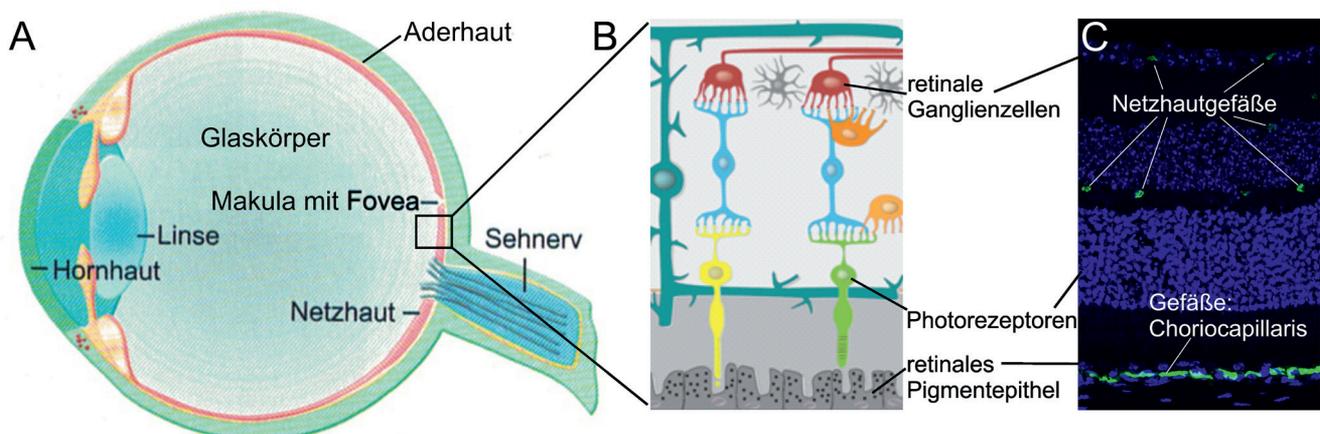
Barbara M. Braunger

Über den Sehsinn nehmen wir sowohl unsere Mitmenschen als auch unsere Umgebung wahr, und so zählt dieser Sinneseindruck für den einzelnen Menschen sicherlich mit zur wichtigsten Sinneswahrnehmung. Eine Minderung oder Verlust des Sehvermögens wird von den Betroffenen als eine massive Einschränkung ihrer Lebensqualität empfunden, da dies sowohl die Interaktionsmöglichkeiten mit anderen Menschen betrifft, oftmals aber auch einhergeht mit generellen Einschränkungen eines selbstbestimmten Lebens. In Deutschland gelten nach der Defini-

tion der Weltgesundheitsorganisation 164.000 Menschen als blind und über eine Million Menschen als sehbehindert. Die häufigsten Krankheitsursachen sind hierbei die altersbedingte Makuladegeneration (AMD), die durch die Zuckerkrankheit *Diabetes mellitus* hervorgerufenen Netzhautveränderungen (diabetische Retinopathie), das Glaukom sowie die Gruppe erblich bedingter Netzhautdegenerationen. Da die drei erstgenannten Erkrankungen mit zunehmendem Alter stark gehäuft auftreten, ist auf Grund der demographischen Entwicklung davon auszugehen, dass in

den nächsten Jahren die Zahl der Sehbehinderten und Blinden in Deutschland dramatisch zunehmen wird.

Die Sinneswahrnehmung Sehen beginnt in der Netzhaut, einem hoch spezialisierten Nervengewebe, das aus über sechzig verschiedenen Typen von Nervenzellen besteht und im hinteren Bereich des Auges liegt. Aus dem Auge wird der Sinneseindruck dann an komplex verschaltete Bereiche im Gehirn weitervermittelt und dort letztlich interpretiert. Um die Funktion der Nervenzellen der Netzhaut zu gewährleisten, müssen sich diese sich einem für sie charakteristischen



1 Schematische Darstellung des menschlichen Auges (A) und der Netzhaut (B). (C) zeigt eine fluoreszenzmikroskopische Aufnahme einer Netzhaut der Maus. Diese ist vom strukturellen Aufbau her mit dem menschlichen Auge vergleichbar. Die Gefäße wurden mit einem grün fluoreszierenden Farbstoff gefüllt, um die doppelte Gefäßversorgung im hinteren Augenabschnitt darzustellen. Oben im Bild sind die Gefäße der Netzhaut zu erkennen, unten die der Choriocapillaris. Die Zellkerne sind blau gefärbt.

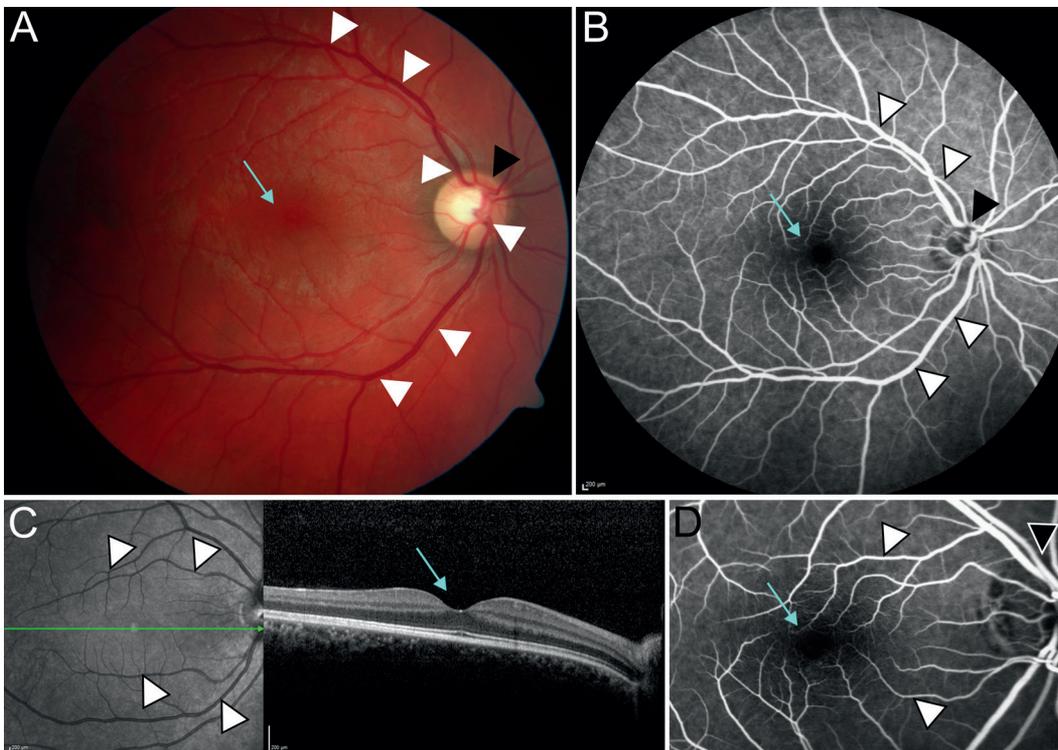
Umgebungsmilieu befinden, das ihre Versorgung mit Nährstoffen sicherstellt. Diese Bedürfnisse der Nervenzellen werden über spezielle Hilfs- oder Stützzellen (Gliazellen) und das Blutsystem gewährleistet. Dabei ist eine ausreichende und gesunde Gefäßversorgung der Netzhaut essentiell, um deren Funktion zu gewährleisten. Doch gerade diese gesunde Gefäßversorgung ist durchaus keine Selbstverständlichkeit. Erkrankungen der Gefäße des Auges, wie sie zum Beispiel bei der altersbedingten Makuladegeneration (AMD) oder im Rahmen der Zuckerkrankheit (*Diabetes mellitus*) vorkommen, können zur Sehverschlechterung bis hin zur Erblindung führen. Zwar kann der Verlauf dieser Erkrankungen mittlerweile zumindest teilweise therapeutisch abgemildert oder verzögert werden, verhindern kann man sie letztlich jedoch noch nicht. Denn bis heute sind die genauen Mechanismen, die zur Krankheitsausprägung führen, nicht vollständig verstanden.

Deswegen verfolgt meine Arbeitsgruppe das Ziel, die molekularen Mechanismen, welche für den Erhalt eines gesunden Gefäßnetzes und für das Entstehen von krankhaften Gefäßveränderungen verantwortlich sind, besser zu verstehen. Wir arbeiten dazu am Mausmodell, da es uns nur durch das Tiermodell möglich ist, die vielfältigen Wechselwirkungen in der Netzhaut zwischen den über sechzig verschiedenen Nervenzelltypen, den Gliazellen, dem retinalen Pigmentepithel und den Blutgefäßen komplett zu erfassen. Ziel meiner Arbeitsgruppe ist es, durch die grundlagenbetonte Erforschung der molekularen Ursachen von Gefäßveränderungen und deren Auswirkungen auf die Netzhautneurone, neue therapeutische Optionen aufzuzeigen, die eine kausale Therapie ermöglichen, um so in der Zukunft Sehverschlechterung und Erblindung bei betroffenen Patienten zu verhindern.

## Gefäßversorgung der gesunden Netzhaut

Die Netzhaut, welche den hinteren Teil des Auges von innen auskleidet [1A und B], verfügt über eine doppelte Gefäßversorgung. Zum einen werden die inneren Anteile der Netzhaut von einer Arterie versorgt, die über den Sehnerv in das Innere des Auges eintritt und sich dort dann in fein verzweigte Gefäße bis hin zu einem dreistöckigen Kapillargebiet aufteilt (Netzhautgefäße) [1C]. Die Photorezeptoren jedoch, welche im äußeren Bereich der Netzhaut liegen, werden von einem anderen Kapillarbett versorgt, nämlich dem der *Choriocapillaris* [1C]. Diese gehört zum Stromgebiet der Aderhautgefäße, die an die Netzhaut angrenzend dem Augapfel weiter außen anliegen [1A].

Die Choriocapillaris ist das dichteste kapillare Gefäßnetz im menschlichen Körper



**2** Augenhintergrundaufnahme eines gesunden Menschen. Bei der augenärztlichen Untersuchung können die Netzhaut und ihre Gefäße mithilfe des Augenspiegels beurteilt werden (A). Der runde, helle Bereich rechts im Bild (A, schwarze Pfeilspitze) ist die sogenannte Papille, also der Bereich, an dem die Axone der retinalen Ganglienzellen das Auge verlassen, um den Sehnerv zu bilden. Auch die Netzhautgefäße (weiße Pfeilspitze) treten hier in das Auge ein (Arterien) beziehungsweise verlassen es (Venen). Die dichte Gefäßversorgung der Netzhaut ist bei den gefäßdarstellenden (= angiographischen) Aufnahmen in Bild (B) und (D) besonders gut zu erkennen, da die Gefäße mit einem fluoreszierenden Farbstoff (Fluoreszein) gefüllt wurden. In (D) ist der Bereich des schärfsten Sehens (= *Macula lutea*) vergrößert dargestellt, um den im Zentrum liegenden schwarzen Bereich (blauer Pfeil) zu zeigen. Hier befinden sich keine Netzhautgefäße, da die Photorezeptoren in diesem Bereich von außen, über die *Choriocapillaris*, versorgt werden. Bild (C) zeigt eine mittels des Verfahrens der optischen Kohärenztomografie (engl. *optical coherence tomography*, OCT) hergestellte Aufnahme, die links den korrespondierenden Netzhautbereich darstellt und rechts den zugehörigen Querschnitt der Netzhaut (durch den mit der grünen Linie gekennzeichneten Bereich). Diese Aufnahme erlaubt eine Beurteilung der einzelnen Netzhautschichten, die im Gesunden klar unterscheidbar sind. Der Pfeil zeigt auf den Bereich des schärfsten Sehens (= *Macula lutea*), der charakteristischerweise die gezeigte Einbuchtung (= *Fovea centralis*) aufweist. Das Bildmaterial wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. Cornelia Volz und Prof. Herbert Jägle (Universitätsaugenklinik Regensburg).

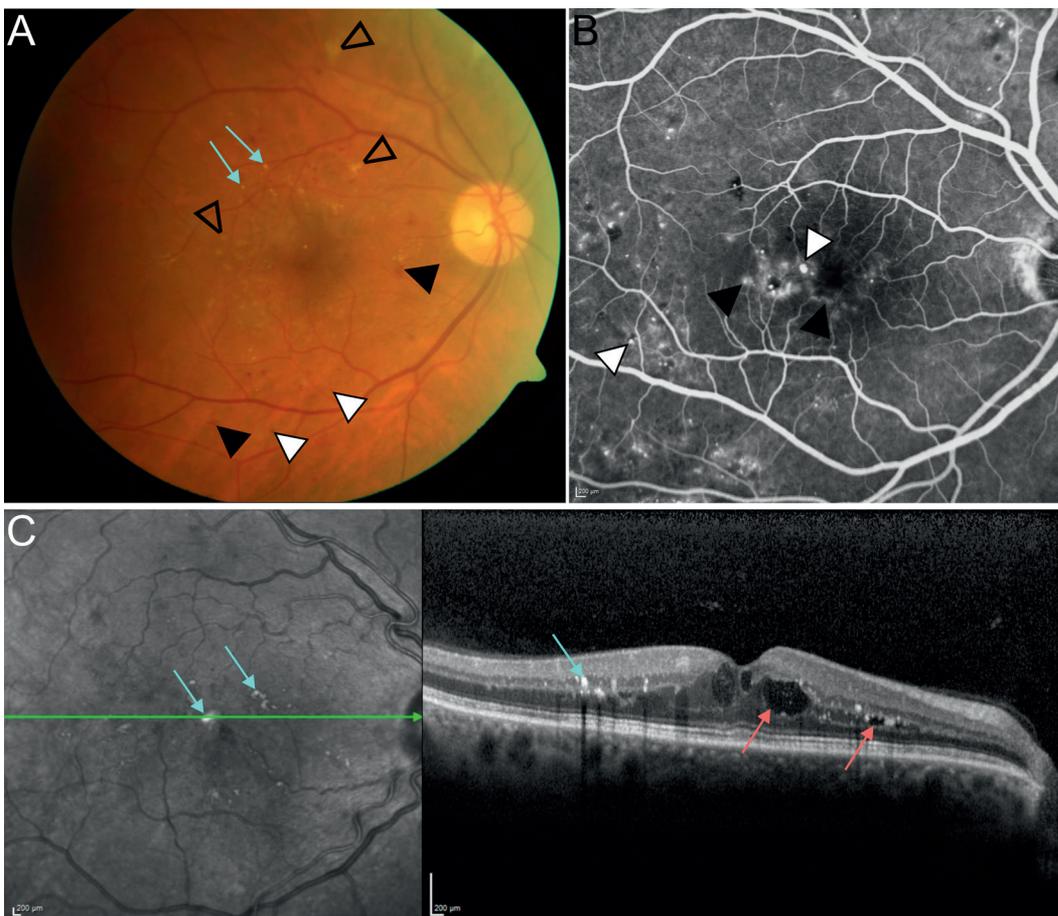
und um diese Dichte aufrechtzuerhalten, sezerniert der äußerste Teil der Netzhaut hohe Mengen des Signalmoleküls *vascular endothelial growth factor* (VEGF). Die essentielle Bedeutung von VEGF in diesem Kontext wurde erst durch tierexperimentelle Versuche verstanden, in denen gezeigt wurde, dass ein Ausschalten dieses Faktors in gentechnisch veränderten Mäusen den Verlust der Choriocapillaris zur Folge hat. Allerdings können hohe Mengen an VEGF zum überschießenden Gefäßwachstum führen, was im gesunden Auge verhindert werden muss, um dessen Funktion zu gewährleisten. Aktuelle Ergebnisse meiner Arbeitsgruppe zeigen, dass der TGF- $\beta$  (engl. *transforming growth factor*- $\beta$ ) Signalweg einem überschießenden Gefäßwachstum entgegenwirkt und

so um die Integrität der Netz- und Aderhautgefäße aufrechterhält. Wir gehen daher aktuell davon aus, dass das molekulare Gleichgewicht zwischen VEGF und TGF- $\beta$  essentiell ist, um Struktur und Funktion der Netzhaut zu erhalten. Störungen dieses Gleichgewichts führen hingegen zu krankhaften Gefäßveränderungen der Netzhaut, wie Sie bei AMD oder der diabetischen Retinopathie beobachtet werden.

