

AUSGABE 7
DEZEMBER 2015

RUPERTO CAROLA
FORSCHUNGSMAGAZIN



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

SCHATTEN

&


LICHT

LIEBE LESERINNEN UND LESER DER RUPERTO CAROLA,

im internationalen Jahr des Lichts widmen wir die Dezember-Ausgabe unseres Forschungsmagazins dem Schwerpunktthema **SCHATTEN & LICHT**. Als Ursprung jeglichen Lebens und Quelle der Erkenntnis ebenso wie als Motor für Technik und Innovation beeinflusst Licht tief greifend alle Bereiche unserer Existenz und damit auch der Wissenschaft. Kein Hell ohne Dunkel: Das zeigen Überlegungen zu den Licht- und Schattenseiten des deutschen Wissenschaftssystems ebenso wie die Beiträge unserer Autoren zu lebensfeindlichen Ökosystemen, in die kein Sonnenstrahl vorzudringen vermag, oder zu den schädigenden Auswirkungen des Sonnenlichts.

Darüber hinaus beschreiben Heidelberger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie mithilfe von Licht neue Einblicke in die Geheimnisse des menschlichen Denkens und Fühlens gewonnen werden können, welche Rolle die Metaphorik von Hell und Dunkel bei epochalen Umbrüchen in der Geschichte gespielt hat und welche Maßnahmen geeignet sind, Einwanderer besser zu integrieren – sie aus dem Schatten der Gesellschaft zu holen. Auch Autoren aus der Biophysik, der Astronomie, der Religions- sowie der Kunstgeschichte und der Augenheilkunde zeigen, auf wie vielfältige Weise an der Universität Heidelberg zum Thema Licht gedacht, gearbeitet und gelehrt wird.

Ich wünsche Ihnen eine spannende und anregende Lektüre mit erhellenden Einblicken in die Forschungsaktivitäten unserer Universität.



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



LEUCHT KRÄFTE



EXPERTEN IM GESPRÄCH
**FREIHEIT DURCH WAHRHEIT
DIE IDEE DER UNIVERSITÄT**
IM GESPRÄCH MIT JOHANNA STACHEL & CLAUS BARTRAM

6

SINOLOGIE & GESCHICHTE
**AUS DEM DUNKEL INS LICHT
EPOCHALE UMBRÜCHE IN CHINA UND EUROPA**
BARBARA MITTLER & THOMAS MAISSEN

16

RELIGIONSGESCHICHTE
**ENGEL UND DÄMONEN
POLARE WELTDEUTUNGSMUSTER IN DER RELIGION**
GREGOR AHN

26

POLITISCHE ÖKONOMIE
**AUS DEM SCHATTEN TRETEN
INTEGRATION DURCH EIN LIBERALERES RECHT**
CHRISTINA GATHMANN

34

HELL SEHEN



BIOPHYSIK
**DURCH DEN DRSCHUNDEL DER MOLEKÜLE
ROUTENPLANER FÜR ZIELE IM GENOM**
JÖRG LANGOWSKI

44

UMWELTPHYSIK & BILDVERARBEITUNG
**DER OZEAN IM LABOR
MESSEN MIT LICHT UND SCHATTEN**
BERND JÄHNE

52

OPTOGENETIK
**LICHT EIN, LICHT AUS
DER MOLEKULARE SCHALTER**
BARBARA DI VENTURA & ROLAND EILS

60

HIRNFORSCHUNG
**KOMPLEXITÄT ALS HERAUSFORDERUNG
IN DEN TIEFEN DES GEHIRNS**
ANDREAS MEYER-LINDENBERG & WOLFGANG KELSCH

68

IMPRESSUM

75

SCHATTEN WELTEN



DERMATOLOGIE
**HAUT UND LICHT
FREUND ODER FEIND?**
ALEXANDER ENK & HOLGER HÄNBLE

78

UMWELTPHYSIK
**UNTERM WOLKENSCHIRM
KLIMAWIRKSAME EISKRYSTALLE**
KLAUS PFEILSTICKER & UGO TRICOLI

86

GERMANISTIK
**DUNKLE DICHTUNG
GLANZ UND TRAUM DER SCHATTEN**
ROLAND REUB

92

CHRONOBIOLOGY
**CAVEFISH CLOCKS
TELLING TIME IN THE DARK**
NICHOLAS S. FOULKES

100

LICHT GESTALTEN



ASTROPHYSIK
**KOSMISCHE LEUCHTTÜRME
HELLER ALS MILLIARDEN SONNEN**
FRIEDRICH RÖPKE

110

KUNSTGESCHICHTE
**CHARAKTERBAUTEN
DIE ÄSTHETIK VON LICHT & SCHATTEN**
MICHAEL HESSE

118

AUGENHEILKUNDE
**ART ODER ARTEFAKT?
IM AUGE DES BETRACHTERS**
GERD U. AUFFARTH

128

KLASSISCHE ARCHÄOLOGIE
**ES WERDE LICHT!
LEUCHTEN VOM ALTERTUM BIS IN DIE NEUZEIT**
REINHARD STUPPERICH

136



EXPERTEN IM GESPRÄCH
FREIHEIT DURCH WAHRHEIT
DIE IDEE DER UNIVERSITÄT
IM GESPRÄCH MIT JOHANNA STACHEL & CLAUS BARTRAM

6



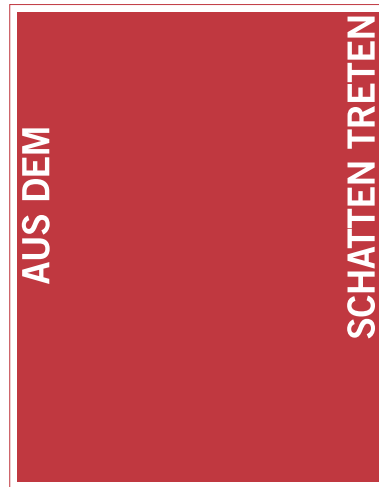
SINOLOGIE & GESCHICHTE
AUS DEM DUNKEL INS LICHT
EPOCHALE UMRÜCKE IN CHINA UND EUROPA
BARBARA MITTLER & THOMAS MAISSEN

16



RELIGIONSGESCHICHTE
ENGEL UND DÄMONEN
POLARE WELTDEUTUNGSMUSTER IN DER RELIGION
GREGOR AHN

26



POLITISCHE ÖKONOMIE
AUS DEM SCHATTEN TRETEN
INTEGRATION DURCH EIN LIBERALERES RECHT
CHRISTINA GATHMANN

34

LEUCHT KRÄFTE



FREIHEIT DURCH

WAHRHEIT

FREIHEIT DURCH WAHRHEIT

DIE IDEE DER UNIVERSITÄT

IM GESPRÄCH MIT JOHANNA STACHEL & CLAUD BARTRAM

„Wo viel Licht ist, ist starker Schatten.“ Dieses in den allgemeinen Sprachschatz eingegangene Zitat aus Goethes Drama „Götz von Berlichingen“ trifft auch auf unser Wissenschaftssystem zu. Die Physikerin Johanna Stachel und der Humangenetiker Claus Bartram beleuchten die Licht- und Schattenseiten des deutschen Universitätsgeschehens – und berühren dabei zentrale Fragen von Ideal und Wirklichkeit, Vertrauen und Enttäuschung, Freiheit und Verantwortung.

H

Herr Prof. Bartram, Sie haben einmal gesagt, dass Sie dazu neigen, die Idee der Universität zu überidealisieren. Gleichzeitig mache Sie dies anfällig für Enttäuschungen. Was ist Ihr Ideal der Universität und an welche Enttäuschungen haben Sie dabei gedacht?

Prof. Bartram: Ich bin nach wie vor von der Idee der Universität begeistert und finde, dass ich den schönsten Beruf der Welt ausübe. Schon als Jugendlicher hatte ich eine große Affinität zur Idee der Universität, wie sie etwa der Philosoph Karl Jaspers vertrat: als Bezeugung der Freiheit durch Wahrheit. Das ist es, was mich – trotz der auch negativen Erfahrungen, die ich in meinem bisherigen Wissenschaftlerleben gemacht habe – nach wie vor beflügelt. Ich finde es immer wieder großartig, an der Universität über das eigene Fach hinaus mit Kollegen zusammenzukommen, die anderen Arbeitsrichtungen entstammen, und mit diesen in ein Gespräch zu treten. Deswegen habe ich auch die Arbeit

in universitären Gremien nie als Belastung empfunden, sondern stets als sehr bereichernd.

Sie sprachen von negativen Erfahrungen. Woran denken Sie dabei?