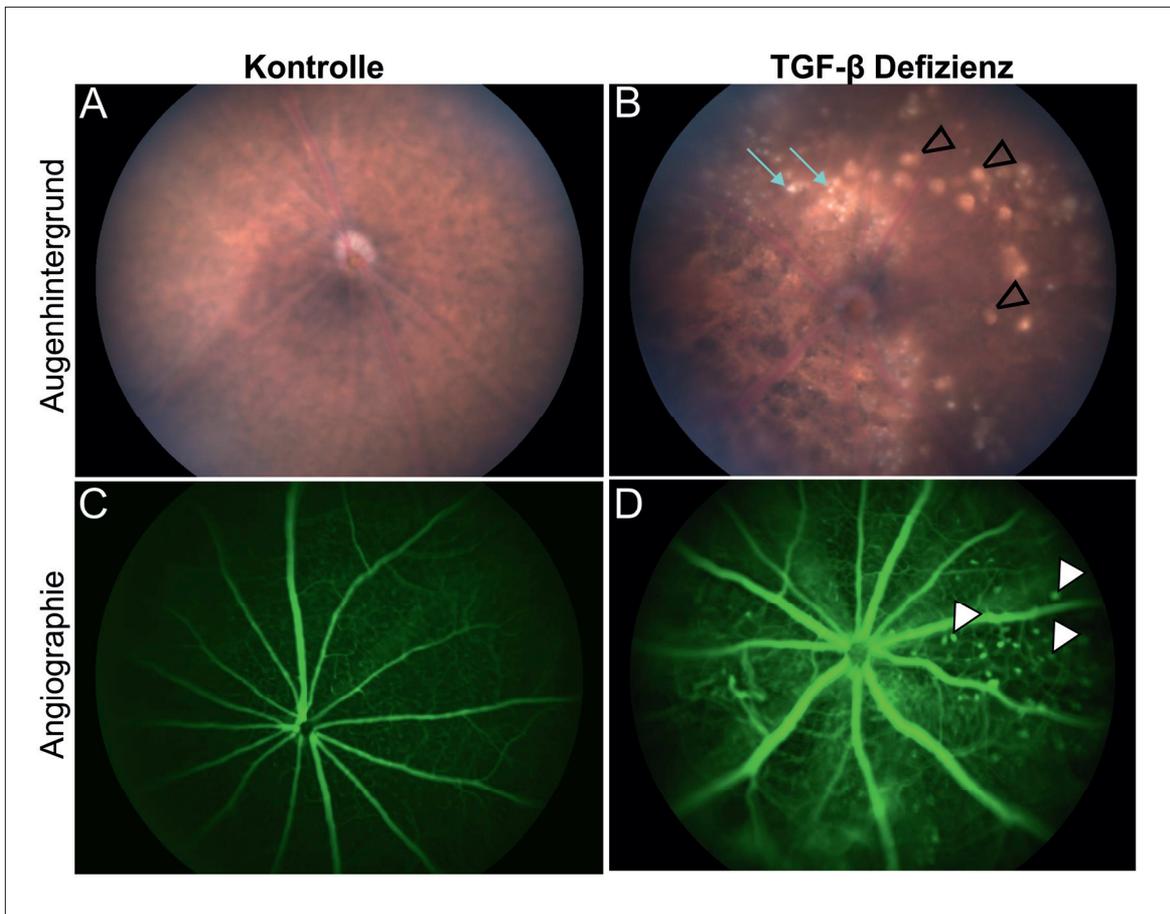
### Krankhafte Gefäßveränderungen der Netzhaut

Die in den westlichen Ländern sehr häufig vorkommende Zuckerkrankheit (*Diabetes mellitus*) schädigt neben anderen Gefäßen

im Körper vor allem auch die Gefäße des Auges. In der Frühphase der diabetischen Retinopathie zeigen sich in der Regel zunächst kleine Aussprossungen der Netzhautkapillaren, welche als Mikroaneurysmen [3A und B] bezeichnet werden. Schreitet der Krankheitsprozess fort, so werden die Netzhautkapillaren undicht, und es lagern sich Fette aus dem Blutplasma (sogenannte harte Exsudate) [3A und C] in der Netzhaut ab. Dadurch wird das empfindliche Milieu, welches die retinalen Neurone für ihre optimale Funktion benötigen, gestört und deren Funktion beeinträchtigt. Durch die Schädigung der Gefäße kommt es im weiteren Verlauf häufig zu Kapillarverschlüssen und in der Folge zu Einblutungen in die Netzhaut. Die Netzhautbereiche, die aufgrund der Gefäßver-



**3** Augenhintergrundaufnahme mit Gefäßdarstellung eines Patienten mit Zuckerkrankheit (diabetischer Retinopathie). In (A) zeigen sich kleine fleckförmige Einblutungen (schwarze Pfeilspitzen), Nervenfaserinfarakte (sogenannte *cotton wool spots*, offene Pfeilspitzen), Mikroaneurysmen (weiße Pfeilspitzen) und harte Exsudate (blaue Pfeile). Die Gefäßveränderungen der Netzhaut sind anhand der gefäßdarstellenden Aufnahme in Bild (B) besonders gut zu erkennen. Im Bereich der Stelle des schärfsten Sehens (= *Macula lutea*) sind kleine, scharf begrenzte weiße Punkte zu erkennen, die Mikroaneurysmen (weiße Pfeilspitzen) entsprechen. Außerdem sieht man unscharf begrenzte, helle Areale (schwarze Pfeilspitzen), die von einem Austritt des injizierten fluoreszierenden Farbstoffs herrühren, was auf undichte Gefäße rückschließen lässt. Bild (C) zeigt eine sogenannte OCT (engl. *optic coherence tomography*) Aufnahme, die links den korrespondierenden Netzhautbereich darstellt, und rechts den zugehörigen Querschnitt der Netzhaut (durch den mit der grünen Linie gekennzeichneten Bereich). In diesen Aufnahmen sind deutlich scharf begrenzte, harte Exsudate (blaue Pfeile) zu erkennen. Außerdem sind die normalerweise sehr geordneten Schichten der Netzhaut nicht mehr so klar abgrenzt, sondern durch Hohlräume (rote Pfeile), die mit Flüssigkeit gefüllt sind, unterbrochen. Dies entspricht dem Befund eines Makulaödems. Das Bildmaterial wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. Cornelia Volz und Prof. Herbert Jägle (Universitätsaugenklinik Regensburg).



4 Augenhintergrundaufnahme mit Gefäßdarstellung einer normalen Maus (Kontrolle) und einer TGF- $\beta$  defizienten Maus. Das Kontrolltier hat einen regelrechten Befund (A, C). Der Augenhintergrund des TGF- $\beta$  defizienten Maus (B) zeigt hingegen charakteristische Veränderungen der diabetischen Retinopathie mit Nervenfaserninfarkten (offene Pfeilspitzen) und harten Exsudaten (blaue Pfeile). In der Gefäßdarstellung (Fluoreszenzangiographie D) sind zahlreiche Mikroaneurysmen (weiße Pfeilspitze) sichtbar.

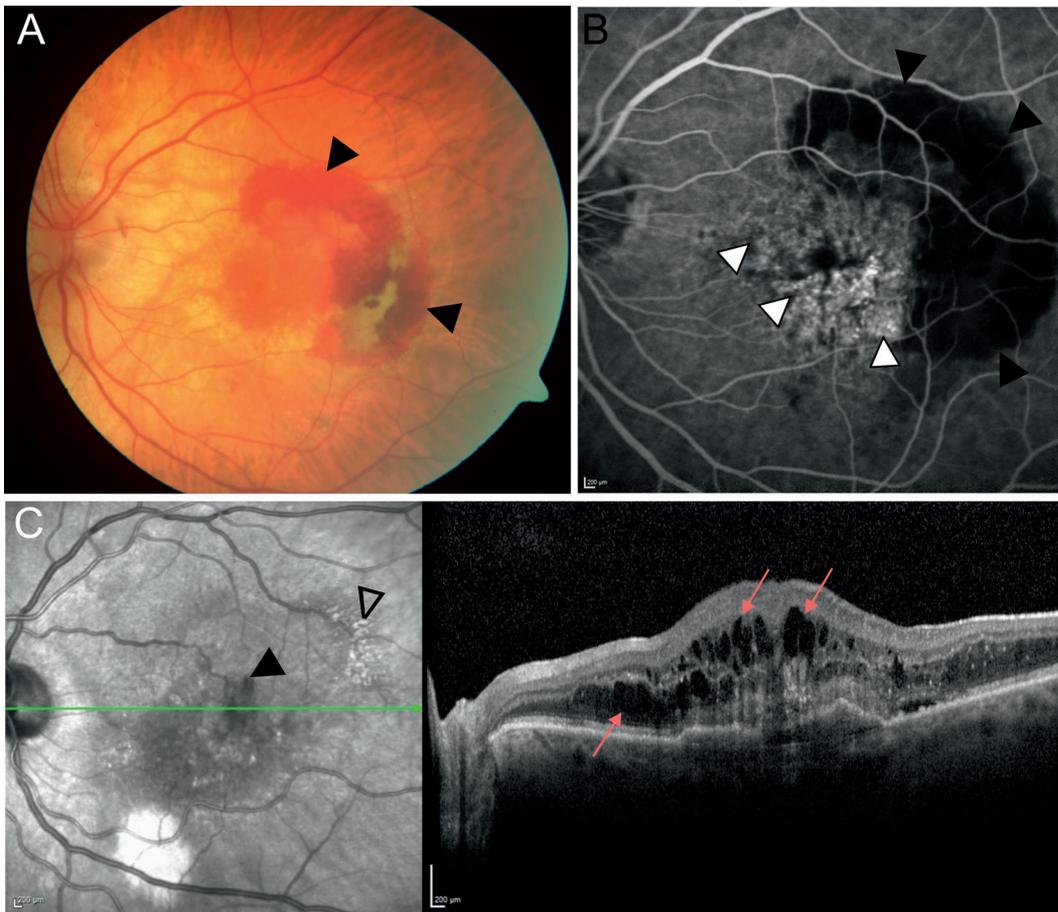
schlüsse nicht mehr ausreichend über das Blut versorgt werden können, sezernieren nun zunehmend Signalmoleküle wie VEGF, welche eine Gefäßneubildung in Gang setzen sollen, um der Minderversorgung entgegenzuwirken. Diese Gefäßneubildungen sind jedoch sehr fragil, so dass sie leicht rupturieren können, was zu starken Blutungen führen kann. Zudem wachsen die neugebildeten Gefäße von der Netzhaut in das Auginnere vor, wo sich der Glaskörper befindet [1A]. Hier können die neu gebildeten Gefäße in einem späteren Krankheitsstadium narbig zusammenschumpfen und durch die Narbenbildung Zugkräfte auf die Netzhaut ausüben, wodurch sich diese von ihrer Unterlage ablöst. Eine solche Netzhautablösung führt ohne Behandlung zur Erblindung oder sogar zum Verlust des Auges. Auch wenn die Mechanismen der späten Phase der diabetischen Retinopathie grob verstanden sind, ist immer noch weitgehend unklar, welche Mechanismen ursächlich für den Beginn der Gefäßkrankung und die initiale Ausbildung von

Mikroaneurysmen und undichten Gefäßen der Netzhaut sind. Meiner Arbeitsgruppe ist es gelungen zu zeigen, dass an diesem Krankheitsprozess sehr wahrscheinlich eine Defizienz des TGF- $\beta$ -Signalwegs beteiligt ist, welcher unter normalen Bedingungen einem krankhaften Gefäßwachstum entgegenwirkt. So konnte wir zeigen, dass Mäuse, bei denen der TGF- $\beta$ -Signalweg während der Entwicklung der Netzhautgefäße deletiert wurde, Gefäßveränderungen ausbilden, welche die Veränderungen der diabetischen Retinopathie exakt widerspiegeln [4B und D]. Durch diese neue Erkenntnis wird es nun möglich werden, den molekularen Ursachen dieser Erkrankung weiter auf den Grund zu gehen, sowie neue und bessere Therapieformen zu entwickeln, um so letztlich den von der Zuckerkrankheit betroffenen Menschen besser helfen zu können.

Eine weitere zu Sehverschlechterung und Erblindung führende Krankheit ist die altersbedingte Makuladegeneration (AMD) [5A]. Diese stellt in den Industriestaaten

eine Hauptursache für Erblindung älterer Personen dar. Wie der Name „altersbedingt“ schon vermuten lässt, stellt hierbei das Alter, neben Rauchen und genetischer Belastung, den größten Risikofaktor dar. Diese Erkrankung beginnt mit einer Schädigung des äußersten Bereichs der Netzhaut, dem retinalen Pigmentepithel [1B und C]. Dadurch lagern sich Stoffwechselendprodukte, sogenannte Drusen [5C], in oder unter das retinale Pigmentepithel ein.

Dieser Prozess führt schließlich zu degenerativen Veränderungen des retinalen Pigmentepithels und der Choriocapillaris, wodurch die Photorezeptoren nicht mehr regelrecht versorgt werden und ebenfalls zugrunde gehen. Dies kann im weiteren Verlauf der AMD wieder zur zunehmenden Freisetzung von Signalmolekülen wie VEGF führen, wodurch es zum überschießenden Wachstum der Choriocapillaris kommt und sich sogenannte choroidale Neovaskularisationen (CNV) bilden. Ähnlich wie bei den neu gebildeten Netzhautgefäßen der Zuckerkrankheit sind auch die neu gebil-



**5** Augenhintergrundaufnahme mit Gefäßdarstellung eines Patienten mit altersbedingter Makuladegeneration (AMD). (A) zeigt eine ausgedehnte Einblutung (schwarze Pfeilspitzen) im zentralen Bereich der Netzhaut. Die Gefäßveränderungen der Netzhaut sind anhand der gefäßdarstellenden Aufnahme in Bild (B) besonders gut zu erkennen. Im Bereich der Stelle des schärfsten Sehens (= *Macula lutea*) ist ein helles Areal zu erkennen, was Gefäßen entspricht, die aus dem tieferliegenden Gefäßbett der Choriocapillaris in diesen normalerweise gefäßlosen Bereich (vgl. hierzu Abb. 2D), eingewachsen sind. Außerdem sieht man wieder die in (A) gezeigte Einblutung, hier nun als schwarzer Schatten erkennbar (schwarze Pfeilspitzen). Bild (C) zeigt eine sogenannte OCT (engl. *optic coherence tomography*) Aufnahme, die links den korrespondierenden Netzhautbereich darstellt und rechts den zugehörigen Querschnitt der Netzhaut (durch den mit der grünen Linie gekennzeichneten Bereich). In dieser Aufnahme sind wieder deutliche Einblutungen (schwarze Pfeilspitze) sowie ein Areal von abgelagerten Stoffwechselprodukten (= Drusen, offene Pfeilspitzen) zu erkennen. Außerdem sind die normalerweise sehr geordneten Schichten der Netzhaut nicht mehr so klar abgegrenzt, sondern durch mit Flüssigkeit gefüllte Hohlräume (rote Pfeile) unterbrochen. Dies entspricht dem Befund eines Makulödems. Das Bildmaterial wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. Cornelia Volz und Prof. Herbert Jägle (Universitätsaugenklinik Regensburg).

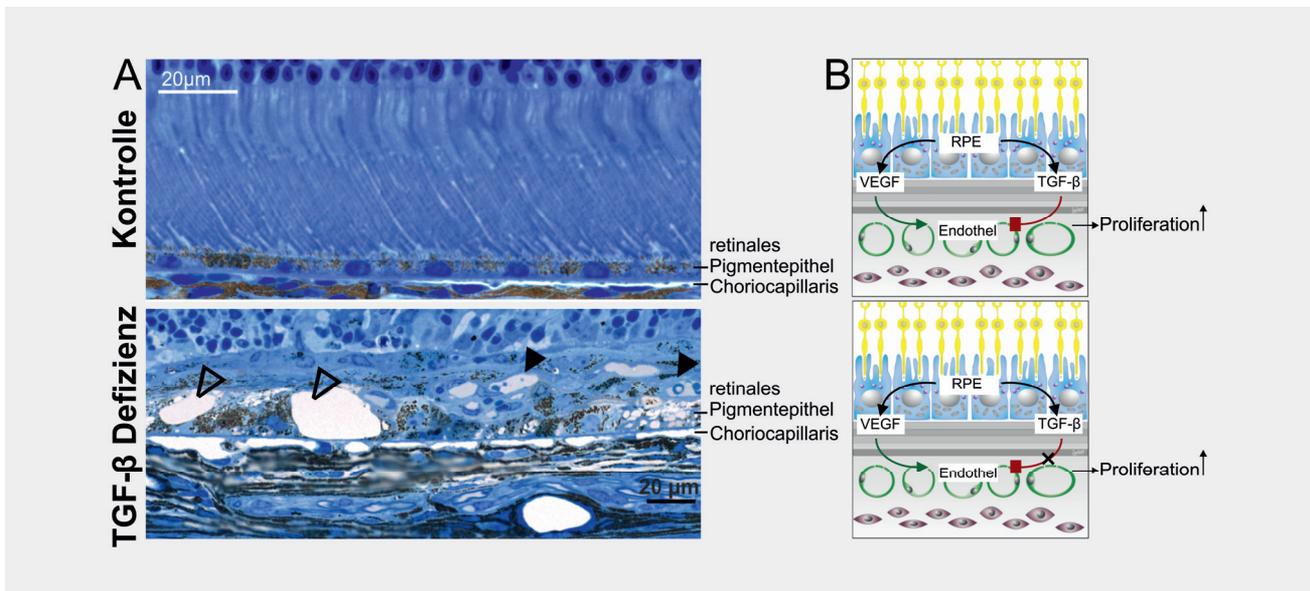
deten choroidalen Gefäße bei AMD sehr fragil und undicht [5B]. Sie neigen deswegen leicht zu Blutungen [5A] und/oder zu einem Austritt von Flüssigkeit (Ödem) aus dem Gefäßbett [5C].

Unklar ist allerdings, welche molekularen Prozesse initial für das Gefäßwachstum bei AMD verantwortlich sind, da VEGF auch im gesunden Auge der Choriocapillaris in hohen Mengen zur Verfügung stehen muss, um ihr Kapillargebiet aufrechtzuerhalten. Meiner Arbeitsgruppe ist es durch die Entwicklung von genetisch modifizierten Mäusen gelungen zu zeigen, dass die Defizienz des TGF- $\beta$ -Signalwegs am initialen Entstehen von choroidalen Neovaskularisationen ursächlich beteiligt ist. Zusätzlich konnten wir zeigen, dass es für die Endo-

thelzellen, welche die Wand der Choriocapillaris bilden, spezifisch wichtig ist, TGF- $\beta$  zu erkennen, um nicht krankhaft zu proliferieren. So führt alleinig die Hemmung des TGF- $\beta$ -Signalwegs in Gefäßendothelzellen zum Entstehen von choroidalen Neovaskularisationen [6A]. Diese neuen Erkenntnisse werden dazu beitragen, die genauen Krankheitsmechanismen bei AMD und deren chronologische Abfolge detaillierter zu verstehen, um daraufhin neue und spezifischere Medikamente entwickeln zu können mit dem Ziel, den betroffenen Menschen besser helfen zu können.

Insgesamt weisen unsere Befunde darauf hin, dass für die initiale Bildung von Gefäßproliferationen, wie sie bei der diabetischen Retinopathie oder der fortge-

schrrittenen AMD vorkommen, der molekulare Signalfaktor TGF- $\beta$  eine essentielle Rolle spielt, indem er normalerweise das Wachstum von Gefäßen verhindert [6B]. Kommt es zu einer Beeinträchtigung dieses Signalwegs, so wird Gefäßwachstum ausgelöst, das dann durch wachstumsfördernde Faktoren wie VEGF weiter unterhalten wird. Basierend auf unseren Forschungsergebnissen gehen wir also aktuell davon aus, dass das molekulare Gleichgewicht zwischen VEGF und TGF- $\beta$  entscheidend ist, um Struktur und Funktion der Netzhaut zu erhalten.



**6** (A) Lichtmikroskopische Aufnahme der Photorezeptoren, des retinalen Pigmentepithels und der Choriocapillaris einer normalen Maus (Kontrolle) und einer TGF- $\beta$  defizienten Maus. Das Kontrolltier hat einen regelrechten Befund, wohingegen das Tier mit einer Defizienz des TGF- $\beta$ -Signalwegs markante Veränderungen des retinalen Pigmentepithels aufweist, das hier mehrschichtig ist mit zystischen Einschlüssen (offene Pfeilspitzen) und Gefäßanschnitten (geschwarzte Pfeilspitzen) (A). Das Schema in (B) beschreibt unsere aktuelle Arbeitshypothese. Beide Faktoren, VEGF und TGF- $\beta$ , werden in hohen Mengen vom retinalen Pigmentepithel (RPE) gebildet. VEGF sichert die Vitalität der Choriocapillaris, während TGF- $\beta$  eine überschießende Proliferation des Endothels unterdrückt. Daten meiner Arbeitsgruppe zeigen nun erstmalig, dass schon eine Hemmung des TGF- $\beta$ -Signalwegs im Endothel ausreicht, um zu dessen Proliferation zu führen. Im Bereich zwischen retinalen Pigmentepithel und Choriocapillaris benötigen wir also hohe Mengen TGF- $\beta$ , um dem Entstehen choroidaler Neovaskularisationen entgegenzuwirken. Abbildung 6 wurde gezeichnet von Antje Zenker und modifiziert (nach Schlecht et al. 2017).

## Literatur

Barbara M. Braunger, Sarah V. Leimbeck, Anja Schlecht, Cornelia Volz, Herbert Jäggle und Ernst R. Tamm, Deletion of Ocular Transforming Growth Factor  $\beta$  Signaling Mimics Essential Characteristics of Diabetic Retinopathy. *The American Journal of Pathology* (2015) Jun; 185(6): 1749–1768.  
Toshihide Kurihara, Peter D. Westenskow, Stephen Bravo, Edith Aguilar und Martin Friedlander, Targeted Deletion of Vegfa in Adult Mice Induces

Vision Loss. *The Journal of Clinical Investigation* (2012) 122(11): 4213–4217.  
Magali Saint-Geniez, Tomoki Kurihara, Eiichi Sekiyama, Angel E. Maldonado und Patricia A. D'Amore, An Essential Role for RPE-Derived Soluble VEGF in the Maintenance of the Choriocapillaris. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (2009) 106(44): 18751–18756.

Richard H. Masland, The Neuronal Organization of the Retina. *Neuron* (2012) 76(2): 266–280.  
Anja Schlecht, Sarah V. Leimbeck, Herbert Jäggle, Annette Feuchtinger, Ernst R. Tamm und Barbara M. Braunger, Deletion of Endothelial Transforming Growth Factor- $\beta$  Signaling Leads to Choroidal Neovascularization. *The American Journal of Pathology* (2017) Aug 18. pii: S0002-9440(17): 30415–30417.



© Andreas Neueder

PD Dr. med., Dr. rer. nat. **Barbara M. Braunger**, Ärztin, seit 2007 am Lehrstuhl für Humananatomie und Embryologie an der Universität Regensburg. Studium der Humanmedizin an der Universität Ulm. 2005 Promotion zur Dr. med. am Institut für Humangenetik der Universität Ulm. 2005–2007 Assistenzärztin an der Universitätsaugenklinik Erlangen. Ab 2007 medizinische Post-Doktorandin am Institut für Humananatomie und Embryologie an der Universität Regensburg und naturwissenschaftliche Doktorandin der **Regensburg International Graduate School of Life Sciences (RIGEL)**. 2013 Promotion zur Dr. rer. nat. am Institut für Humananatomie und Embryologie der Universität Regensburg. 2014 Auslandsaufenthalt an der Harvard Medical School in Boston (USA) und Habilitation im Fach Anatomie an der Universität Regensburg. Arbeitsgruppenleiterin an der Universität Regensburg seit 2013.

**Forschungsschwerpunkte:** molekulare Mechanismen der Gefäßhomöostase und der Neuroprotektion, Progenitorzellen im Auge.

# Stickoxide können auch anders

## Therapeutische Möglichkeiten von Stickstoffmonoxid bei Nierenerkrankungen

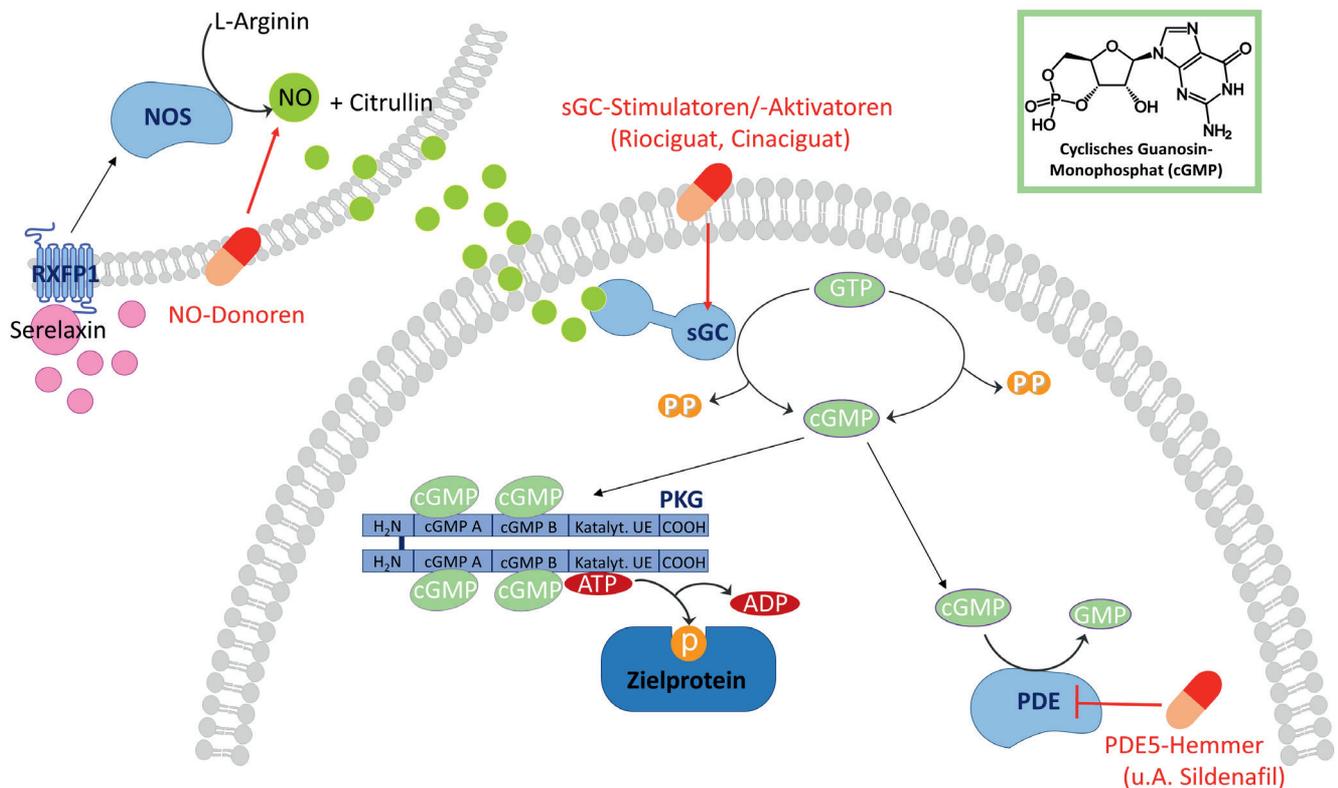
Jens Schlossmann, Andrea Schramm

Die Emission von gesundheitsgefährdenden Stickoxiden wird derzeit stark diskutiert. Jedoch ist für Stickstoffmonoxid (NO) eine physiologische und therapeutische Rolle seit längerem bekannt, z. B. bei der Behandlung der Angina pectoris. Für die Aufklärung der kardiovaskulären Funktion von NO wurde 1998 der Nobelpreis an Robert Furchgott, Louis Ignarro und Ferid Murad verliehen. NO könnte bei vielen weiteren Erkrankungen von therapeutischem Nutzen sein. Für die Behandlung von chronischen Nierenerkrankungen (*chronic kidney disease*, CKD) gibt es bisher wenige therapeutische Ansatzpunkte. In den letzten Jahren hat sich gezeigt, dass NO und seine Signalmoleküle bei CKD ein pharmakologisches Potential haben. In unserer Arbeitsgruppe analysieren wir diesbezüglich sowohl physiologische als auch therapeutische Aspekte von NO und seiner Signalkaskade. Dabei haben sich Stimulatoren der NO-abhängigen löslichen Guanylylzyklasen (sGC), die die Bildung des „Second Messengers“ zyklisches Guanosinmonophosphat (cGMP) induzieren, Hemmstoffe von cGMP-abbauenden Enzymen z. B. der Phosphodiesterase 5 (PDE5) und Serelaxin – die rekombinante Form des Schwangerschaftshormons Relaxin – als pharmakologische Möglichkeiten ergeben. Damit können möglicherweise CKD wie z. B. Niereninsuffizienz und diabetische Nephropathie behandelt werden.