Prof. Bartram: Das Erlebnis, das mich am stärksten persönlich getroffen hat, war der Fälschungsskandal um die Krebsforscher Friedhelm Herrmann und Marion Brach im Jahr 1997. Aus meiner Zeit an der Universität Ulm kannte ich beide gut. Als mir ein ehemaliger Doktorand aus ihrer Arbeitsgruppe von der systematischen Fälschung wissenschaftlicher Arbeiten berichtete, war ich zunächst fassungslos – und als er mir seine Belege hierfür zeigte, wusste ich: Das kann ich nicht einfach ignorieren. Dann begann eine Zeit, die zu den schwersten meines Lebens gehört, denn immer stand auch die Frage im Raum: Was, wenn die Vorwürfe am Ende unbegründet sind und ich das Leben zweier angesehener Wissenschaftler – und ihrer ganzen Gruppe – kaputt mache? Damals gab es noch kein geordnetes Verfahren, etwa eine Ombudskommission, die wissenschaftliches Fehlverhalten prüft und die ich hätte einschalten können. In einem persönlichen Gespräch hat Frau Brach schließlich ihr Fehlverhalten eingestanden. Letztlich konnten in knapp hundert Arbeiten der beiden Fälschungen nachgewiesen werden. Sowohl Herr Herrmann als auch Frau Brach verloren ihre Positionen. Dieser Fall hat mich über Monate hinweg auf das Intensivste beschäftigt, und oftmals habe ich mich überfordert gefühlt.



Professor Johanna Stachel

„Ergebnisoffene Forschung hat es schwer.“

Johanna Stachel

Dennoch haben Sie Ihr Vertrauen in das Wissenschaftssystem nicht verloren?

Prof. Bartram: Nein, auf keinen Fall, denn wissenschaftliches Fehlverhalten ist zum Glück nicht die Regel, sondern bleibt die Ausnahme. Dennoch hat mich diese Erfahrung für die Störanfälligkeit von Universitäten sensibilisiert. Ursache ist der Vertrauensvorschuss, den es in den Wissenschaften immer geben muss. Wenn ich wirklich meinte, hinter jeder Arbeit stünde eine Fälschung, dann ist Wissenschaft nicht machbar. Deshalb bin ich auch gegen die generelle automatisierte Überprüfung von Doktorarbeiten. Das würde ein primäres Misstrauensmoment darstellen, das sich an einer Universität nicht gehört. Entscheidend ist, dass man im Falle eines Verdachts auf ein geordnetes Verfahren zurückgreifen kann.

Frau Prof. Stachel, haben Sie ähnliche Enttäuschungen erlebt?

Prof. Stachel: In der Physik ist wissenschaftliches Fehlverhalten ein vergleichsweise geringes Problem. Bedeutende Ergebnisse, die ein Forscher publiziert, werden in der Regel reproduziert. Arbeitet man ungenau oder fälscht wissenschaftlich, wird dies über kurz oder lang sehr wahrscheinlich auffallen. Dennoch findet wissenschaftliches Fehlverhalten im Kleinen statt, etwa wenn auf öffentlich zugängliche Software zurückgegriffen wird, ohne dies kenntlich zu machen. Unsere Aufgabe als Professoren ist es, dem Nachwuchs klare Richtlinien für ein korrektes wissenschaftliches Verhalten an die Hand zu geben. Das ist insbesondere auch bei großen Kollaborationen wichtig, an denen viele Forscher beteiligt sind. Bei Individualveröffentlichungen, die aus derartigen Projekten hervorgehen – beispielsweise bei Dissertationen –, ist unbedingt kenntlich zu machen, welche Teile der Arbeit von dem Autor stammen.

Sie sprechen von Richtlinien. Gibt es noch andere Maßnahmen, die denkbar wären, um wissenschaftlich korrektes Verhalten sicherzustellen?

Prof. Bartram: Ein ganz wichtiger Punkt ist, den jüngeren Mitarbeitern vorzuleben, was wir eigentlich unter Wissenschaft verstehen. Ich finde es grauenhaft, wie selbstverständlich heutzutage davon ausgegangen wird, dass nur Erfolge produziert werden. Zur Wissenschaft gehören auch Durstrecken und Phasen, in denen eine Idee scheitert. Dass dies toleriert wird, müssen wir unseren Mitarbeitern mitgeben. Ich habe gelegentlich das Gefühl, dass das Wissenschaftssystem derzeit überdreht: Es zählen nur noch die Anzahl erfolgreicher Publikationen und die Höhe der eingeworbenen Drittmittel. Diese aber gibt es zumeist nur für Forschungsvorhaben, deren Erfolg so gut wie vorprogrammiert ist. Neue, explorative Forschung ist somit kaum umsetzbar. Der Druck ist enorm – für den einen oder anderen liegt es da entsprechend nahe, dem Erfolg nachzuhelfen.

Prof. Stachel: Leider gibt es heute kaum noch Mittel, über die man mutige innovative Forschungsvorhaben finanzieren könnte. Die Grundmittel der Universitäten, aus denen dies möglich wäre, stagnieren seit Langem und fließen inzwischen überwiegend in den Erhalt von Gebäuden, Infrastruktur und die steigenden Energiekosten. Ergebnisoffene Forschung hat es daher schwer. Übrigens: Auch ein negatives Ergebnis kann sehr wertvoll sein. Führt eine Methode nicht zum Erfolg, heißt das noch lange nicht, dass die Arbeit ein Fehlschlag ist.

Prof. Bartram: Durch den enormen Leistungsdruck wird leider sehr viel Mainstream-Forschung betrieben. Die wirklichen Fortschritte aber kommen immer vom Rande her – von Arbeiten, deren Ergebnisse nicht vorprogrammiert sind. Wir müssen in die Grundlagenforschung investieren, auch wenn deren Zielrichtung weniger offensichtlich ist.

Prof. Stachel: Tatsächlich müssen wir uns gegenüber der Politik – nachvollziehbarerweise – immer stärker rechtfertigen, warum es die Grundlagenforschung braucht. Unsere besten Argumente dabei sind jene Arbeiten, die völlig unerwartet bahnbrechende Erkenntnisse hervorgebracht haben. Ein gutes Beispiel ist die mit einem Nobelpreis ausgezeichnete Forschung des Physikers Felix Bloch, der versuchte, das Dipolmoment eines Neutrons zu verstehen, also das Maß für die Verteilung positiver und negativer Ladungen innerhalb eines elektrisch neutralen Teilchens – reine Grundlagenforschung. Dabei entdeckte Bloch Mitte des 20. Jahrhunderts quasi als Nebenprodukt die Kernspinresonanz, die heute als Grundlage der Magnetresonanztomographie aus der medizinischen Anwendung nicht mehr wegzudenken ist. Derartige Forschung braucht Zeit. Heutzutage aber, da die Qualität eines Wissenschaftlers wesentlich an der Anzahl seiner Publikationen bemessen wird, haben wir diese Zeit nicht mehr. Bereits eine Phase von zwei Jahren ohne Veröffentlichung gilt als kritisch.

Prof. Bartram: Rein quantitative Kriterien als Qualitätsmaßstab zu nehmen, ist sicher problematisch – zumal ich es für falsch halte, alle Fächerkulturen über einen Kamm zu scheren. Ein Kriterienkatalog, der in der Medizin, Biologie oder anderen Naturwissenschaften funktionieren mag, ist nicht unbedingt auch auf die Geisteswissenschaften übertragbar. Andere aussagekräftige und praktikable Kriterien zu finden, ist uns jedoch bislang nicht gelungen. Um zu verhindern, dass ein Forscher, der längere Zeit nicht publiziert, ins Bodenlose fällt, haben wir zumindest eingeführt, dass in Drei- bis Fünfjahreszyklen evaluiert wird. Dennoch kommen wir nicht umhin, zu akzeptieren, dass wir uns in einem immer stärker werdenden Wettbewerb um Gelder befinden. Sich dieser Tatsache nicht zu stellen, wäre falsch.

Nun haben wir über Schattenseiten des Wissenschaftssystems gesprochen. Was sind die Stärken unserer Universitäten?

Prof. Bartram: Wir leben in einem sehr freien System. Das ist ein großes Privileg, dessen wir uns bewusst sein sollten. Und es passiert so viel in der Wissenschaft – auf allen Gebieten. Anfang des 19. Jahrhunderts noch schienen die Weltbilder abgeschlossen, der Fortschritt stagnierte. Heute dagegen – nehmen wir etwa die Genomforschung: Wir gewinnen ständig neue Erkenntnisse und gleichzeitig sind viele Fragen noch offen – das ist doch großartig.

Prof. Stachel: Ich könnte mir kein besseres Arbeitsumfeld als das der Universität vorstellen – weder in einer der anderen Wissenschaftseinrichtungen noch in der Wirtschaft. Ein großer Lichtblick für mich sind insbesondere die vielen intelligenten jungen Leute. Es macht mir große Freude, mit ihnen zu arbeiten und zu sehen, wie sie sich entwickeln.

„In den
Wissenschaften muss
es einen Vertrauens-
vorschuss geben.
Anders ist
Wissenschaft nicht
machbar.“

Claus Bartram



Professor Claus Bartram

Sie haben beide angesprochen, wie wichtig der wissenschaftliche Nachwuchs für die Universitäten ist. Auch hier jedoch gibt es nicht nur Licht. Eine Karriere in der Wissenschaft ist ein steiniger Weg. Können Sie jungen Menschen guten Gewissens raten, diesen Weg einzuschlagen?

Prof. Bartram: Voraussetzung ist, dass man von seinem Fach begeistert ist. Für mich persönlich habe ich das nie infrage gestellt: Mir war immer klar, dass ich im universitären Umfeld arbeiten wollte. Dabei hatte ich das Glück, dass meine Lehrer mir stets große Freiheiten eingeräumt haben. Diese Freiheit möchte ich an meine Mitarbeiter weitergeben. Jemanden sinnvoll zu fördern, setzt schließlich voraus, ihn zu selbstständigem Arbeiten zu befähigen.

Prof. Stachel: Die schwierigen Bedingungen, unter denen junge Wissenschaftler arbeiten, sind zynisch betrachtet Fluch und Segen zugleich. Auf der einen Seite stellen sie sicher, dass nur diejenigen an der Universität bleiben, die eine hohe intrinsische Motivation und Arbeitsbereitschaft mitbringen. Auf der anderen Seite aber verlieren wir auch viele ausgezeichnete Nachwuchswissenschaftler. Ich selber habe mich nach der Promotion entschieden, in die USA zu gehen – zunächst schweren Herzens, bis ich feststellte, dass ich dort viel bessere Möglichkeiten hatte. Letztlich bin ich nur nach Deutschland zurückgekehrt, weil mir hier eine Professur angeboten wurde. Unter der Voraussetzung, hoch genug einzusteigen, ist das deutsche System äußerst attraktiv. Für junge Leute jedoch sind die Perspektiven in den USA oft viel besser. Deshalb plädiere ich auch dafür, das Tenure-Track-Prinzip bei uns einzuführen, also die Chance, nach einer befristeten Bewährungszeit eine Lebenszeitprofessur zu erhalten. Die Perspektive einer permanenten Anstellung können wir – trotz der Juniorprofessuren – derzeit nur sehr wenigen Nachwuchswissenschaftlern bieten. Meinen Mitarbeitern kann ich daher nur empfehlen, sich weltweit auf Stellen zu bewerben, auch wenn bei vielen der Wunsch besteht, in Deutschland zu bleiben.

Diese Flexibilität stellt für viele ein großes Problem dar.

Prof. Stachel: Richtig, denn in die Phase, in die wichtige Karriereschritte fallen, fällt gewöhnlich auch die Familienplanung. Leider verlieren wir an dieser Stelle insbesondere viele junge Frauen. Das muss nicht unbedingt zum Schaden der Frauen sein, da sie oftmals andere gut bezahlte und interessante Jobs finden, aber es ist definitiv ein Verlust für unser Wissenschaftssystem.

Herr Prof. Bartram, in der Medizin sind nur knapp 15 Prozent der Professuren mit Frauen besetzt, die Zahl der weiblichen und männlichen Studierenden hingegen ist ausgeglichen. Wie erklären Sie sich das?

Prof. Bartram: Auch unter den Doktoranden sind die Zahlen noch ausgeglichen, der Anteil der Habilitationen, die von Frauen eingereicht werden, liegt allerdings nur



PROF. DR. JOHANNA STACHEL studierte Physik und Chemie an der Universität Mainz sowie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich. Nach ihrer Promotion im Jahr 1982 an der Universität Mainz ging sie als Feodor Lynen-Stipendiatin der Alexander von Humboldt-Stiftung an die amerikanische State University of New York (SUNY) at Stony Brook, wo sie 1985 zum Assistant Professor, 1989 zum Associate Professor und 1994 dann zum Full Professor of Physics ernannt wurde. Seit 1996 lehrt sie Teilchenphysikerin an der Universität Heidelberg. Sie ist Vizepräsidentin der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DFG), deren erste Präsidentin sie von 2012 bis 2014 war. In Anerkennung ihrer wegweisenden Forschungen, insbesondere auf dem Gebiet der Hochenergiekernphysik, wurde ihr 1999 das Bundesverdienstkreuz und 2001 der Lautenschläger-Forschungspreis verliehen, im Jahr 2014 wurde sie zudem mit dem Lise-Meitner-Preis ausgezeichnet. Johanna Stachel ist Mitglied in zahlreichen wissenschaftlichen Vereinigungen, wie der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften, der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und der Leopoldina und Fellow der American Physical Society. Als erste Frau wurde ihr vom Frankfurter Physikalischen Verein die Ehrenmitgliedschaft verliehen.

Kontakt: stachel@
physi.uni-heidelberg.de

noch bei 25 Prozent. Einer der Gründe hierfür ist sicher die Familienplanung. Ein anderer Faktor mag die Art des Kampfes um Karriereposten sein. Ich kenne mehrere Frauen, die sich aus diesem Grund bewusst gegen eine Leitungsfunktion entschieden haben.

Prof. Stachel: Je höher der Status eines Berufes ist, desto geringer liegt gewöhnlich der Frauenanteil. In Ländern beispielsweise, in denen Physiker und Universitätsprofessoren weniger angesehen sind, liegt der Anteil von Männern und Frauen in diesem Berufsfeld nahezu gleich hoch. Der Konkurrenzdruck, der mit steigendem Status zwangsläufig zunimmt, scheint dabei ein ausschlaggebender Faktor zu sein. Aus eigener Erfahrung weiß ich, dass das Wissenschaftssystem sehr viel Durchsetzungskraft erfordert. Viele Frauen schrecken hiervor zurück, auch wenn sie inhärent ebenso starke Persönlichkeiten sind wie Männer. Wir müssen ihnen besser vermitteln, dass sie über diese Stärke verfügen. Darüber hinaus müssen wir sie ermutigen, sich von den klassischen Rollenbildern zu befreien, denn mit harten Bandagen zu kämpfen und sich durchzusetzen, gehört nun einmal nicht zum typisch weiblichen Repertoire. Frauen sollen nett und gefällig sein – mit diesem Verhalten kommt man aber in unserem System nicht weit. Auch müssen wir sie von der Verantwortung entlasten, sowohl dem Bild einer perfekten Wissenschaftlerin als auch einer perfekten Mutter zu entsprechen. In unserer Gesellschaft fehlt es zum Beispiel immer noch an Akzeptanz für Mütter, die früh wieder in ihren Beruf einsteigen wollen.

Prof. Bartram: Wir sollten uns ein Beispiel an Ländern wie Frankreich nehmen. Da gilt eine Frau, die ihr Kind mit drei Monaten in eine Kindertagesstätte gibt, nicht gleich als Rabenmutter.

Rabenmutter – ein Begriff, den es im Übrigen so nur im Deutschen gibt ...

Prof. Stachel: Das allein zeigt, wie hoch hierzulande der Druck ist, der auf Frauen lastet.

Das Thema „Licht & Schatten in der Wissenschaft“ berührt auch das Spannungsfeld „Freiheit & Verantwortung“. Ist in der Forschung alles erlaubt, was machbar ist?

Prof. Bartram: In meinem Fach, der Humangenetik, geht es immer wieder auch um die ganz zentrale Frage von Leben und Tod, Anfang und Ende – etwa wenn wir über Präimplantationsdiagnostik oder Schwangerschaftsabbrüche diskutieren. Derartige Fragen werden nie abschließend beantwortet sein, sondern müssen von jeder Generation neu reflektiert werden. In Deutschland stecken wir der Forschung dabei relativ enge Grenzen – ein Erbe des Dritten Reichs, in dem die Medizin kläglich versagt hat. Auch wenn mich das in meiner Arbeit als Humangenetiker einschränkt, muss ich diese Haltung akzeptieren.

DEAR READERS OF RUPERTO CAROLA,

2015 is the International Year of Light, and so we dedicate the December issue of our research journal to the theme of SHADOW & LIGHT. As the origin of all life, a source of knowledge and a driving force of technology and innovation, light plays a central role in our existence, and hence also in science. But where there is light, there is darkness: The truth of this old adage is demonstrated by our discussion of the bright and dark sides of the German scientific system, and by the articles of our authors on hostile ecosystems that lie in eternal darkness or on the harmful effects of sunlight.

In other accounts, Heidelberg researchers describe how light can be used to gain new insights into the mysteries of human thought and feeling, which role the metaphors of light and dark played in epochal changes in our history, and which measures promise to improve the integration of immigrants – taking them out of society’s shadow. Additional authors from the fields of biophysics, astronomy, religious and art history and ophthalmology also demonstrate the great diversity of research, thought and teaching on the subject of light at Heidelberg University.

I wish you an exciting and stimulating reading experience and ‘enlightening’ insights into the research activities at our University.

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

„Wir leben in einem System, dessen Freiheit wir alle sehr schätzen. Unsere Pflicht ist es, dieses System zu verteidigen.“

Johanna Stachel

Prof. Stachel: Die Frage nach der Verantwortung in der Wissenschaft ist hochkomplex. Sehr passend hierzu und fast schon visionär ist folgendes Gedicht von Gottfried Keller, das dieser Ende des 19. Jahrhunderts als Reaktion auf die Erfindung des Dynamits durch Alfred Nobel geschrieben hat:

„Seit ihr die Berge versetzt
mit archimedischen Kräften,
Fürcht ich, den Hebel entführt
euch ein dämonisch Geschlecht!
Gleich dem bösen Gewissen
geht um die verwünschte Patrone
Jegliches Bübchen verbirgt
schielend den Greuel im Sack.
Wahrlich, die Weltvernichtung,
sie nahet mit länglichen Schritten,
Und aus dem Nichts wird nichts:
herrlich erfüllt sich das Wort!“

Später hat es natürlich noch viel brisantere Entdeckungen gegeben, wie beispielsweise die Kernspaltung. Praktisch alle Wissenschaftler übrigens, die damals aufgefordert wurden, am Manhattan-Projekt, also dem Bau der Atom-bombe, mitzuwirken, sind diesem Ruf gefolgt. Ich kenne etliche von ihnen persönlich, und fast alle sind sie der Überzeugung, im Sinne ihres Landes richtig und verantwortungsvoll gehandelt zu haben.