### NO-Biosynthese und Signalkaskade

Stickstoffmonoxid (NO) wird physiologisch in Zellen von NO-bildenden Enzymen (NO-Synthasen, NOS) aus der Aminosäure L-Arginin gebildet. Dabei gibt es drei verschiedene NOS-Isoformen: die Kalzium-abhängigen Enzyme endotheliale NOS (eNOS) und neuronale NOS (nNOS) sowie die induzierbaren NOS (iNOS), die in unterschiedlichen Zelltypen zu finden sind. eNOS ist u. a. in Endothelzellen, nNOS in Nervenzellen und im Magen-Darm-Trakt, iNOS in Immunzellen lokalisiert. Diese NOS sind ebenfalls in der Niere exprimiert. NO hat als ein sogenanntes freies Radikal ein ungepaartes Elektron und mit seiner dadurch resultierenden hohen Reaktivität eine kurze biologische Halbwertszeit von 2 bis 3 sec. Das gasförmige NO diffundiert durch Zellmembranen und kann dadurch intrazellulär eine Vielzahl von physiologischen Wirkungen vermitteln. Dazu gehören u. a. arterielle und venöse Gefäßdilatation, Hemmung der Blutgerinnung, Regulation der Magen/Darm-Motilität, Immunreaktionen und synaptische Verarbeitung bei Lernen und Gedächtnis. In der Niere kann NO u. a. zur Dilatation von Arteriolen, sowie zu Diurese (Harnausscheidung) und Natriurese (Natriumausscheidung im Harn) führen. Seit langem wird die Freisetzung von NO aus sogenannten NO-Donoren (Moleküle, die NO abspalten können) – u. a. organischen Nitraten wie Glyceroltrinitrat – bei kardiovaskulären Erkrankungen

wie Angina pectoris und Bluthochdruck als therapeutischer Ansatz genutzt. Eine Problematik ergibt sich dabei durch die geringe Halbwertszeit von NO und die Toleranz, d. h. verringerte Wirkung nach mehrmaliger Gabe. Eine zentrale Fragestellung ist daher, wie die Wirkungen von NO vermittelt und welche Signalkaskaden durch NO in Zellen induziert werden [1]. Als entscheidende NO-induzierte Enzyme haben sich lösliche Guanylylzyklasen (sGC) erwiesen, die eine NO-bindende Häm-Gruppe beinhalten und NO-abhängig aus Guanosinriphosphat den „Second Messenger“ zyklisches Guanosinmonophosphat (cGMP) als Botenstoff bilden. Auf dieser molekularen Basis wurden neue, oral bioverfügbare sGC-Stimulatoren entwickelt, die NO-unabhängig die cGMP-Synthese induzieren und therapeutisch genutzt werden. Der sGC-Stimulator Riociguat wird seit 2014 für die Therapie der pulmonalen arteriellen Hypertonie (PAH) und der chronischen thromboembolischen Hypertonie (CTEPH) eingesetzt. Mittlerweile wurden die cGMP-vermittelten Mechanismen weiter aufgeklärt. Dabei hat sich gezeigt, dass dadurch spezifische cGMP-abhängige Proteinkinasen (PKG) aktiviert werden, die zur Phosphorylierung von Substratproteinen führen und dadurch die zelluläre Funktion steuern. Mechanismen sind dabei die Regulation der intrazellulären Kalziumkonzentration, des Zytoskeletts und von Wachstums- und Transkriptionsfaktoren. Die cGMP-Konzentration kann zusätzlich durch cGMP-abbauende Enzyme, sogenannte Phospho-



1 Zelluläre NO-Signale. Stickstoffmonoxid (NO) wird durch NO-Synthasen (NOS) erzeugt. NOS selbst wird u. a. durch Serelaxin mittels zugehörigem RXFP1-Rezeptor aktiviert. Nachfolgend führt NO durch Bindung an die lösliche Guanylylzyklase (sGC) zur Synthese von cGMP. PDE (Phosphodiesterasen) hydrolysiert cGMP, Zielproteine von cGMP sind u. a. die Proteinkinase G (PKG) und cGMP-regulierte PDEs. UE: Untereinheit.

diesterasen (PDE), reguliert werden. Die PDE5-Inhibitoren Sildenafil und Tadalafil werden z. B. therapeutisch zur Behandlung der PAH und der erektilen Dysfunktion eingesetzt [1].

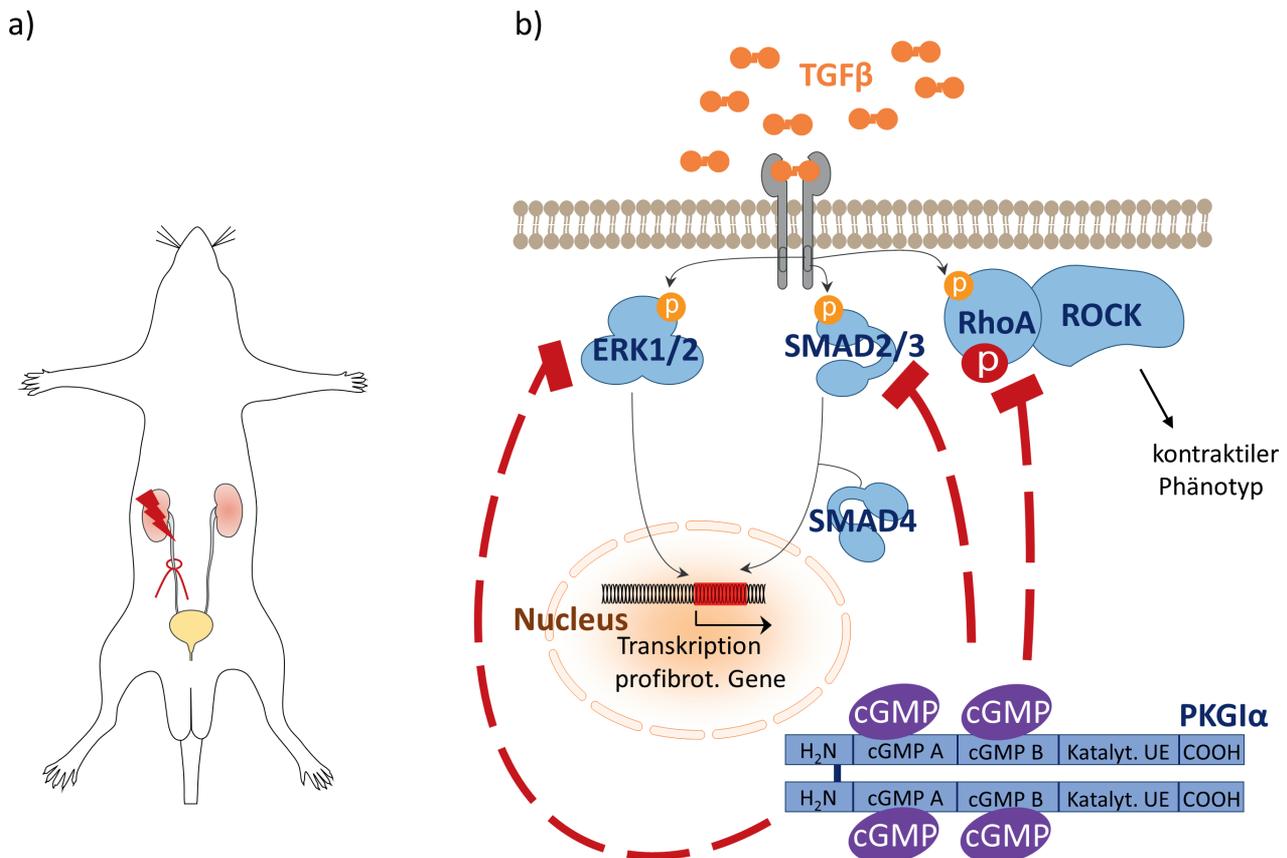
### NO-Signalkaskade bei chronischen Nierenerkrankungen

Aufgrund der Bedeutung von NO/cGMP in vielen verschiedenen Organsystemen werden derzeit intensiv weitere therapeutische Möglichkeiten für NO/cGMP-modulierende Substanzen getestet. Dazu gehören u. a. chronische Nierenerkrankungen (*chronic kidney disease*, CKD), für die bisher nur wenige pharmakologische Optionen zur Verfügung stehen. Chronische Nierenerkrankungen sind häufig, da ca. 8–16% der Bevölkerung daran leiden, und führen zu einer hohen Morbidität und Mortalität. Es gibt verschiedene Ursachen für CKD, insbesondere Nierenfibrose (krankhafte Vermehrung des Bindegewebes in der Niere), Nierenarterienstenose (Verengung der Nierenarterien) und die diabetische Nephropathie, die bei 20–30% der Diabetes-mellitus-Patienten auftritt. Interessanterweise

können endogene NO-Synthase-Inhibitoren, z. B. methylierte Arginin-Derivate, die Entstehung von Nierenerkrankungen fördern. Therapeutisch stehen jedoch bisher wenige Optionen für CKD zur Verfügung. Standardmäßig werden Substanzen eingesetzt, die auf das Renin-Angiotensin-System wirken wie z. B. Angiotensin Converting Enzym-Hemmstoffe (ACE-Inhibitoren) und Angiotensin II-Rezeptorantagonisten (Sartane). Diese Stoffe führen jedoch selten zu einer Verbesserung der CKD, und es entwickelt sich häufig im Lauf der Zeit eine Nierenerkrankung im Endstadium (*endstage renal disease*, ESRD). Daher sind neue therapeutische Zielproteine und Signalkaskaden notwendig, um die Therapie bei diesen Erkrankungen zu verbessern. Eine pharmakologische Möglichkeit wären dabei Modulatoren der NO/cGMP-Signalkaskade.

In unserer Arbeitsgruppe untersuchen wir die Wirkung von NO/cGMP/cGMP-abhängigen Proteinkinasen in der Niere. Dabei haben wir molekulare Funktionen sowohl in Bezug auf den Natrium/Kaliumtransport in tubulären Zellen, auf den Wassertransport als auch auf fibrotische Nierenerkrankungen identifiziert. Die Nierenfibrose spielt insbesondere für die Ent-

wicklung von chronischen Nierenerkrankungen eine wichtige Rolle. Daher haben wir mit verschiedenen NO/cGMP-Signalmolekulatoren getestet, ob die Entwicklung der Nierenfibrose dadurch unterdrückt werden kann. Als Modell für die Nierenfibrose dient dabei die unilaterale (einseitige) Ureterligatur (Abbindung des Harnleiters, siehe Abbildung [2a]), durch die eine Nierenstauung auftritt und sich demzufolge schnell und gut vorhersehbar fibrotische Veränderungen in der Niere entwickeln. Es differenzieren sich dabei verschiedene Zelltypen (Endothelzellen, Nierentubuluszellen, endogene Fibroblasten, perivaskuläre Zellen, Immunzellen) in Myofibroblasten, die extrazelluläre Matrixproteine – z. B. Kollagen1A1 und Fibronectin – sezernieren und durch intrazelluläre Aktin- und Myosinfilamente kontraktile Eigenschaften erlangen. An der Bildung und Aktivierung von Myofibroblasten sind verschiedene Signalwege beteiligt, die insbesondere durch das Zytokin TGFβ (*Transforming Growth Factor* β) ausgelöst werden. Dazu gehören die Aktivierung von kleinen GTP-bindenden Proteinen der Rho-Familie und anschließend der Rho-aktivierten Kinase ROCK (Rho-assoziierte Kinase). RhoA reguliert vermutlich insbesondere das Zytoskelett und damit



2 NO/cGMP bei Nierenfibrose. **a)** Schematisches Modell der unilateralen Ureterligatur (UUO) **b)** Antifibrotische Mechanismen der Proteinkinase G (Isoform Ia). PKGIα wirkt antifibrotisch über ERK 1/2 (*extracellular signal-related kinases*), RhoA/ROCK (*RhoA-assoziierte Kinase*) und SMAD 2/3 (*small mothers against decapentaplegic proteins*). TGFβ: *transforming growth factor β* (weitere Erklärungen siehe Text).

die Kontraktilität der Myofibroblasten. Weiterhin führt TGFβ zur Stimulation von MAP-Kinasen (Mitogen-aktivierte Kinasen Erk1 und Erk2) und Transkriptionsfaktoren. Hier sind u. a. Smad-Proteine (*Small mothers against decapentaplegic protein*), allen voran Smad2 und 3 bedeutsam, die an der Aktivierung und Differenzierung der Myofibroblasten beteiligt sind. Durch Pharmaka, die die intrazelluläre cGMP-Konzentration erhöhen, kann die Entwicklung der Fibrose vermindert werden. Nach unseren Untersuchungen wird diese schützende Wirkung von NO/cGMP/PKGI über den Effekt auf die TGFβ-Signalwege vermittelt [2b]. Es wird dadurch die Kollagen- und Fibronectin-Expression reduziert und demzufolge die Fibrose vermindert. Dazu haben wir verschiedene cGMP-Signalmodulatoren getestet. YC-1 (3-[5'-hydroxymethyl-2'-furyl]-1-benzylindazol) – ein sGC-Stimulator, der zusätzlich Phosphodiesterasen hemmt und dadurch auch den Abbau zyklischer Nukleotide unterdrückt – reduziert die Fibrosebildung. Mithilfe von YC-1 haben wir die weitergehenden cGMP-Signalwege charakterisiert.