Nach meinem Verständnis darf die Antwort nie lauten, etwas nicht erforschen zu dürfen – unabhängig von der Frage, für welche Zwecke die wissenschaftlichen Ergebnisse später möglicherweise eingesetzt werden. Das wäre eine absolut doppelte Moral. Wir leben in einem System, dessen Freiheit wir alle sehr schätzen. Unsere Pflicht ist es, dieses System zu verteidigen. Die Verantwortung des einzelnen Wissenschaftlers besteht darin, die Folgen der eigenen Forschung abzusehen und auf ihre Dimensionen beziehungsweise einen möglichen Missbrauch aufmerksam zu machen. Die Entscheidung aber, was Recht und was Unrecht ist, muss von anderen getroffen werden. Hierzu bedarf es eines umfassenden politischen, gesellschaftlichen, sozialen, wirtschaftlichen und ethischen Diskurses – durchaus unter aktiver Beteiligung der Wissenschaftler.

Demnach gibt es aus Ihrer Sicht keine unmoralische Forschung?

Prof. Stachel: Zumindest nicht auf dem Gebiet der Physik. Herr Bartram, wie sehen Sie das?

Prof. Bartram: Viele medizinische Forschungsfragen bedürfen einer gründlichen ethischen Bewertung. Dieser Verantwortung dürfen wir uns nicht entziehen. Hier in Heidelberg haben wir dies etwa in dem interdisziplinären Projekt EURAT getan, um rechtliche und ethische



PROF. DR. CLAUS BARTRAM studierte in den Jahren 1972 bis 1978 Medizin und Philosophie an der Universität Hamburg. Im Anschluss an seine Promotion im Fach Humangenetik absolvierte er seine Facharztausbildung an den Universitäts-Kinderkliniken Düsseldorf und Ulm und ging als Stipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft für zwei Jahre an das Department of Cell Biology and Genetics der Erasmus-Universität Rotterdam. Sein weiterer Weg führte den Mediziner im Jahr 1985 an die Universitätsklinik Ulm, an der er die Sektion Klinische Molekularbiologie aufbaute. Im Jahr 1995 übernahm er am Heidelberger Universitätsklinikum die Leitung des Instituts für Humangenetik. Von 2004 bis 2014 leitete er als Dekan die Medizinische Fakultät Heidelberg. Claus Bartram hatte und hat zahlreiche Funktionen in wissenschaftlichen Gesellschaften und Gremien inne, unter anderem ist er Obmann der Sektion „Humangenetik und Molekulare Medizin“ der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina und war Vorsitzender des wissenschaftlichen Ausschusses der Deutschen Krebshilfe sowie Mitglied des Fachkollegiums „Medizin“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Zahlreiche Auszeichnungen wie der Deutsche Krebshilfe Preis und der Wilhelm-Warner-Preis belegen seine wissenschaftlichen Erfolge.

Kontakt: cr.bartram@med.uni-heidelberg.de

FREEDOM THROUGH TRUTH

THE CONCEPT OF A UNIVERSITY

INTERVIEW WITH JOHANNA STACHEL & CLAUD BARTRAM

‘Where there is much light, the shadow is deep.’ With equal portions of truth and simplicity, this quote from Goethe’s drama ‘Götz von Berlichingen’ also holds insights for our system of higher learning. Physicist Johanna Stachel and human geneticist Claus Bartram met to discuss the German university system in all of its brilliance – and its darker aspects. In the process, they touched on central issues of idealism and reality, trust and disappointment, autonomy and responsibility.

Both scholars emphasised the significance of autonomous research, one major strength of our university system as a space that fosters open, interdisciplinary exchange, as well as the individual responsibility that comes with this freedom. On the other hand, professors Stachel and Bartram examined some less luminous aspects that result from increasing pressure to perform and compete in the academic world. New, exploratory research is incredibly difficult to implement, according to Bartram, due to increasing expectations that rule out any chance of failure. True progress, he noted, has always come from the periphery – from research that is not set on producing certain findings from the very start. Stachel also called for larger investments in basic research and the adoption of alternate criteria, beyond quantitative aspects such as the number of publications, to evaluate scientific quality.

As a politically independent system, the German universities occupy an important role as an ‘engine’ of society. Appreciating and safeguarding the freedom that comes with our system is an immensely important task – of that, the two scholars had no doubt. ●

PROF. DR JOHANNA STACHEL studied physics and chemistry at Johannes Gutenberg-Universität Mainz as well as at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) in Zurich. On completing her doctorate at the University of Mainz in 1982, she received a Feodor Lynen Fellowship from the Alexander von Humboldt Foundation to travel to the State University of New York (SUNY) at Stony Brook, where she became Assistant Professor in 1985, Associate Professor in 1989 and Full Professor of Physics in 1994. Specialised in particle physics, Professor Stachel has been teaching at Heidelberg University since 1996. She is vice president of the Deutsche Physikalische Gesellschaft (German Physics Association, DPG), where she served as the DPG's first female president from 2012 to 2014. In recognition of her pioneering research, especially in the area of high-energy nuclear physics, she was awarded the Federal Cross of Merit (Bundesverdienstkreuz) in 1999 and the Lautenschläger Research Prize in 2001.

Contact: stachel@
physi.uni-heidelberg.de

PROF. DR CLAUDIUS BARTRAM studied medicine and philosophy at the University of Hamburg from 1972 to 1978. After obtaining his doctorate in human genetics, he completed his residency at the paediatric clinics of the university hospitals in Düsseldorf and Ulm, and spent two years at the Department of Cell Biology and Genetics at Erasmus University Rotterdam as a German Research Foundation (DFG) Fellow. His further career path led him to Ulm University Medical Center in 1985, where he established the Department of Clinical Molecular Biology. In 1995 he became director of the Institute of Human Genetics at Heidelberg University Hospital. From 2004 to 2014, he served as dean of the Medical Faculty Heidelberg. Claus Bartram has held numerous positions in scientific organisations and committees. Prestigious Awards such as the German Cancer Aid Award and the Wilhelm Warner Award attest to his scientific accomplishments.

Contact: cr.bartram@
med.uni-heidelberg.de

“Science cannot truly exist without a leap of faith.”

Claus Bartram

“We live in a system that we all value for its freedom. It is our obligation to defend it.”

Johanna Stachel

Maßstäbe für den klinischen Einsatz der Genomsequenzierung zu erarbeiten. Über drei Jahre lang haben wir uns aus der Sicht unserer unterschiedlichen Disziplinen – der Medizin, der Naturwissenschaft, der Bioinformatik, der Rechtswissenschaft, der Ethik und der Wirtschaftswissenschaft – intensiv hierzu ausgetauscht. Derartige Fragen im universitären Rahmen zu diskutieren, halte ich für sehr sinnvoll, denn Universitäten bieten Raum für einen offenen Austausch, der nicht politisch besetzt ist. Das Ergebnis unserer Diskussionen haben wir in einem Kodex formuliert, der neue Formen der Verantwortung im Umgang mit dem Wissen über Patienten und deren Familien begründet. Dieser Kodex ist von der Politik wahrgenommen und vielfach verbreitet worden. Indem Universitäten derartige Fragestellungen aufgreifen, übernehmen sie die wichtige Funktion eines gesellschaftlichen Motors. ●

Das Interview führten Marietta Fuhrmann-Koch & Ute von Figura

**„Universitäten bieten
Raum für einen
offenen Austausch,
der nicht
politisch besetzt ist.“**

Claus Bartram

AUS DEM

DUNKEL

INS

LICHT

AUS DEM DUNKEL INS LICHT

EPOCHALE UM- BRÜCHE IN CHINA UND EUROPA

BARBARA MITTLER & THOMAS MAISSEN

Dieser Beitrag geht hervor aus einer ausführlichen Diskussion um Epochenbegriffe wie „Renaissance“, „Aufklärung“ und „Moderne“. Zur Genese dieser Zeitvorstellungen und zu ihrer effektvollen Inszenierung gehört – in Europa ebenso wie in China – die Metaphorik von Hell und Dunkel. Doch selbst dann, wenn sich die Protagonisten hier und dort offensichtlich beabsichtigt verwandter Terminologien und Bilder bedienen, so meinten sie damit doch immer wieder Unterschiedliches.



“It has been convincingly demonstrated that the division of Western history into three eras – antiquity, Middle Ages, and modernity – dates from the early Renaissance. More interesting than this periodization per se are the value judgements passed on each of these three eras, expressed by the metaphors of light and darkness, day and night, wakefulness and sleep. Classical antiquity came to be associated with resplendent light, the Middle Ages became the nocturnal and oblivious ‘Dark Ages’, while modernity was conceived of as a time of emergence from darkness, a time of awakening and ‘renascence’, heralding a luminous future.”

Matei Calinescu, ‘Five Faces of Modernity’, 1977

Ex oriente lux – okzidentale Zuweisungen von Hell und Dunkel

Schon die heidnische Antike nutzte das Licht als Metapher für die menschliche Erkenntnis der Wahrheit, so in Platos berühmtem Höhlengleichnis. Die christliche Weltdeutung rückte den Gegensatz Hell-Dunkel in eine heilsgeschichtliche Langzeitdimension. Am Ende der Bibel beschreibt die Apokalypse des Johannes (Kapitel 20/21) das Jüngste Gericht. Es überwindet die diesseitige Welt in einem neuen Jerusalem und im herrlichen Licht Gottes, das keine Nacht mehr kennt. Diese Endzeiterwartung prägte lange Zeit abendländisches Denken: Im Orient ging nicht nur die Sonne auf, sondern dort war die Heilsbotschaft entsprungen. Die Zeiten bis zur Geburt Christi, der sich als „Licht der Welt“ (Johannes 8, 12) vorgestellt hatte, galten als eine Welt heidnischer Finsternis. Christi Opfertod verhieß dagegen das ewige Leben: Der Übergang von der finsternen Nacht zum lichten Tag rückte näher (Römerbrief 13, 12), doch die endgültige Erlösung von den Mühsalen dieser Welt lag in einer – nahen oder fernen – Zukunft.

Humanistische Wiedererweckung einer kulturellen Blütezeit

Die italienischen Humanisten entwickelten eine andere Zeitdeutung – nicht gegen die christlichen Heilsvorstellungen, die für die weiterhin frommen Christen gültig blieben als Prophezeiung für das Jenseits, aber gleichsam komplementär zu diesen für die Bewältigung des Diesseits. Francesco Petrarca (1304-1374) brachte dies als Erster zum Ausdruck. Für ihn bedeutete die Christianisierung seit Kaiser Konstantin (313 nach Christus) nicht mehr in erster Linie den Anfang eines heilsgeschichtlichen Aufstiegs, sondern zugleich den Verlust der hochstehenden Kultur in der „aetas antiqua“, die wir folgerichtig als Antike bezeichnen. Petrarca beklagte die kulturelle Dekadenz in der stillen „aetas nova“, der Neuzeit, in der er selbst weiterhin lebte. Er äußerte aber die Hoffnung, dass bessere Zeiten bevorstanden und der tiefe Schlaf kulturellen Vergessens nicht ewig anhalten werde: „Vielleicht wird sich das Dunkel zerstreuen, und unsere Enkel werden dereinst zum reinen Licht von einst zurückkehren.“ Petrarca lebte also nach eigener Einschätzung noch in einer finsternen Zeit, aber das reine Licht hatte es nicht nur früher in der heidnischen Antike gegeben, sondern es würde möglicherweise in absehbarer Zeit zurückkehren – nicht als Erlösung durch das Jüngste Gericht, worüber er nicht spekulierte, sondern als Frucht einer Bildungsbewegung.

Schon eine Generation später sahen seine Schüler diesen Wandel durch Petrarcas Leistung vollbracht. Giovanni Boccaccio lobte ihn um 1350 ebenso wie den Maler Giotto: Dieser habe jene Kunst wieder ans Licht gebracht, die viele Jahrhunderte lang begraben gewesen war. Damit war der Grundstein gelegt nicht mehr nur für die petrarkeske Zweiteilung des Geschichtslaufs (vor/nach Konstantin), sondern



PROF. DR. THOMAS MAISSEN wurde nach Studien in Basel, Rom, Neapel und Paris im Jahr 1994 promoviert. Seine Habilitation erfolgte 2002 in Zürich mit der preisgekrönten Arbeit „Die Geburt der Republik. Staatsverständnis und Repräsentation in der frühneuzeitlichen Eidgenossenschaft“. Nach einer Assistenzprofessur in Luzern wurde er 2004 ordentlicher Professor für Neuere Geschichte an der Universität Heidelberg. Seit 2006 ist er Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und war Fellow der EHESS Paris (2009), am IAS Princeton (2010), am Basler Forschungskolleg „Legitimität und Religion“ (2009–2011) und am Marsilius-Kolleg Heidelberg (2012/13). Thomas Maissen wirkte in den Leitungsgremien des Heidelberger Exzellenzclusters „Asia and Europe“ und zuletzt als dessen Co-Direktor. Seit 2013 ist er beurlaubt und leitet das Deutsche Historische Institut in Paris.

Kontakt: thomas.maissen@zegk.uni-heidelberg.de

„Wir sind lange genug in Finsternis verfaulet und verdorben.“

Martin Luther

für eine Dreiteilung in Antike und Neuzeit und dazwischen das, was Historiker wie Flavio Biondo abwertend als „media tempestas“ stigmatisierten: das Mittelalter, das die kulturellen Schätze der Alten in einem finsternen Grab verbarg. Wie Boccaccio sah der Florentiner Kanzler Leonardo Bruni 1436 in Petrarca den Angelpunkt: Er „war der Erste, der einen Geist von soviel Anmut hatte, dass er die alte Schönheit des verloren gegangenen und erloschenen Stils erkannte und wieder ans Licht rief“. Der Neuplatoniker Marsilio Ficino weitete 1492 dieses Urteil auf alle Kulturleistungen seiner Heimatstadt aus: „Dieses Jahrhundert hat nämlich als ein goldenes Jahrhundert die fast schon erloschenen freien Künste, die Grammatik, die Poesie, die Rhetorik, die Malerei, die Bildhauerkunst, die Architektur, die Musik und den alten Sang der orphischen Leier wieder ans Licht gebracht, und das in Florenz. ... In Florenz hat man die Platonische Weisheit aus der Finsternis ins Licht zurückgerufen.“

Diese Vorstellung war im Kern zyklisch wie der Wechsel des Tageslichts, das auf die Nacht und den Vortag folgt. Wichtig ist, dass weder Ficino noch Bruni oder Boccaccio damit eine generelle Entwicklung der Menschheit meinten und schon gar nicht ihre Heilsgeschichte, sondern nur die römisch-italienische Kultur im weiten Sinn. In diesen Bereichen waren die alten Fähigkeiten und Techniken zu neuem Leben erweckt worden, was dann beim Kunsthistoriker Giorgio Vasari 1550 „rinascita“ hieß; die Wiedergeburt als zyklischer Übergang von Finsternis („tenebre“) zu Licht („lume“). Diese – erst später so benannte – „Renaissance“ wurde zusehends auch als ein Neuanfang verstanden und nicht mehr nur, zyklisch, als Rückkehr zu antiken Qualitäten. In der Mitte des 15. Jahrhunderts, bei Leon Battista Alberti und Benedetto Accolti, zeichnete sich schon der Anspruch ab, dass die Zeitgenossen Erneuerer seien, die das antike Vorbild überträfen.

Post tenebras lux – der reformatorische Anspruch

Vom bewundernden kulturellen Rückbezug der Humanisten auf die heidnische Antike unterschied sich das Zeitverständnis

der Reformatoren trotz interessanten Parallelen. Luther klagte 1524: „Wir sind lange genug in Finsternis verfaulet und verdorben.“ Die calvinistische Devise lautete „Post tenebras lux“ (nach Hiob 17, 12), nach der Dunkelheit das Licht. Mit Dunkelheit war durchaus das „Mittelalter“ gemeint als die Zeit, in der das römische Papsttum die lichten Anfänge der christlichen Urkirche durch weltliche Herrschsucht und moralischen Zerfall korrumpiert habe. Durch die Rückkehr zu den Wurzeln, namentlich zur Bibel in ihrer Reinheit, führten die Reformatoren in ihrer Selbsteinschätzung die Kirche wieder zurück zum ursprünglichen Licht der göttlichen – und eben nicht durch menschliche Zutaten verdorbenen – Botschaft und zur unbefleckten Urkirche. Das geschah aber nicht durch eine innerweltliche Bildungsbewegung, sondern durch die unbedingte, vertrauensvolle Unterordnung unter die gnädige göttliche Allmacht („sola fide, sola gratia“).