Dabei zeigte sich durch transgene Knock-outmäuse, denen die cGMP-abhängige Proteinkinase I (PKGI) fehlt, dass das Enzym PKGI durch RhoA-Phosphorylierung entscheidend an dieser protektiven Wirkung beteiligt ist. Mit dem selektiven sGC-Stimulator **Bay41-8543** wurde außerdem in der Nierenfibrose eine PKGI-abhängige Hemmung der Erk1/2-Phosphorylierung aufgezeigt, die für die Bildung von fibrotischen Proteinen eine wichtige Rolle spielt. **Serelaxin** – die rekombinante Form des humanen Schwangerschaftshormons Relaxin 2 – ist eine Substanz, die bei der akuten Herzinsuffizienz klinisch getestet wird. In der Niere führt Serelaxin zur Aktivierung der NO-Synthasen und damit zur NO-Bildung, die daraufhin protektiv auf die Nierenfibrose wirkt. Daher könnte Serelaxin bei chronischen Nierenerkrankungen möglicherweise eine therapeutische Option sein. Unsere Untersuchungen wiesen darauf hin, dass nach Gabe von Serelaxin cGMP gebildet und anschließend PKGI aktiviert wird. Dadurch wird die Erk1- und Smad2-Phosphorylierung reduziert und demzufolge die Fibroseentwicklung ver-

mindert. Sowohl Serelaxin als auch die sGC-Stimulatoren verminderten dabei die Expression der extrazellulären Matrixproteine Kollagen und Fibronectin. cGMP/PKGI unterdrückte zudem die Kernwanderung von Smad-Proteinen und somit die Transkription von Genen, die die Fibrose fördern. Die Phosphorylierung der PDE5, die den cGMP-Abbau verstärken kann, wurde interessanterweise durch Serelaxin PKGI-abhängig erhöht. Das zeigt, dass Serelaxin die Wirkung der PDE5 beeinflussen kann. Die Nierenfunktion wurde zusätzlich durch Serelaxin verbessert. Daher haben wir die Effekte der PDE5 auf die Nierenfibrose ebenfalls getestet. Der **Phosphodiesterase 5-Inhibitor Zaprinast** zeigte auch eine reduzierte Erk1/2-Phosphorylierung und eine protektive Wirkung auf die Ausbildung der Nierenfibrose. Diese Wirkungen waren jedoch unerwarteterweise PKGI-unabhängig. Zusätzlich wurde noch eine gemeinsame Applikation von Serelaxin/Zaprinast getestet. Diese Kombinationstherapie wies jedoch keinen additiven Effekt auf, sodass keine zusätzliche therapeutische Wirkung mit dieser Kombination zu erwarten ist.

## Therapeutische Möglichkeiten

Bisherige Untersuchungen der Wirkung von NO/cGMP-Modulatoren auf die experimentelle Nierenfibrose weisen auf therapeutische Möglichkeiten dieser Signalkaskade bei chronischen Nierenerkrankungen hin. Weitere präklinische Ansätze – z. B. 5/6-Nephrektomie (Nierenentfernung), Renin-induzierter Bluthochdruck – zeigen ebenfalls das Potential für die Anwendbarkeit von NO/cGMP-Modulatoren bei CKD auf. Es wird derzeit untersucht, ob möglicherweise die häufig auftretende diabetische Nephropathie ebenfalls über NO/cGMP-Modulation beeinflusst werden kann. Im Tiermode-ll hat sich dabei gezeigt, dass Aktivatoren der sGC einen protektiven Effekt auf die bei Diabetes mellitus entstehende diabetische Nephropathie aufweisen. Diese Substanzen haben den Vorteil, dass sie auch nach Oxidation von sGC durch reaktive oxidierende Substanzen, die durch die erhöhte Glucosekonzentration entstehen, dieses Enzym

noch aktivieren können. Weitere mögliche therapeutische Anwendungsmöglichkeiten sind die Nierenarterienstenose und der daraus resultierende Bluthochdruck. Es gibt weitere Hinweise darauf, dass NO/cGMP-Modulatoren auch bei fibrotischen Herzerkrankungen, die zur Herzinsuffizienz führen, wirksam sind. Die Signalkaskaden, die an diesen Erkrankungen beteiligt sind, sind jedoch noch nicht hinreichend aufgeklärt. Zudem werden klinische Studien in der Zukunft zeigen, ob die neuen NO/cGMP-Modulatoren zu neuen Möglichkeiten der Therapie von chronischen Nierenerkrankungen und möglicherweise auch von fibrotischen Erkrankungen im kardiovaskulären System führen.

## Literatur

Johannes Peter Stasch, Jens Schlossmann, Bertold Hoher, Renal effects of soluble guanylate cyclase stimulators and activators: a review of the

preclinical evidence. Current opinion in pharmacology 21 (2015), S. 95–104.

Elisabeth Schinner, Andrea Schramm, Frieder Kees, Franz Hofmann, Jens Schlossmann, The cyclic GMP-dependent protein kinase I $\alpha$  suppresses kidney fibrosis. *Kidney International* 84 (2013), S. 1198–1206.

Elisabeth Schinner, Veronika Wetzl, Andrea Schramm, Frieder Kees, Peter Sandner, Johannes Peter Stasch, Franz Hofmann, Jens Schlossmann, Inhibition of the TGF $\beta$  signalling pathway by cGMP/cGKI in renal fibrosis. *FEBS Open Bio* (2017), doi:10.1002/2211-5463.12202.

Veronika Wetzl, Elisabeth Schinner, Frieder Kees, Franz Hofmann, Lothar Faerber, Jens Schlossmann, Involvement of Cyclic Guanosine Monophosphate-Dependent Protein Kinase I in Renal Antifibrotic Effects of Serelaxin. *Frontiers in Pharmacology* 7 (2016), S. 1–27.

Veronika Wetzl, Elisabeth Schinner, Frieder Kees, Lothar Faerber, Jens Schlossmann, Differences in the renal antifibrotic cGMP/cGKI-dependent signaling of serelaxin, zaprinast, and their combination. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology* (2017), doi 10.1007/s00210-017-1394-z.



© Universität Regensburg

Prof. Dr. rer. nat. **Jens Schlossmann**, geb. 1963. Studium der Chemie von 1983–1989 an der Universität Tübingen und der LMU München. 1994 Promotion am Lehrstuhl für Physiologische Chemie der LMU München bei Prof. Dr. Dr. Walter Neupert. 2002 Habilitation am Institut für Pharmakologie und Toxikologie der TU München bei Prof. Dr. Franz Hofmann. Seit 2007 Professor am Lehrstuhl für Pharmakologie und Toxikologie, Institut für Pharmazie, an der Universität Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Pharmakologische und (patho)physiologische Funktion NO/cGMP vermittelter Signalmechanismen im kardiovaskulären, renalen, gastrointestinalen und immunologischen System.

Dr. rer. nat. **Andrea Schramm**, geb. 1984. Studium der Biologie von 2004–2009 an der Universität Regensburg. Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Pharmakologie und Toxikologie, Institut für Pharmazie, an der Universität Regensburg, wo sie 2014 promovierte.

**Forschungsschwerpunkte:** Renovaskuläre Funktion und therapeutische Targets von NO/cGMP.



© Fotohaus Zacharias

# Die unerwartete Kraft des weißen Goldes

## Na<sup>+</sup> in der Infektionsabwehr und Immunphysiologie

Jonathan Jantsch

Fragen des Natriumhaushalts im Menschen beschäftigten bis vor kurzem weder Immunologen noch Infektiologen. Man ging vereinfachend davon aus, dass sich das außerhalb der Zellen befindliche, d. h. extrazelluläre Natrium im Körper gleichmäßig verteilt, so dass die Niere alleine in der Lage ist, die gesamte extrazelluläre Natriumbilanz zu regulieren. Daher glaubte man zu wissen, dass die im Blut gemessenen Natriumkonzentrationen auch die Natriumspiegel in der extrazellulären Flüssigkeit der Gewebe und Organe widerspiegeln. Diese Annahme scheint jedoch eine starke Vereinfachung darzustellen. So hat man beispielsweise herausgefunden, dass es bei natriumreichen Diäten zu einer Natriumanreicherung in der Haut kommen kann. Heute wissen wir, dass Makrophagen – Fresszellen unseres Immunsystems – in der Regulation dieses natriumreichen Mikromilieus eine wichtige, immunphysiologische Rolle spielen, indem sie den Abtransport von Natrium aus der Haut organisieren. Überraschenderweise kann es auch im Kontext von entzündlichen und infektiösen Prozessen zu einer diätunabhängigen Natriumanreicherung im Gewebe kommen, die wiederum die Aktivität und Funktionalität der Immunzellen verändert. So fördert die gesteigerte Natriumverfügbarkeit beispielsweise die Wehrhaftigkeit der Makrophagen gegenüber Infektionserregern. Die lokale Natriumbilanz stellt somit eine neue, bisher unterschätzte Stellgröße des Immunsystems dar, die Einfluss auf die Infektionsabwehr und Immunphysiologie nimmt.

Die Niere ist als ein Organ bekannt, an dem große Natrium (Na<sup>+</sup>)-Gradienten auftreten, deren Vorhandensein eine wichtige Grundlage der renalen Dialysefunktion darstellt. Die Niere gilt gemeinhin als das einzige Organ, an dem Elektrolytgradienten extrazellulär auftreten, die in Konzentrationen und somit Gewebeosmolalitäten weit jenseits der im Blutplasma gemessenen Werte münden. Entgegen dieser Lehrmeinung gibt es jedoch schon seit ungefähr hundert Jahren Evidenz für eine lokale, in der Haut messbare, kutane Elektrolytakкумуляtion nach experimenteller Salzbelastung. Neuere Studien haben dies wieder aufgegriffen und dokumentiert, dass experimentelle Hochsalzdiäten zu einer Na<sup>+</sup>-Akkumulation in der Haut führen können, die zwar die Gewebeosmolalität steigern, dabei jedoch keine merkliche Veränderung des Plasma-Na<sup>+</sup>-Spiegels und der Plasma-Osmolalität hervorrufen. Dies deutet darauf hin, dass das extrazelluläre Gewebe-Na<sup>+</sup> nicht mit dem im Plasma gemessenen Na<sup>+</sup> im Gleichgewicht stehen muss. Somit kann die Niere nicht als der alleinige Regulator des Na<sup>+</sup>-Haushalts fungieren, sondern es müssen noch weitere, lokal steuernde Regulatoren existieren.

Die Na<sup>+</sup>-Speicherung im Gewebe nach experimentellen, Na<sup>+</sup>-reichen Diäten führt zu einer vermehrten Koppelung von Sulfaten an die extrazelluläre Glykosaminoglykanmatrix – ein Netz von Makromolekülen, die sich außerhalb der Plasmamembran von Zellen in Geweben und Organen befinden und an der Zelladhäsion, Zellmigration sowie Zellproliferation beteiligt sind. Daraus resultiert eine Negativierung der Ladungsdichte dieser Moleküle, was die vermehrte Einlagerung von positiv geladenen

Na<sup>+</sup>-Ionen in die Haut begünstigen könnte. Welche Mechanismen jedoch diese Veränderung der Glykosaminoglykane steuern und ob die Einlagerung der Glykosaminoglykane kausal das Entstehen der Na<sup>+</sup>-Depots in der Haut erklärt, ist jedoch ebenso unklar, wie der gesamte Mechanismus der Na<sup>+</sup>-Einlagerung nach experimentellen Na<sup>+</sup>-reichen Diäten.

Während die Mechanismen der Na<sup>+</sup>-Einlagerung noch weitgehend im Dunklen liegen, ist über die Mechanismen des lokalen Na<sup>+</sup>-Abtransports mehr bekannt. Die kutane Na<sup>+</sup>-Speicherung ist von einer Infiltration von Makrophagen in die Haut begleitet. Parallel dazu konnte beobachtet werden, dass es in diesen Makrophagen zu einer Aktivierung eines osmoprotektiven Regulatorproteins TonEBP (Tonicity-dependent Enhancer Binding Protein; alias „Nuclear Factor of Activated T cells 5“, NFAT5) gekommen ist. Untersuchungen zum Beitrag der Makrophagen sowie des osmoprotektiven Regulators TonEBP in Makrophagen zeigten, dass die Makrophagen über dieses Protein den Abtransport von Na<sup>+</sup> aus der Haut organisieren. Die Blockade dieses Signalwegs führt zu einer kutanen Salzüberladung und zu einem Blutdruckanstieg.

Da Na<sup>+</sup>-reiche Diäten mit einer Vergrößerung (Hyperplasie) der Lymphgefäße in der Haut einhergehen, wurde vermutet, dass Makrophagen auf diesem Prozess über den osmoprotektiven Regulator TonEBP Einfluss nehmen können. In Zellkulturversuchen mit Makrophagen zeigte sich, dass TonEBP an der Regulation eines wichtigen lymphkapillären Wachstumsfaktors, des *vascular endothelial growth factor C* (VEGF-C), beteiligt ist und dessen



Produktion auf mRNA- (messenger-RNA; „Bote“ zwischen der auf den Chromosomen abgelegten genetischen Information und deren Übersetzung in funktionelles Protein) und Proteinebene fördert. Die Blockade der durch VEGF-C induzierten Signalweitergabe in Makrophagen führten erneut zu einer kutanen Salzüberladung und in den genutzten präklinischen Modellen zu einem deutlich messbaren Blutdruckanstieg. Diese Daten zeigen, dass Makrophagen einer zentralen immunphysiologischen Aufgabe durch die Regulation der lokalen extrarenalen, also außerhalb der Niere vorliegenden, Na<sup>+</sup>-Bilanz nachkommen. Diese Regulationskaskade könnte auch beim Menschen relevant sein, da es bei Dialysepflichtigen Patienten mit niedrigen VEGF-C Spiegeln im Blut zu einer verminderten Mobilisation kutaner Na<sup>+</sup>-Depots im Rahmen der Dialyse kommt.