Der aufklärerische Prozess der Erleuchtung

Anders als in der christlichen und damit auch reformatorischen Tradition fand der Mensch für die Aufklärer das Licht der Wahrheit nicht mehr in der göttlichen Erleuchtung, sondern in seiner eigenen Vernunft. So hielt John Locke 1689 fest: „Light, true light, in the mind is, or can be nothing else but the evidence of the truth of any proposition.“ In allen westeuropäischen Sprachen wurde um die Mitte des 18. Jahrhunderts die Lichtmetaphorik aufgegriffen, um den neuen Zeitgeist zu erfassen. Fontenelle etwa schrieb 1732: „Il s'est répandu depuis un temps un esprit philosophique presque tout nouveau, une lumière qui n'avait guère éclairé nos ancêtres.“ („In letzter Zeit hat sich ein fast ganz neuartiger philosophischer Geist ausgebreitet, eine Erleuchtung, wie sie unsere Vorfahren kaum je erhellt hatte.“)

Noch deutlicher als die Lichtmetaphorik der „Lumières“, die einen neuartigen philosophischen Geist sich ausbreiten ließ, bringt das deutsche Pendant „Aufklärung“ zum Ausdruck, dass es sich hierbei um einen Prozess handelte. Das wahre Licht lag in der Zukunft, aber das Mittel, um



PROF. DR. BARBARA MITTLER studierte in Oxford, Taipeh und Heidelberg Sinologie und Musikwissenschaft. 1994 erfolgte die Promotion, vier Jahre später die Habilitation. 2004 wurde sie auf den Heidelberger Lehrstuhl für Moderne Sinologie berufen. Von 2007 bis 2012 war sie Sprecherin einer der vier Forschungsbereiche des Exzellenzclusters „Asia and Europe in a Global Context“, heute Heidelberger Centrum für Transkulturelle Studien, zu dessen Co-Direktorin sie 2012 ernannt wurde. 2000 wurde sie für ihre Arbeiten mit dem Heinz-Maier-Leibnitz-Preis ausgezeichnet, 2009 mit dem Henry Allen Moe Prize in the Humanities, 2012 mit dem Fairbank Prize. Seit 2008 ist sie Mitglied der Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften, seit 2013 der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Als Fellow und Gastprofessorin war sie an der Academia Sinica in Taiwan, am Harvard-Yenching Institute und am Humanities Center der Stanford University tätig.

Kontakt: barbara.mittler@
zo.uni-heidelberg.de

dorthin zu gelangen – die Vernunft –, stand bereits gegenwärtig zur Verfügung. Dokument und Werkzeug dieses Prozesses war die Veröffentlichung und kritische Diskussion des aktuellen Wissensstands. Das berühmteste Beispiel dafür war die „Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers“, die Denis Diderot und Jean-Baptiste le Rond d’Alembert von 1751 bis 1780 in 35 Bänden herausgaben. Charles-Nicolas Cochin entwarf das Frontispiz der „Encyclopédie“: Die Wahrheit tritt oben einher, mit dem Strahlenkranz hinter dem Kopf, dahinter die Vernunft, die den Schleier von der Wahrheit wegzureißen versucht. Nach unten folgen die Wissenschaften, Künste und Handwerke. Im Unterschied zu den anderen Allegorien kehrt die Theologie, mit der Bibel in der Linken, der Wahrheit den Rücken zu und erwartet mit tastender Hand das erhellende Licht der Vernunft von oben (siehe Abbildung auf Seite 16).

Diderots Vision war ein innerweltlicher Fortschritt auf der Grundlage des gesammelten vorhandenen Wissens, „damit unsere Enkel nicht nur gebildeter, sondern gleichzeitig auch tugendhafter und glücklicher werden“. Das künftige Licht blieb das Ziel. Doch es leuchtete nicht länger aus dem Jenseits denen, die auf die unverdiente göttliche Gnade hofften, sondern im Diesseits als Lohn für die Emanzipation und Selbsterlösung der Menschheit aus den finsternen Verliesen der Ignoranz.

„Der Osten ist rot“ – Gedanken zu Licht und Dunkel in China

Die Protagonisten der sogenannten Neue-Kultur-Bewegung 新文化運動 *xin wenhua yundong* im China der 1910er- und 1920er-Jahre bezeichneten diese als die chinesische „Renaissance“ (hier wird im Chinesischen der französische Begriff im Original benutzt) oder auch als eine chinesische „Aufklärung“ 啟蒙 *qimeng*. Auf dem Höhepunkt dieser Bewegung verfasste Guo Moruo 郭沫若 (1892–1972), der sich selbst zum Dichterhelden und chinesischen Goethe stilisierte und später von Mao Zedong 毛泽东 zum „Staatschreiber der Revolution“ auserkoren werden sollte, eine Sammlung dramatischer Gedichte mit dem Titel „Göttinnen“ 女神 *nüshen* (1916–1921). In einem dieser Gedichte, „Wiedergeburt der Göttinnen“ 女神之再生 *Nüshen zhi zaisheng*, geht es um den Kampf zwischen zwei legendären Herrschern, deren Kriege die Welt so furchtbar in Mitleidenschaft ziehen, dass sogar die Sonne sich voll Abscheu und Schrecken zurückzieht. Drei Göttinnen, jene, die einst die Sonne geschaffen hatten, beschließen, von ihrem festen Platz am Firmament herabzukommen, um die traurig dunkel gewordene Welt zu retten, indem sie eine neue Sonne schaffen. Der Kampf zwischen den beiden Hege- monen wütet aber heftig weiter und findet sein Ende erst, als der Verlierer, in einem Akt unermesslicher Wut, seinen Kopf gegen den Buzhou-Berg 不周山 *Buzhoushan* rammt: eine der vier Säulen des Himmels. Die Säule bricht, der

Himmel kracht auf die Erde. Es folgen Donner und Blitz, dann Dunkelheit und Stille. Das dramatische Gedicht ist zu Ende – nur in der Ferne, weit weg, hört man die Stimmen der drei wiedergeborenen Göttinnen, die ein Lied zur Begrüßung der Sonne singen.

Den Zeitgenossen war die Situation klar: Alle hofften sie in diesen Jahren nach dem Zusammenbruch des Kaiserreiches und dem Auseinanderfallen der eben erst –

Austauschprozesse zwischen Asien und Europa

Der Exzellenzcluster „Asien und Europa im globalen Kontext“ ist ein interdisziplinärer Forscherverbund an der Universität Heidelberg. Etwa 200 Wissenschaftler analysieren Austauschprozesse zwischen Kulturen, die von Migration und Handel bis hin zu Leitbegriffen der Sprachen und Strukturen des Staates reichen. Eine zentrale Frage ist, in welchen Dynamiken sich kulturübergreifende Prozesse sowohl zwischen als auch innerhalb von Asien und Europa entwickeln. Damit untersuchen die Forscher ein Spannungsfeld von historischer Tiefe, das zugleich von aktueller Bedeutung für die globalen Wandlungsprozesse unserer Zeit ist.

Die rund achtzig Forschungsprojekte des Exzellenzclusters sind in den folgenden vier Forschungsbereichen organisiert: „Regierungskunst & Verwaltung“, „Öffentlichkeit & Medien“, „Wissenssysteme“ und „Geschichte & Kulturerbe“. Überdies wurden fünf Lehrstühle eingerichtet, darunter die bundesweit erste Professur für globale Kunstgeschichte, zwei Start-up-Professuren sowie mehrere Nachwuchsforschergruppen. Zur Ausbildung und Förderung von jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern bietet der Cluster den englischsprachigen Masterstudiengang „Transcultural Studies“ sowie das Graduiertenprogramm für Transkulturelle Studien an. Insgesamt promovieren am Cluster mehr als 100 Nachwuchswissenschaftler.

Der Cluster wurde 2007 im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder gegründet und war 2012 erneut in der Exzellenzinitiative erfolgreich. Mittelfristig wird der Forscherverbund im Heidelberger Centrum für Transkulturelle Studien (HCTS) aufgehen, das im April 2014 eröffnet wurde. Institutioneller Sitz ist das Karl Jaspers Zentrum in Heidelberg, mit einer Außenstelle in Neu-Delhi, Indien. Zu den internationalen Partnern gehören die Chicago University, Oslo University, Universität Zürich, Jawaharlal Nehru University und Kyoto University.

www.asia-europe.uni-heidelberg.de

1912 - geschaffenen Republik China, dass die erbitterten Kämpfe zwischen den vielen selbsterkorenen Kriegsherren endlich ein Ende nehmen würden und eine neue Zeit dem undurchdringlichen Chaos aus Kriegswirren, wirtschaftlicher Korruption und politischer Stagnation folgen würde. China musste aus dem Dunkel im neuen Licht erstehen, indem es sich befreite aus den Klammern der eigenen jahrtausendealten Traditionen - wiedergeboren (wie die Göttinnen) in der „Neuen Kultur“: einer demokratischen, emanzipatorischen Kultur des Volkes, für die die Bewegung stand.

In einem Akt, der typisch ist für den gegenwartsbezogenen Gestus der Neue-Kultur-Bewegung, endet Guos dramatisch-mythologisches Gedicht denn auch in der „Wirklichkeit“, die keine Göttinnen kennt. Ein Bühnenmanager tritt auf, der das Publikum anspricht und zum Handeln auffordert: „Sehr verehrte Damen und Herren, ich nehme an, Sie sind des Lebens in einer dunklen, wirren Welt schon lange müde, und es dürstet Sie nach strahlendem Licht.“ Er weist darauf hin, dass der Dichter bereits losgezogen sei, auf der Suche nach der Sonne, und bittet nun auch das Publikum um Mithilfe: „Meine Damen und Herren, wenn Sie sich also eine Wiedergeburt der Sonne wünschen, so tun Sie ihm nach ... Wir alle warten auf ein Wiedersehen, dann, wenn die Sonne, wieder aufgeht.“ Das dramatische Gedicht ist in seiner Rhetorik typisch für die Art der Selbstinszenierung, die die Protagonisten der Neue-Kultur-Bewegung für sich gewählt hatten: Der Intellektuelle, der Dichter geht voran, als Vorbild und Retterfigur, er zeigt den Menschen den Weg zum Licht, er erleuchtet sie, die ahnungslos im Dunkel herumtappen.

Erleuchtung des Geistes im Hier und Jetzt

Eine andere zentrale Figur der Bewegung, Hu Shi 胡適 (1891-1962), beschreibt zwei Jahrzehnte später in seinem englischsprachigen Buch „The Chinese Renaissance“ (1933) mit der gleichen Metaphorik von Licht und Dunkel die Aufgaben, die sich die Neue-Kultur-Bewegung gestellt hatte: „Lessening the force of conservatism, by undermining dogmatism, by discrediting ill-founded credulity, by illuminating what once was only unfathomable darkness and mystery.“ Worum es der Neue-Kultur-Bewegung also ging, war die Erlösung Chinas im Hier und Jetzt aus den Fesseln der dogmatisch rückwärtsgewandten, auf ein goldenes Zeitalter in der Vergangenheit zurückschauenden konfuzianischen Tradition einerseits und des populären Aberglaubens andererseits. Dieser erhellende Akt wird bei Hu Shi und seinen Mitstreitern mit einem Rücklehnwort aus dem Japanischen belegt: 啟蒙 *qimeng* - aufklären.

Das chinesische Schriftzeichen 蒙 *meng*, das schon im „Buch der Wandlungen“ 易經 *Yijing* auftaucht, steht für „verdecken, verheimlichen, verdunkeln“ und damit also auch für den verdunkelten Geist, für Unwissenheit und

**„Der Intellektuelle,
der Dichter geht voran,
als Vorbild und
Retterfigur, er zeigt
den Menschen
den Weg zum Licht, er
erleuchtet sie, die
ahnungslos im Dunkel
herumtappen.“**

„China musste aus dem Dunkel im neuen Licht erstehen, indem es sich befreite aus den Klammern der eigenen Jahrtausendalten Traditionen.“

Ignoranz. Schon der Neo-Konfuzianismus hatte seit etwa dem 12. Jahrhundert versucht, den verdunkelten Geist wieder zu erhellen (正蒙 *zhengmeng*), indem man ihn geraderückte (正 *zheng*), und die Wahrheit wieder ans Licht zu bringen. Das tat man, indem man 格物 *gewu* betrieb, also die Phänomene (物 *wu* – das heißt die Gesamtheit der Welt), erforschte 格 *ge* – ein Ansatz, den Hu Shi aufgrund seiner „Wissenschaftlichkeit“ sehr schätzte und als ein entscheidendes Vorbild für seine „Renaissance“ verstand.

Die Vertreter der Neue-Kultur-Bewegung gingen noch weiter: Sie wollten nicht nur geraderücken, sondern Neues „eröffnen“. So nannten sie ihren Erhellungs-Prozess 啟蒙 *qimeng*, also das Öffnen von „Bedecktem/Verheimlichtem/Verdunkeltem“, das Aufdecken, Enthüllen und Aufklären – ein Begriff, der in der Folge zu vielleicht dem wichtigsten Zauberwort für China im 20. Jahrhundert werden sollte und bis heute seine Wirkungsmacht nicht verloren hat. Die Neue-Kultur-Bewegung weist so den Chinesen den Weg, um sich nach dem Muster der europäischen Aufklärung aus den finsternen Verliesen der Ignoranz zu befreien, verbunden mit dem Glauben an den unbedingten Fortschritt durch Wissenschaft und Technik. Als dessen Hüter sieht sich auch heute noch die Kommunistische Partei, die es sich auf die Fahnen schreibt, den Kurs der Neue-Kultur-Bewegung fortzusetzen.

Damit ist in der chinesischen „Renaissance“ die „Aufklärung“ gleich mitgedacht und die Neue-Kultur-Bewegung denn auch als „chinesische Aufklärung“ bezeichnet worden. Hu Shi und die Neue-Kultur-Bewegung verstanden sie gleichzeitig bereits als den Anfang der Moderne. Alles, was in Europa damit zusammenhing – die wissenschaftliche Revolution, die Industrialisierung, die demokratischen Revolutionen und die sozialistischen Bewegungen –, ist in dieser Logik folgerichtig in einer linearen Progression aus der (chinesischen) Renaissance/Aufklärung zu erklären.

Licht nach der Dunkelheit: Chinas Renaissance

Wie aber kam es dazu, dass Hu Shi, in einer Parallele zu Petrarca, zum „Vater der chinesischen Renaissance“ stilisiert wurde? Was waren die Charakteristika seiner Renaissance? Etwa zeitgleich mit der Entstehung des oben zitierten dramatischen Gedichts von Guo Moruo, im Juni 1917 nämlich, befindet sich Hu Shi auf seiner Heimfahrt aus den USA, wo er acht Jahre lang, zuerst an der Cornell University und dann an der Columbia University in New York, bei John Dewey Philosophie studiert hatte. Auf der Fahrt liest er ein dünnes Bändchen mit dem Titel „The Renaissance“ von Edith Helen Sichel (1862-1914), das wie folgt beginnt: „Michael Angelo's great painting of the newly created Adam on the ceiling of the Sistine Chapel might be taken as a symbol of the Renaissance, of the time when man was, as it were, re-created more glorious than before, with a body naked and unashamed, and a strong arm, unimpaired

by fasting, outstretched towards life and light.“ Das Licht, dem Adam sich zuwendet, sei Zeichen des neuen Lebens, für das die Renaissance stehe. Es markiere eine „Wiedergeburt“, ein „revival of man's powers, a reawakening of the consciousness of himself and of the universe“.

Hu Shi nahm eben diese Idee eines wieder zum Leben erwachenden Menschen auf, der sich zum Licht streckt, einer totalen Erneuerung entgegen. China brauchte eine lichtbringende Wiedergeburt wie die europäische Renaissance, mit der er die folgenden Gemeinsamkeiten fand:

- 1) eine neue Kultur, die auf der Schaffung einer neuen Literatur in einer neuen Sprache basierte: der Volkssprache, der Sprache von „lebenden Menschen“, nicht von „toten Weisen“ der Vergangenheit;
- 2) eine Kultur, die demokratisierend wirkte, indem sie das Individuum freimache von den Fesseln etablierter Institutionen und Traditionen;
- 3) einen „humanistischen“, also (wissenschaftlich) forschenden Geist.

Diese Ideen sollten – in den Händen der Neue-Kultur-Bewegung – wegweisend werden für das, was sich in China mit Gründung der Volksrepublik China entwickelte. Die Antwort auf des Bühnenmanagers letzte Worte bei Guo Moruo: „Wir alle warten auf ein Wiedersehen, wenn die Sonne wieder aufgeht“ ist deswegen wohl das Revolutionslied „Der Osten ist rot, die Sonne geht auf, China hat einen Mao Zedong hervorgebracht“. Dieses Lied, das in den 1940er-Jahren auf Basis eines chinesischen Volksliedes zum ersten Mal gesungen wurde, avancierte in den Jahren der „Großen Proletarischen Kulturrevolution“ (1966-1976) zur Nationalhymne. Der erste chinesische Satellit (China 1) spielte es 1970 in den Weltraum. Seit Maos hundertstem Geburtstag im Jahr 1993 wurde es in Form von sogenannten „Rote-Sonne-Hits“ in immer wieder neuen Covers verpoppt und ist bis heute ein Kassenschlager geblieben: Mao und die kommunistische Partei, sie sind die Retter, auf die das Land gewartet hatte, sie sind „wie die Sonne“, so die dritte Strophe des Liedes, und „wo immer sie hinscheint, da wird es hell“.

Epochales zwischen Orient und Okzident

Die Protagonisten der Neue-Kultur-Bewegung und ihre Nachfolger in der Kommunistischen Partei Chinas haben ihr Selbst-Bewusstsein, ähnlich wie die europäischen Humanisten und Aufklärer, als Neubegründer einer Epoche inszeniert. Die Neue-Kultur-Bewegung setzte sich als das Ende von „unfathomable darkness and mystery“ (Hu Shi) in Szene, sie wollte „aufklären“ und verhiß so einen Bruch mit allem, was in ihren Augen *meng* war, also „verdeckt“ und „verdüstert“. Stattdessen wollte sie geistige (und körper-

OUT OF THE DARKNESS INTO THE LIGHT

EPOCHAL CHANGES IN CHINA AND EUROPE

BARBARA MITTLER & THOMAS MAISSEN

Intellectual and political groups – in Europa as in China – have used the imagery of light and dark in the making of historical periodisations. But even though protagonists here and there intentionally used related terminologies and images, they frequently meant different things.

For the Italian Renaissance, the ‘dark’ Middle Ages were a constitutive element, because they had obscured the idealised point of cultural reference that lay in the distant past of antiquity. Like the Renaissance, the Reformation also wanted to return to overshadowed origins – the former through worldly education, the latter through revelation in Scripture alone. Authors of the 18th century, on the other hand, promised Enlightenment as a form of secular redemption in a better future that was achievable through a long process of critical reasoning.