Vollständig überraschend war, dass der Organismus auch unabhängig von einer Salzdiät zu einer lokalen Na<sup>+</sup>-Speicherung in der Lage ist. Dies konnte auch bei Patienten mit Hilfe einer nicht-invasiven <sup>23</sup>Na<sup>+</sup>-MRT (Magnet-Resonanz-Tomographie) Bildgebung nachgewiesen werden, die an einem Erysipel (Wundrose) litten [1]. Ein Erysipel ist eine meist durch das Gram-positive Bakterium *Streptococcus pyogenes* hervorgerufene Infektion der oberen Hautschichten, die sich entlang der kutanen Lymphgefäße ausbreitet. Hier zeigte sich, dass infizierte Hautareale eine deutliche Na<sup>+</sup>-Einlagerung aufweisen, während es dagegen in der kontralateralen nicht-infizierten Haut zu keiner Ausbildung solcher Na<sup>+</sup>-Depots gekommen ist. Ähnliche lokalisierte Na<sup>+</sup>-Anreicherungen im Gewebe finden sich auch in Läsionen des zentralen Nervensystems (ZNS) bei multipler Sklerose sowie in fibrotischen Haut-Läsionen bei systemischer Sklerose (einer entzünd-

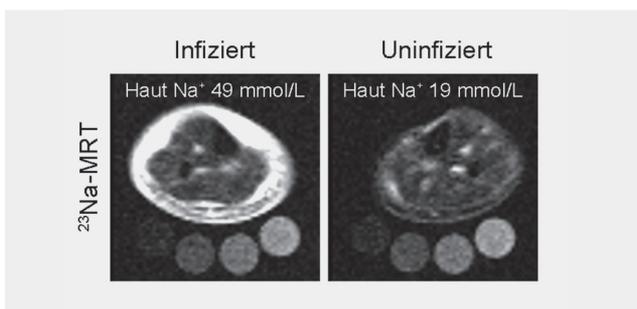
lichen, rheumatischen Systemerkrankung). Ähnlich wie bei den durch die Na<sup>+</sup>-reiche Diät induzierten Salzablagerungen sind die Mechanismen der Na<sup>+</sup>-Akkumulation unter diesen infektiösen und (auto-)entzündlichen Bedingungen noch nicht verstanden und Gegenstand aktueller Forschung in meinem Labor.

Was die Auswirkungen erhöhter Na<sup>+</sup>-Konzentrationen auf die Funktion von Immunzellen anbelangt, ist mehr bekannt. So konnte zum Beispiel für T-Lymphozyten, Dirigenten im Konzert unserer Immunantwort, gezeigt werden, dass gesteigerte extrazelluläre Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit die Ausbildung von bestimmten inflammatorischen T-Zell-Subpopulationen (T<sub>H</sub>17) fördert, die besonders bei autoimmunen Prozessen wie zum Beispiel der multiplen Sklerose eine wichtige Rolle spielen. Neueste Befunde zeigen, dass die diätetische Na<sup>+</sup>-Zufuhr auch Signale beeinflusst, die zu der Schar der den Darm besiedelnden Mikroorganismen (Mikrobiom) gehören und dadurch die Ausbildung dieser autoinflammatorischen T-Zell-Subpopulation begünstigen. Unter Hochsalz-Diäten kam es im intestinalen Mikrobiom vor allem zu einer Abreicherung von Laktobazillen und ihren Stoffwechselprodukten (Indol-Metaboliten), die die Ausbildung dieser autoinflammatorischen T-Zell-Subpopulation *in vitro* blockieren können. Durch eine therapeutische Zufuhr von Laktobazillen konnte in einem präklinischen Modell der multiplen Sklerose den Hochsalz-induzierten Effekten entgegengewirkt werden. Diese Daten belegen, dass Na<sup>+</sup> auf direkten und indirekten Wegen T-Zell-Funktionen zu beeinflussen vermag.

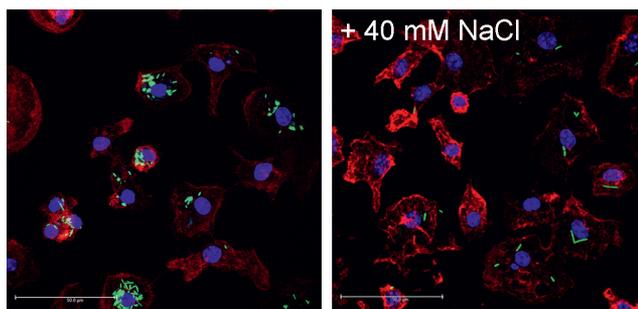
Die direkte Wirkung erhöhter Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit ist aber nicht nur auf T-Zellen beschränkt. Es zeigte sich, dass die Steigerung extrazellulärer Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit auch

die entzündungsfördernde (pro-inflammatorische) Makrophagenaktivität stimuliert. Dies war wiederum von einer vermehrten Aktivität des osmoprotektiven Regulators TonEBP abhängig. Interessanterweise führte die alleinige Stimulation mit Salz nicht zu einer Steigerung des inflammatorischen Potentials der Makrophagen, sondern war z. B. von der Anwesenheit bakterieller Zellwandbestandteile abhängig, die über Mustererkennungsrezeptoren Makrophagen aktivieren können. Dies deutet darauf hin, dass die vermehrte Verfügbarkeit von Na<sup>+</sup> im Gewebe nur im Kontext einer Infektion bzw. eines entzündlichen Prozesses zur gesteigerten proinflammatorischen Potenz der Zellen führt. Damit wäre die lokale Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit kein genuin inflammatorisches Signal per se, sondern erhöhte Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit würde erst im passenden Kontext zu einem solchen proinflammatorischen Signal und wäre daher ein konditionales und kontextabhängiges Gefahrensignal.

Funktionell mündet die durch gesteigerte Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit verbesserte inflammatorische Aktivität in einem verbesserten Potenzial der Makrophagen zur Infektionsabwehr (Mikrobizidie). Dies konnte *in vitro* an Hand von Infektionen mit dem Darmbakterium *Escherichia coli* [2] und dem die Orientbeule verursachenden Parasiten *Leishmania major* gezeigt werden. Darüber hinaus wurde dieses Konzept der durch Na<sup>+</sup>-verbesserten Abwehrleistung in einem präklinischen Infektionsmodell der kutanen Leishmaniose (Orientbeule) getestet. Es konnte in diesem Modell gezeigt werden, dass es durch eine gezielte Modulation kutaner Salzdepots mittels experimenteller Salzdiäten zu einer verbesserten antimikrobiellen Abwehrleistung bei gesteigerter Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit im kutanen Kompartiment kommt. Die gesteigerte Ab-



1 <sup>23</sup>Na<sup>+</sup>-MRT (Magnet-Resonanz-Tomographie) Bildgebung von infizierter Haut am rechten Unterschenkel und kontralateraler gesunder Haut eines Patienten, der an einem Erysipel litt (aus Jantsch et al, Cell Metabolism, 2015).



2 Makrophagen wurden mit einem Grün-fluoreszierenden *E. coli* infiziert und unter Normalsalz-Bedingungen und unter Hochsalz-Bedingungen inkubiert. Nach Fixation der Zellen wurde das Aktin Zytoskelett (rot) und der Kern (blau) gefärbt. Die Bilder wurden mit einem konfokalen Lasermikroskop aufgenommen. © Patrick Neubert



Makrophagen durchzogen ist und neueste Befunde darauf hin deuten, dass Makrophagen in der Lage sind, die Elektrolyttransportfähigkeit renaler Tubuluszellen zu beeinflussen. Auch hier wäre es denkbar, dass das Na<sup>+</sup>-Sensosom renaler Makrophagen durch Zell-Zellkontakte die Tubulusfunktion beeinflusst.

Somit stellt die lokale Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit ein wichtiges neues Stellglied in der Immunologie dar, das sowohl Einfluss auf die Immunphysiologie als auch die Infektionsabwehr nimmt. Die weitere Erforschung der lokalen Na<sup>+</sup>-Bilanz, des Na<sup>+</sup>-Detektions- und Aufnahmeapparats der Immunzellen (Na<sup>+</sup>-Sensosoms) sowie die Ergründung des Spektrum der durch erhöhte Na<sup>+</sup>-Verfügbarkeit veränderten Immuneffektorfunktionen [1] könnten interdisziplinäre Forschungsarbeiten befeuern, die in neue therapeutische Strategien für Infektionskrankheiten, Nierenerkrankun-

gen sowie Herz-Kreislaufkrankungen münden könnten.

## Literatur

M. Hulsmans, S. Clauss, L. Xiao, A. D. Aguirre, K. R. King, A. Hanley, W. J. Hucker, E. M. Wulfers, G. Seemann, G. Courties, Y. Iwamoto, Y. Sun, A. J. Savol, H. B. Sager, K. J. Lavine, G. A. Fishbein, D. E. Capen, N. Da Silva, L. Miquerol, H. Wakimoto, C. E. Seidman, J. G. Seidman, R. I. Sadreyev, K. Naxerova, R. N. Mitchell, D. Brown, P. Libby, R. Weissleder, F. K. Swirski, P. Kohl, C. Vinegoni, D. J. Milan, P. T. Ellinor und M. Nahrendorf, Macrophages Facilitate Electrical Conduction in the Heart. *Cell* 169 (2017), S. 510–522 e520.

J. Jantsch, J. L. Schultze und C. Kurts, Immunophysiology: Macrophages as key regulators of homeostasis in various organs. *Pflugers Arch* 469 (2017), S. 363–364.

J. Jantsch, V. Schatz, D. Friedrich, A. Schroder, C. Kopp, I. Siegert, A. Maronna, D. Wendelborn, P.

Linz, K. J. Binger, M. Gebhardt, M. Heinig, P. Neubert, F. Fischer, S. Teufel, J. P. David, C. Neufert, A. Cavallaro, N. Rakova, C. Kuper, F. X. Beck, W. Neuhofer, D. N. Muller, G. Schuler, M. Uder, C. Bogdan, F. C. Luft und J. Titzte, Cutaneous Na<sup>+</sup> Storage Strengthens the Antimicrobial Barrier Function of the Skin and Boosts Macrophage-Driven Host Defense. *Cell Metab* 21 (2015), S. 493–501.

V. Schatz, P. Neubert, A. Schroder, K. Binger, M. Gebhard, D. N. Muller, F. C. Luft, J. Titzte und J. Jantsch, Elementary immunology: Na<sup>+</sup> as a regulator of immunity. *Pediatr Nephrol* 32 (2017), S. 201–210.

N. Wilck, M. Matus, S. M. Kearney, S. W. Olesen, K. Forslund, H. Bartolomaeus, S. Jörg, A. Mähler, A. Balogh, L. Marko, O. Vvedenskaya, F. H. Kleiner, D. Tsvetkov, L. Klug, P. I. Costea, S. Sunagawa, L. Maier, N. Rakova, V. Schatz, P. Neubert, C. Frätzer, A. Krannich, M. Gollasch, D.A. Grohme, B. F. Côte-Real, R. G. Gerlach, M. Basic, A. Týpas, C. Wu, J. M. Titzte, J. Jantsch, M. Boschmann, R. Dechend, M. Kleinewietfeld, S. Kempa, P. Bork, R. A. Linker, E. J. Alm und D.N. Müller, Salt-responsive gut commensal modulates T<sub>H</sub>17 axis and disease. *Nature* (2017), im Druck.



© Pressestelle UK4 Fotografie; Fr. Lohse

Prof. Dr. **Jonathan Jantsch**, geb. 1978 in Nürnberg, Studium der Humanmedizin in Erlangen und Zürich, Promotion an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (2005), Anerkennung zum Facharzt für Mikrobiologie, Virologie und Infektionsepidemiologie (2014), Habilitation für medizinische Mikrobiologie und Immunologie (2014) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Seit 2014 Professor für Bakteriologie und Infektionsabwehr an der Universität Regensburg. Seit 2017 Leiter des Bereichs Bakteriologie am Institut für Klinische Mikrobiologie und Hygiene des Universitätsklinikums Regensburg.

**Forschungsschwerpunkte:** Signale inflammations- und infektionsgesteuerter lokaler Natrium-Speicherung; Regulation der Gewebesauerstoffspannung in entzündlichem und infiziertem Gewebe; Mechanismen der Natrium- und Sauerstoff-vermittelten Immunmodulation; Pathogenese intrazellulärer Infektionserreger.



**DAS NETZWERK  
FÜR GRÜNDER,  
MACHER UND IDEEN**



**Digitale Gründerinitiative  
OBERPFALZ**

[www.digitale-oberpfalz.de](http://www.digitale-oberpfalz.de)

# Das Mikrobiom

## Entscheidender Faktor für die personalisierte Medizin der Zukunft

André Gessner

Im Jahr 2007 begann im Rahmen des amerikanischen *Human Microbiome Projects* und des europäischen *Meta-HIT-Projekts* die intensive und systematische Erforschung des humanen „Mikrobioms“, der Gesamtheit der Mikroorganismen, die den Menschen besiedeln. Seitdem sind über 50.000 Publikationen zur Thematik in hochrangigen wissenschaftlichen Zeitschriften erschienen. Heute wissen wir: Der menschliche Körper beherbergt auf allen äußeren und inneren Oberflächen komplexe mikrobielle Ökosysteme, auch in Bereichen, die früher als steril galten. Die meisten dieser Studien hatten den Einfluss der Darmbakterien, der sogenannten gastrointestinalen Mikrobiota, auf verschiedene Erkrankungen des Menschen zum Inhalt. Basierend auf Erkenntnissen, dass intestinale Mikroorganismen die Darmbarriere, den Stoffwechsel, und unser Immunsystem entscheidend beeinflussen, ist die gezielte Modulation des menschlichen Mikrobioms ein vielversprechender Ansatzpunkt in der Prävention und Therapie zahlreicher Erkrankungen.

### Intestinale Mikrobiota

Der menschliche Darm beherbergt eine enorme Masse (ca. 1,5 kg) und Anzahl verschiedenster Bakterien, Archaeen, Viren, Hefen und Protozoen (Einzeller) [1]. Die Gesamtheit dieser Mikroorganismen und ihrer Gene wird als das „*intestinale Mikro-*



1 Verschiedene Mikroorganismen bilden in ihrer Gesamtheit das menschliche Mikrobiom und kommunizieren untereinander und mit ihrem Wirt über zahlreiche, zum größten Teil noch nicht definierte, Metabolite, Moleküle und Zell-Zell-Interaktionen.

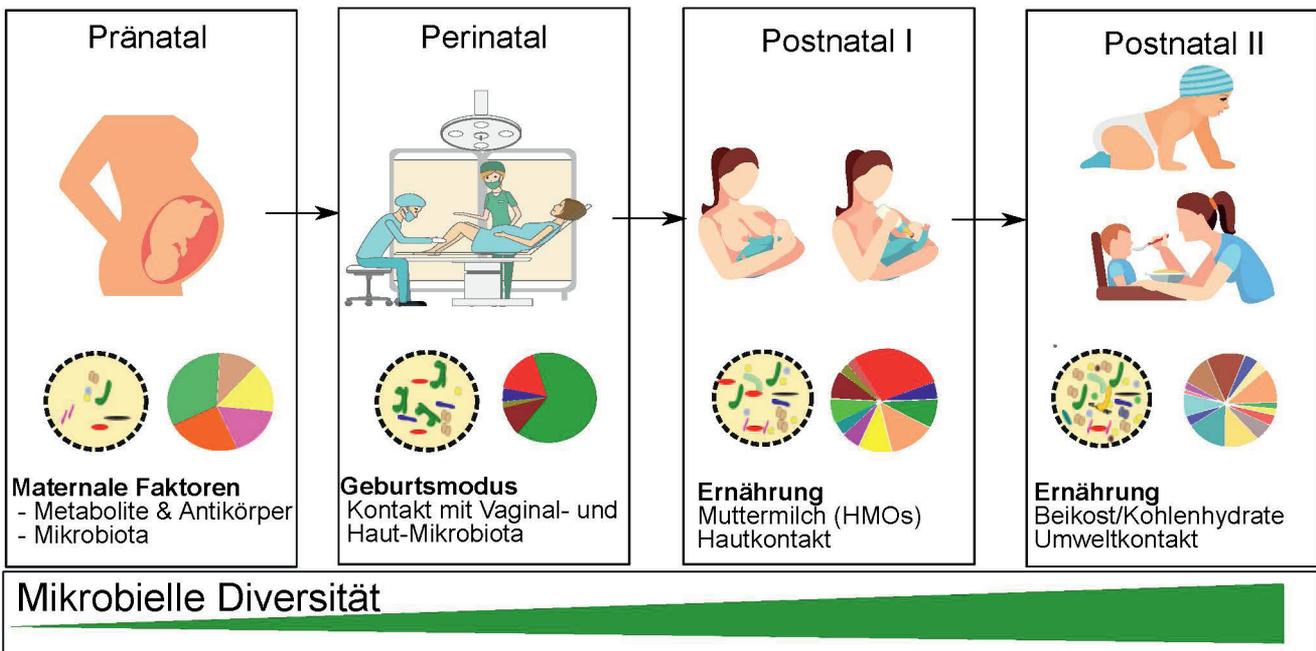
*biom*“ eines Individuums bezeichnet. Der Dickdarm ist der am dichtesten besiedelte Bereich des menschlichen Körpers. Dort stellen Bakterien mit bis zu  $10^{12}$  Zellen/g Darminhalt den weitaus größten Teil am Genpool des mikrobiellen Ökosystems.

Im Vergleich zum menschlichen Genom ist der Informationsgehalt des Mikrobioms mindestens um den Faktor 100 höher, weshalb inzwischen häufig der Begriff „zweites Genom“ (second genome) gebraucht wird. Darüber hinaus zeichnet sich das Mikrobiom durch seine hohe Individualität aus: Menschliche Genome variieren zwischen Individuen nur in ca. 0,1 % ihrer

Sequenz, humane Mikrobiome dagegen um mehr als 50 %.

Die Vielfalt (Diversität) der Darmbakterien ist in allen Segmenten des Magen-Darmtraktes hoch und umfasst individuell mehrere hundert verschiedene Bakterienarten. Insgesamt wurden in Fäzes- und Schleimhautproben des Menschen bereits über 1.500 Arten identifiziert.

Das menschliche Mikrobiom etabliert sich nach der Geburt innerhalb der ersten Jahre, bis eine gewisse Stabilität und hohe Diversität erreicht sind. Allerdings können, besonders in den ersten 3 Lebensjahren, zahlreiche Umwelteinflüsse, wie Ernäh-



2 Die Entwicklung des menschlichen Mikrobioms während der ersten Lebensjahre ist gekennzeichnet durch Zunahme von Anzahl und Diversität der Mikroorganismen. Maternale Faktoren, Ernährung, Erkrankungen, Medikamente – vor allem Antibiotika – beeinflussen die individuelle Mikrobiomkomposition langfristig.

rung, Erkrankungen (besonders Infektionen), Antibiotika und andere medizinische Therapien zu ausgeprägten, manchmal bleibenden Mikrobiomverschiebungen mit zum Teil erheblichen Konsequenzen für die Gesundheit führen [2].

Auch das relativ stabile Mikrobiom des Erwachsenen ist ein dynamisches System, welches sich an ständig wechselnde Umweltfaktoren (Art, Menge und Zeitpunkt der täglichen Nahrung, Medikamente) sowie an intrinsische Faktoren des Wirtes (individuelles Genom, Gesundheits- und Ernährungsstatus) anpasst. Die intestinalen Mikrobiota unterliegen sogar tageseitlichen Schwankungen, vermutlich größtenteils verursacht vom Rhythmus der Nahrungsaufnahme. Im Normalfall sind die Schwankungen bei einer Person deutlich geringer als zwischen verschiedenen Personen.

Antibiotika haben kurzfristig gravierende Effekte auf die Darmflora. Ein gesundes mikrobielles Ökosystem von Erwachsenen zeichnet sich durch seine hohe Stabilität (Resilienz) aus, d. h. nach Absetzen der Antibiotika kehrt die prätherapeutische Mikrobiota meist relativ schnell zurück. Es können aber auch dauerhafte, potentiell schädliche Veränderungen des intestinalen Ökosystems ausgelöst werden.

Im Normalfall bildet der menschliche Organismus mit seinem Mikrobiom eine Symbiose, also eine Koexistenz zum bei-

derseitigen Vorteil. Genetische Prädispositionen und/oder erworbene Störungen dieses Milieus (sog. Dysbiosen) jedoch können – wie wir mittlerweile wissen – an einem breiten Spektrum verschiedener Erkrankungen ursächlich beteiligt sein.

### Mikrobiom und Energieaufnahme

Zusammensetzung und Funktionalität der Darmflora beeinflussen wesentlich die Nährstoffextraktion aus der aufgenommenen Nahrung. Aufsehenerregende Studien zeigten, dass die Entwicklung von Übergewicht entscheidend vom Spektrum der Darmbakterien abhängt und Fettleibigkeit durch den Transfer von Darminhalt transplantierbar ist. Nach heutigem Kenntnisstand erklärt sich auch die erhöhte Gewichtszunahme von Masttieren durch niedrig dosierte Antibiotika im Futter und der dadurch veränderten Mikrobiom-Komposition. Auch an Patienten wurde beobachtet, dass nach Fäkalmikrobiotatransfer („Stuhltransplantation“) von einem fettleibigen verwandten Spender im Rahmen der Behandlung einer schweren Dickdarm-entzündung nach *Clostridium difficile* Infektion der zuvor schlanke Empfänger ebenfalls übergewichtig wurde.

Durch die Verstoffwechslung unverdaulicher Polysaccharide (Ballaststoffe) zu den kurzkettigen Fettsäuren (SCFA) Acetat,

Butyrat oder Propionat im Dickdarm liefern intestinale Bakterien ca. 10 % des täglichen Energiebedarfs ihres Wirtes. SCFA beeinflussen über spezifische Rezeptoren auch den Aktivierungsstatus von Epithel-, Nerven- und Immunzellen des Wirtes.

### Mikrobiom und Pathogenschutz

Bestimmte Bakterien der intestinalen Mikrobiota spielen eine wichtige Rolle im enterohepatischen Kreislauf der Gallensäuren, andere bei der Entgiftung schädlicher Stoffwechselprodukte, und wieder andere produzieren selbst schädliche Stoffwechselprodukte, Toxine oder Mutagene.

Die intestinale Mikrobiota übt eine essentielle Schutzfunktion aus. Sie unterdrückt das Wachstum und die Aktivität von Pathogenen durch (i) den Wettbewerb um essentielle Nährstoffe und Adhäsionsstellen, (ii) die Ansäuerung des intestinalen Milieus sowie (iii) die direkte antimikrobielle Aktivität (Kolonisationsresistenz, *pathogen exclusion*) von Substanzen, mit denen sich Bakterien gegenseitig kontrollieren (z. B. Bakteriozine).

Die erhöhte Infektionsanfälligkeit, z. B. für lebensgefährliche Erkrankungen durch *Clostridium difficile* nach antibiotisch gestörter Darmflora, macht diese wichtigen Funktionen für die Pathogenabwehr des Wirtes deutlich.

## Mikrobiom und chronisch entzündliche Darmerkrankungen

Zahlreiche Studien beschäftigten sich mit dem Zusammenhang von chronisch entzündlichen Darmerkrankungen wie Colitis ulcerosa oder Morbus Crohn und den individuellen Mikrobiota. Noch sind die genauen Mechanismen für Entstehung und Entwicklung der chronisch-entzündlichen Prozesse unklar, derzeitige Hypothesen gehen jedoch von einer aberranten, falsch ablaufenden Immunantwort gegen Mikrobiota aus. Dies könnte in genetisch empfänglichen Personen durch Umweltfaktoren getriggert sein.

Die entsprechenden Untersuchungen dokumentierten im Detail zwar unterschiedliche Störungen der Darm Mikrobiota (sog. Dysbiose) bei betroffenen Patienten, beobachteten jedoch reproduzierbar eine generelle Reduktion der Mikrobiomdiversität, eine Reduktion bzw. Zunahme definierter Bakterienarten.

Diese Beobachtungen passen zu Befunden, wonach „Empfindlichkeitsgene“ des Menschen wichtig für die Erkennung und Verarbeitung von Bakterien sind.

Eine Reihe klinischer Studien zur therapeutischen Korrektur der Dysbiose, z. B. durch Stuhltransplantation oder Probiotika, brachten erste vielversprechende Ergebnisse.

## Mikrobiom und Immunsystem

Bestandteile und Stoffwechselprodukte der intestinalen Mikroorganismen steuern entscheidend die Entwicklung effizienter, darmspezifischer Barriere- und Immunfunktionen. Das verhindert zum einen das Eindringen der Mikroben in den Organismus, zum anderen ist es Voraussetzung für die normale Entwicklung des Immunsystems. Eine Dysbiose kann zu immunologischen Erkrankungen führen. Zahlreiche Studien an Menschen und gnotobiotischen Mäusen (gezielt bakteriell besiedelte, zuvor keimfrei gehaltene Tiere) belegen, dass Allergien wie Asthma, bronchiale und Autoimmunkrankheiten wie die multiple Sklerose und die rheumatoide Arthritis in unerwartet starkem Maß von der Komposition und Diversität des Mikrobioms abhängen. Zugrunde liegende Mechanismen sind die Stimulation verschiedener Zelltypen des angeborenen und erworbenen Immunsystems durch Bakterienbestandteile und deren Stoffwechselprodukte, die unter

anderem die Spezialisierung, Stimulation und Teilung von Schlüsselzellern unseres Immunsystems, den sogenannten T Helferzellen und regulatorischen T Zellen, stark beeinflussen.

Die interessante Studie (Diabimmune) eines internationalen Wissenschaftlerkonsortiums offenbarte kürzlich mit einem Vergleich zwischen estnischen bzw. finnischen und russischen Kindern, dass die Entwicklung von Typ 1 Diabetes und Nahrungsmittelallergien stark vom Darmmikrobiom abhängt. Bei russischen Kindern sind immunologische Erkrankungen signifikant seltener, erklärbar durch das geringere Vorkommen bestimmter Bakterienarten (*Bacteroides species*), deren Zellwandbestandteile bei den finnischen und estnischen Kindern zu einer Immundysregulation beitragen.

Die weltweit zivilisationsbedingte, durch Antibiotika und Ernährungsgewohnheiten veränderte Komposition und Diversität des menschlichen Mikrobioms während der letzten Jahrzehnte könnte somit ein wesentlicher Faktor für die beobachtete Zunahme immunologisch bedingter Erkrankungen sein.

## Mikrobiom und Herz-Kreislaufsystem

Darmbakterien bilden nach neuen Erkenntnissen auch Stoffwechselprodukte, die die Entstehung von Arteriosklerose und dadurch Herzinfarkte und Schlaganfälle begünstigen können.

Besonders gut untersucht ist in diesem Zusammenhang das Trimethylamin-N-Oxid (TMAO), für dessen Produktion aus Fettbestandteilen der Nahrung Enzyme von bestimmten Darmbakterien entscheidend sind: In Tiermodellen konnte gezeigt werden, dass durch Antibiotika, die die entscheidenden Bakterienarten im Darm reduzieren, die Entstehung von Blutgefäßverschlüssen bei fettreicher Ernährung komplett verhindert werden konnten. Prophylaktisch und therapeutisch noch wesentlich interessanter sind allerdings Ansätze mit neu entwickelten Pharmaka, die die für die TMAO-Produktion wesentlichen Enzyme in den Darmbakterien spezifisch hemmen können und so völlig neue Vorbeugestrategien für Herzinfarkte und Schlaganfälle ermöglichen könnten, die nicht den Stoffwechsel des Menschen, sondern den seiner Darmbakterien beeinflussen.

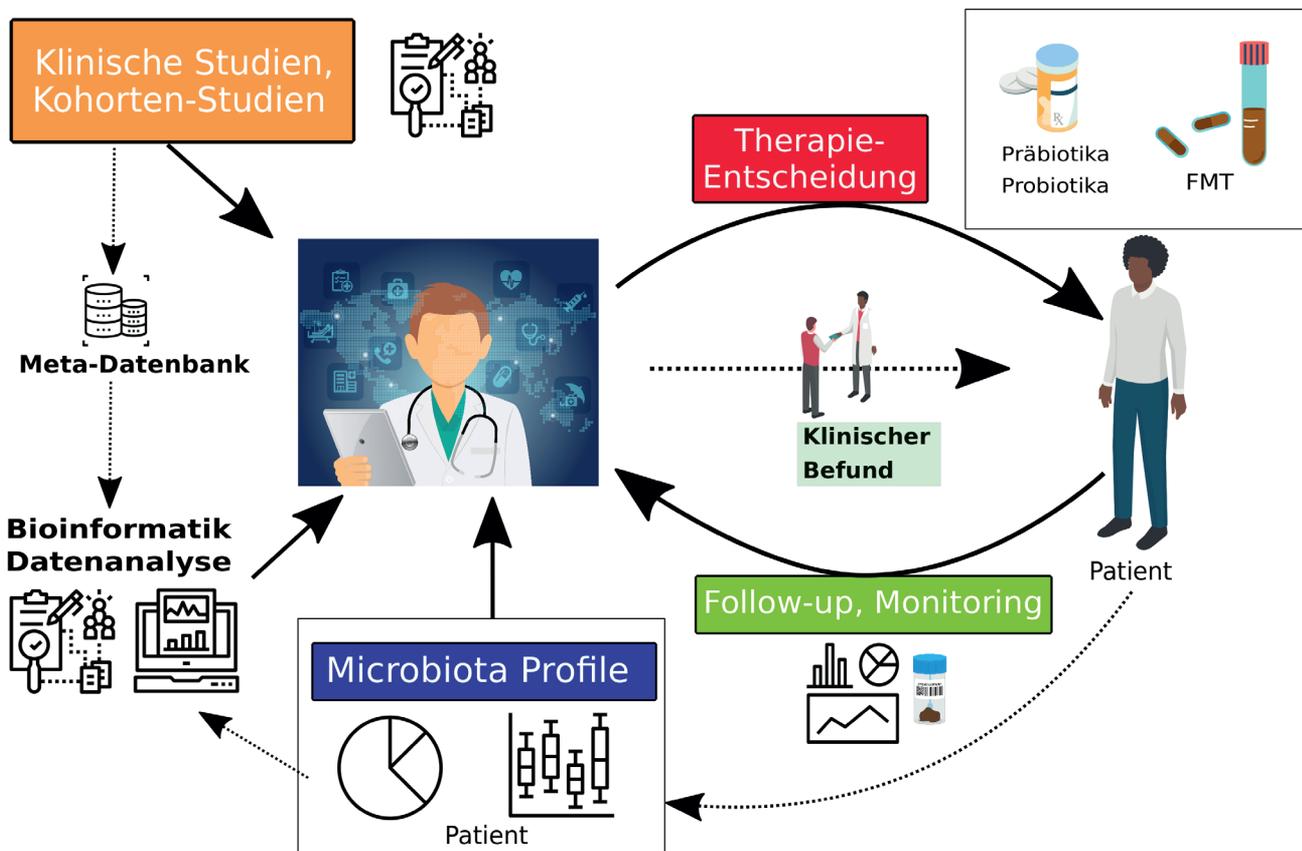
## Mikrobiom und Krebs

Die Darmbakterien können die Entstehung von Krebserkrankungen sowohl fördern als auch hemmen. Die genauen Zusammenhänge zwischen Mikrobiom und Tumorentwicklung oder therapeutischen Erfolgsfaktoren bei Krebs sind allerdings komplex und erst teilweise verstanden.

Als Krebsursachen gelten landläufig Umwelteinflüsse und genetische Veränderungen, obwohl nachzeitigem Kenntnisstand in ca. 20% der Fälle Mikroorganismen entscheidend beteiligt sind. Mikrobiota auf Schleimhautoberflächen können Teil des Tumormikromilieus in den Atemwegen und im Gastrointestinaltrakt werden und dort direkt oder durch resorbierte Moleküle auch in anderen Körpergeweben Krebserkrankungen beeinflussen. Hierbei sind drei Wirkungskategorien beschrieben: (i) die Steuerung von Proliferation und Tod von Tumorzellen durch z. B. die Produktion genotoxischer und mutagener Substanzen; (ii) die Stärkung oder Schwächung der antitumoralen Immunfunktionen sowie (iii) die Verstoffwechslung von Wirtsmolekülen, Nahrungsbestandteilen oder Medikamenten, die für die Krebsentstehung oder Therapie entscheidend sind.

Neben den sogenannten Onkomikroben, die z. B. durch Tumor-induzierende Gene (Onkogene) oder chronische Entzündungsprozesse direkt die maligne Entartung von Zellen auslösen (Papillomviren, Hepatitisviren, *Helicobacter pylori* u. a.) gibt es offensichtlich zusätzlich individuelle Mikrobiomkonstellationen, die eine Krebsentstehung maßgeblich mitbeeinflussen. Besonders interessant sind in diesem Zusammenhang aktuelle Veröffentlichungen, wonach der Erfolg moderner Krebstherapien auch vom individuellen Mikrobiom abhängt.

Zwei Arbeitsgruppen haben 2016 unabhängig voneinander herausgefunden, dass der Erfolg einer Therapie mit sogenannten „Checkpoint-Inhibitoren“ auch von der Anwesenheit bestimmter Bakterien im Darm abhängt. Checkpoint-Inhibitoren sind monoklonale Antikörper, die Moleküle auf Immunzellen blockieren, die deren Aktivität unterdrücken und so durch die „Hemmung der Hemmung“ das körpereigene Immunsystem gegen Melanome (Hautkrebs) oder Lungenkrebs aktivieren. Hierdurch ist es häufig möglich geworden, bei vielen Patienten mit zuvor nicht mehr kurativ behandelbaren Tumoren mit Metastasen stabile Remissionen oder sogar Hei-



3 Die Analyse des menschlichen Mikrobioms in der Medizin: Basierend auf dem Vergleich von Patientengruppen und Gesunden sowie bioinformatischen und weiteren experimentellen Untersuchungen sollen zukünftig Mikrobiomanalysen für individuelle Patienten ermöglicht werden, um eine evidenzbasierte therapeutische oder prophylaktische günstige Beeinflussung des Mikrobioms z. B. durch Probiotika, Präbiotika oder Fekal-Mikrobiota-Transfer (FMT, „Stuhltransplantation“) zu erreichen.

lungen zu erreichen. Moleküle bestimmter Darmbakterien (z. B. Bifidobakterien) sind für eine Voraktivierung von dendritischen Zellen des Immunsystems und dadurch für eine effektive Anti-Tumorimmunantwort in Tiermodellen erforderlich und es wird spannend werden, zu überprüfen, ob auch bei Tumorpatienten die Komposition der Mikrobiota für die Wirkung immunmodulierender Krebstherapien eine Rolle spielt.

### Mikrobiom und Psyche

Überraschende Zusammenhänge präsentieren sich auch zwischen psychiatrischen Erkrankungen und der intestinalen Bakterien. Kleinere Studien an Patienten mit bestimmten Formen des Autismus offenbarten auffällige Abweichungen in der Zusammensetzung des Darmmikrobioms, was evtl. auch die Erklärung für die typischen gastrointestinalen Begleitsymptome liefern könnte.

Als Folge einer starken Immunaktivierung von Muttertieren konnten in aufwändigen Experimenten bei neugeborenen

Mäusen Autismus-ähnliche Verhaltensweisen, wie die ängstliche Kontaktvermeidung, ausgelöst werden. Für diese Verhaltensänderungen sind bestimmte Darmbakterien (z. B. segmentierte filamentöse Bakterien (SFBs)) verantwortlich, die bestimmte T-Zellen induzieren (T-Helfer 17 Zellen), welche Hirnveränderungen im primären somatosensorischen Cortex verursachen. Tatsächlich gelang es im Experiment sogar, die Verhaltensauffälligkeiten der neugeborenen Mäuse durch Behandlung der Muttertiere mit bestimmten Antibiotika zu vermindern. Auch die orale Gabe bestimmter Darmbakterien (*Bacteroides fragilis*) hat das Auftreten dieser Störungen verhindert.

Neue Publikationen belegen darüber hinaus einen Einfluss der Darmmikrobiota auf depressive Erkrankungen des Menschen: So weisen depressive Patienten im Vergleich zu einer Kontrollgruppe signifikante Änderungen der Darmmikrobiom-Komposition auf. Zudem ließen sich depressive Verhaltensweisen durch Darmbakterien von Patienten, nicht aber von gesunden Kontrollpersonen auf keimfreie

Mäuse übertragen. Dazu passend induzierte Minocyclin, ein antibiotisch aktives Medikament zur Depressionsbehandlung, in Depressions-Tiermodellen Veränderungen im Mikrobiom, die mit einer Besserung stressbedingter Entzündungsprozesse und depressiven Verhaltens korrelierten.

### Die Mikrobiomforschung in Regensburg

Unter Leitung von Dr. Andreas Hiergeist wurde im Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene an der Universität Regensburg seit 2010 eine neue „Core-Facility“ zur Mikrobiomsequenzierung und bioinformatischen Analyse etabliert. Die medizinische Untersuchung des menschlichen Mikrobioms ist eine sehr anspruchsvolle Analytik, die zukünftig eine evidenzbasierte prophylaktische oder therapeutische Optimierung des Mikrobioms von Patienten ermöglichen soll [3]. Durch systematische Standardisierung der aufwändigen Sequenzierungsverfahren, Ent-

wicklung neuer Möglichkeiten der Stabilisierung von Patientenproben vor Eingang in das Labor sowie ein inzwischen von unserem Labor weltweit patentiertes Verfahren zur Quantifizierung und Qualitätskontrolle der Mikrobiomuntersuchung war es 2017 möglich, erstmals in Europa die Akkreditierung durch Regierungsbehörden für die Mikrobiomuntersuchung als medizinische Diagnostik für Patienten zu erhalten. Das Regensburger Mikrobiomlabor ist seit 2014 Qualitätsringversuchszentrum für Deutschland und andere europäische Länder (Österreich, Schweiz, Norwegen).

Wissenschaftlicher Schwerpunkt unserer Untersuchungen ist die bidirektionale Wechselwirkung zwischen Immunsystem und dem Mikrobiom, wobei von Darmepithel- und Immunzellen gebildete antibakterielle Proteine im Mittelpunkt der durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Forschungsprojekte stehen. In enger Zusammenarbeit mit klinischen Kollegen werden darüber hinaus z.B. die Einflüsse des Darmmikrobioms auf die Graft-versus-Host (Gewebe-gegen-Wirt) Erkrankung nach Stammzelltransplantation bei Patienten mit Leukämien oder Lymphomen (Kooperation mit Prof. Ernst Holler, Medizinische Klinik 3 des Universitätsklinikums Regensburg), auf die Therapie von Depressionen (Kooperation mit Prof. Rainer Rupprecht, Leiter der Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie der Universität Regensburg) und auf die frühkindliche Entwicklung im Rahmen der Regensburger Neugeborenen-Kohorte KUNO-Kids (Leiter Prof. Michael Kabesch, Klinik und

Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin, St. Hedwig, Regensburg) untersucht.

## Ausblick

Die zahlreichen, häufig unerwarteten Befunde, die Zusammenhänge zwischen verschiedensten Erkrankungen des Menschen und der Mikrobiota nahelegen, sind weltweit Motivation für die Entwicklung neuer Therapien zu gezielten Veränderungen des Mikrobioms. Mögliche Ansatzpunkte sind (i) der Einsatz von Wirkstoffen, die die Darmbakterien in Vermehrung oder Aktivität beeinflussen (Präbiotika), (ii) die Behandlung mit gezielt ausgewählten, lebenden Bakterien (Präbiotika), (iii) der Transfer von Darmbakterien (Mikrobiota) von gesunden Spendern sowie (iv) die Verabreichung von neuen Pharmaka, die gezielt bakterielle Enzyme und Stoffwechselwege blockieren („drugging the microbiome“).

Die Mikrobiomforschung steht immer noch am Anfang. Detailzusammenhänge mit Erkrankungen sind oft unklar, die intestinalen Mikroorganismen sind zum größten Teil bis heute im Labor nicht anzüchtbar, es steht noch keine ausreichend standardisierte Routinediagnostik zur Verfügung und vermutlich müssen auch Rückschläge verkraftet werden. Dennoch: Die Mikrobiomdiagnostik und -therapie sind relevante, hochattraktive Bausteine der personalisierten Medizin des 21. Jahrhunderts. Unser Ziel ist es, an der Universität Regensburg auch weiterhin interessante Beiträge zu diesem relativ jungen Forschungsfeld zu leisten.

## Literatur

- J. Qin, R. Li, J. Raes, M. Arumugam, K. S. Burgdorf, C. Manichanh, T. Nielsen, N. Pons, F. Levenez, T. Yamada, D. R. Mende, J. Li, J. Xu, S. Li, D. Li, J. Cao, B. Wang, H. Liang, H. Zheng, Y. Xie, J. Tap, P. Lepage, M. Bertalan, J. M. Batto, T. Hansen, D. Le Paslier, A. Linneberg, H. B. Nielsen, E. Pelletier, P. Renault, T. Sicheritz-Ponten, K. Turner, H. Zhu, C. Yu, S. Li, M. Jian, Y. Zhou, Y. Li, X. Zhang, S. Li, N. Qin, H. Yang, J. Wang, S. Brunak, J. Doré, F. Guarner, K. Kristiansen, O. Pedersen, J. Parkhill, J. Weissenbach; MetaHIT Consortium, P. Bork, S. D. Ehrlich, J. Wang et al., A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature*, 2010, 464(7285): S. 59–65.
- C. A. Lozupone, J. I. Stombaugh, J. I. Gordon, J. K. Jansson, Knight R. Diversity, stability and resilience of the human gut microbiota. *Nature*, 2012, 489 (7415): S. 220–230.
- T. Vatanen, A. D. Kostic, E. d’Hennezel, H. Siljander, E. A. Franzosa, M. Yassour, R. Kolde, H. Vlamakis, T. D. Arthur, A. M. Hämäläinen, A. Peet, V. Tillmann, R. Uibo, S. Mokurov, N. Dorshakova, J. Ilonen, S. M. Virtanen, S. J. Szabo, J. A. Porter, H. Lähdesmäki, C. Huttenhower, D. Gevers, T. W. Cullen, M. Knip; DIABIMMUNE Study Group, R. J. Xavier et al., Variation in Microbiome LPS Immunogenicity Contributes to Autoimmunity in Humans. *Cell*. 2016, 165(4): S. 842–853.
- P. Zheng, B. Zeng, C. Zhou, M. Liu, Z. Fang, X. Xu, L. Zeng, J. Chen, S. Fan, X. Du, X. Zhang, D. Yang, Y. Yang, H. Meng, W. Li, N. D. Melgiri, J. Licinio, H. Wei, P. Xie, Gut microbiome remodeling induces depressive-like behaviors through a pathway mediated by the host’s metabolism. *Mol Psychiatry*. 2016, 21(6): S. 786–796.
- A. Hiergeist, U. Reischl, Priority Program 1656, Intestinal Microbiota Consortium/ quality assessment participants, A. Gessner, Multicenter quality assessment of 16S ribosomal DNA-sequencing for microbiome analyses reveals high inter-center variability. *Int J Med Microbiol*. 2016, 306(5): S. 334–342.



© Privat

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. **André Gessner**, geb. 1961 in Bremen, Studium der Medizin und Molekularbiologie an der Universität Hamburg, Promotionen 1989 und 1993, Facharzt für Medizinische Mikrobiologie und Infektionsepidemiologie 1996, Habilitation an der FAU Erlangen 1997, Forschungsaufenthalt UCSF, San Francisco, USA 2001, Fachimmunologe 2002, C3-Professor für Medizinische Mikrobiologie an der FAU Erlangen 2003, seit 2010 W3 Professor (Lehrstuhl) und Leiter des Institutes für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene an der Universität Regensburg, seit 2015 Forschungsdekan der Medizinischen Fakultät.

**Forschungsschwerpunkte:** Infektionsimmunologie, Mikrobiom.