When Chinese authors in the early 20th century took up notions of overcoming darkness in their claim to change politics, society and mentality, they were inspired in their condemnation of the structures of their so-called ‘feudal’ past by their unique understanding of European history. In their efforts to progress towards an ever brighter future they preached the need for their particular version of ‘Renaissance’ which was simultaneously conceived in terms of ‘Enlightenment’.

The essay shows how the imagery of light and dark enabled historical actors to present themselves as intellectual torchbearers in a fight against antagonists who, in fact, were their own contemporaries, but whose thoughts they would style to represent those of an outlived past. One crucial difference between these protagonists was that for some of them the ideal state of affairs lay in an even more remote past (as for humanists and Protestant reformers) whereas for others, they lay in a future that was being shaped by the ‘lumières’ or the new-style literati in China’s New Culture movement to ultimately achieve civilisational and national progress. ●

PROF. DR BARBARA MITTLER read Chinese studies and music in Oxford, Taipei and Heidelberg. She earned her PhD in 1994 and completed her habilitation four years later. In 2004 she accepted the Heidelberg Chair of Modern Chinese Studies. From 2007 to 2012 she was Speaker of one of the four research units of the Cluster of Excellence 'Asia and Europe in a Global Context'; the cluster gave rise to the Heidelberg Centre for Trans-cultural Studies, which has been co-directed by Mittler since 2012. In 2000, she received the Heinz Maier-Leibnitz Prize for her work, in 2009 the Henry Allen Moe Prize in the Humanities and in 2012 the Fairbank Prize. Barbara Mittler has been a member of the Leopoldina National Academy of Sciences and Humanities since 2008 and of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities since 2013. She was a fellow and guest professor at Academia Sinica in Taiwan, Harvard Yenching Institute and the Humanities Center of Stanford University.

Contact: barbara.mittler@zo.uni-heidelberg.de

PROF. DR THOMAS MAISSEN studied in Basel, Rome, Naples and Paris and obtained his PhD in 1994. He completed his habilitation in Zurich in 2002 with an award-winning thesis entitled 'Die Geburt der Republik. Staatsverständnis und Repräsentation in der frühneuzeitlichen Eidgenossenschaft' (The Birth of the Republic. Concepts of State and Representation in the Swiss Confederation in the Early Modern Period). After working as an assistant professor in Luzern, Maissen became a tenured professor of modern history at Heidelberg University. A member of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities since 2006, he was also a Fellow of EHESS Paris (2009), and held positions at the IAS Princeton (2010), the Basel research group 'Legitimität und Religion' (Legitimacy and Religion) (2009–2011) and the Marsilius Kolleg in Heidelberg (2012–2013). Thomas Maissen served on the executive committees of the 'Asia and Europe' cluster and went on to become one of the cluster's directors. He has been on leave of absence since 2013 and now heads the German Historical Institute in Paris.

Contact: thomas.maissen@zegk.uni-heidelberg.de

“The polemical expression ‘dark age’ refers to the epochal changes that both European and Chinese renaissance movements claimed to embody.”

liche) Erhellung bringen durch eine „neue“ Sprache, „neues“ Wissen, ein „neues“ Bewusstsein – geprägt durch die „neuen“ Tugenden von „Wissenschaft“ und „Demokratie“.

Eigentlich richtete sich diese Rhetorik aber nicht gegen die Vergangenheit, sondern gegen mächtige Zeitgenossen. Die Neue-Kultur-Bewegung sagte sich von der sogenannten „dunklen Feudalzeit“ los, die in dieser Polemik einerseits durch einen irrationalen Aberglauben bestimmt war sowie andererseits durch die repressiven Strukturen eines Konfuzianismus, den Guo Moruo, Hu Shi und Mitstreiter in der Kulturbürokratie des frührepublikanischen China fortleben sahen. Das humanistische Schlagwort vom „finsteren Mittelalter“ wandte sich seinerseits gegen die scholastischen Konkurrenten auf dem Bildungsmarkt; diese wurden von den Humanisten als überlebt, stillos und barbarisch dargestellt. Die Reformatoren brandmarkten die Anhänger der „alten“ Kirche ebenso als Gegner der Erleuchtung wie die Aufklärer die Obskuranten und Abergläubischen.

Das polemische Schlagwort von einem „dunklen Zeitalter“ verweist also auf die Zeitenwende, die Erneuerungsbe-
wegungen in Europa ebenso wie in China zu verkörpern beanspruchten. In der Gegenüberstellung Dunkelheit/Helligkeit, Finsternis/Licht, Nacht/Tag konnten sie überhaupt erst die Wendepunkte werden, als die sie sich präsentieren und verkaufen wollten. Zugleich täuschen die interessanten Parallelen bei diesen Selbstinszenierungen von Lichtbringern im Dunkel nicht darüber hinweg, dass diese Abgrenzungen von Epochen und der eigenen Rolle dabei in ganz unterschiedlichen historischen Kontexten und Verständnisrahmen zu verorten sind. Die Wahrnehmung von Hell und Dunkel im Tageslauf oder über die Jahreszeiten hinweg mag eine anthropologische Grunderfahrung sein; ihre metaphorische Verwendung dagegen erklärt sich immer nur als kulturell bedingter Versuch der Weltdeutung. ●

**„Das polemische Schlagwort von einem ‚dunklen Zeitalter‘ verweist auf die Zeitenwende, die europäische wie chinesische Erneuerungsbe-
wegungen zu verkörpern beanspruchten.“**

ENGEL

UND

DÄMONEN

ENGEL UND DÄMONEN

POLARE WELT- DEUTUNGSMUSTER IN DER RELIGION

GREGOR AHN

Seit Jahrtausenden gehören polare Deutungsmuster zu den kognitiven Grundstrukturen menschlichen Weltverstehens. Ob es um die Bewertung der Lebensumstände als gut oder schlecht, geordnet oder ungeordnet geht, um die Einteilung des Lebensrhythmus und der Alltagserfahrung in Tag und Nacht, hell und dunkel, Licht und Schatten oder um die Kategorisierung von anderen Menschen als Freunde oder Feinde, Zivilisierte oder Barbaren – in all diesen Fällen dienen Antagonismen als die entscheidenden Parameter für die jeweilige Welt- und Lebensorientierung.

S

Segen und Fluch, rechtschaffenes und frevelhaftes Tun, Gnade und Sünde, Gott und Teufel, Engel und Dämonen – Gegenüberstellungen wie diese sind charakteristisch für die christliche Religionsgeschichte und haben die europäisch-westliche Geistes- und Kulturhistorie nachhaltig geprägt. Andere Kulturen dagegen kennen teils völlig anders pointierte polare Muster: Im Alten Ägypten etwa standen sich das kosmische und gesellschaftliche Ordnungsprinzip *Maat* und die Unrecht und Gewalt verkörpernde *Isfet* gegenüber. Die *Maat*, die zugleich durch eine gleichnamige Göttin repräsentiert wurde, sah sich stetig der Bedrohung ausgesetzt, durch ihren Antipoden, die *Isfet*, gefährdet oder gar vernichtet zu werden. Entsprechend galt es als die vornehmste Pflicht des Pharaos, die Ordnungsstruktur der ihn umgebenden Welt zu bewahren – in der Terminologie der Alten Ägypter: die *Maat* zu „verwirklichen“. Dies tat er durch die Gewährleistung von Ritualhandlungen oder auch durch Rechtsprechung.

Maat und *Isfet* sind zwar aufeinander verwiesen, stellen aber zwei strikt polare Prinzipien religiös-mythologischer Welterklärung dar. In anderen Kulturen finden sich dagegen eher komplementär gedachte Dualitäten – zum Beispiel die aus dem chinesischen Taoismus stammenden, inzwischen aber auch in der westlichen Esoterik breit rezipierten Konzepte *Yin* und *Yang*. Dieses Begriffspaar wurde und wird einerseits mit Gegensätzen wie Licht und Schatten, hell und dunkel assoziiert, andererseits mit Korrelaten wie männlich und weiblich sowie mit stetigen Prozessen der Wandlung.

Strenger Gut-Böse-Dualismus

Eine strikt dualistische Gegenüberstellung von gutem Schöpfergott und bösem Gegengott respektive von guten göttlichen Wesen und bösen Dämonen ist – mehr als für die meisten anderen Religionen – für den Zoroastrismus signifikant. Diese altiranische Religion wird von ihren Anhängern auf den als Priester und Propheten verstandenen Zarathustra – oder in einer gräzisierten Namensform Zoroaster – zurückgeführt. Theologische Systematisierungen der Sasanidenperiode (3. bis 7. Jahrhundert nach Christus) verbinden einen radikal unversöhnlichen Gut-Böse-Dualismus mit einer Licht-Finsternis-Metaphorik sowie mit einem dreigliedrigen Zeitschema zur Beschreibung des Weltverlaufs: Danach habe die Entstehung zweier



PROF. DR. GREGOR AHN lehrt seit 1996 am Institut für Religionswissenschaft der Universität Heidelberg. Seine Forschungsschwerpunkte sind neben Theorien der Religionswissenschaft und der Ritualforschung die altiranische Religionsgeschichte, die neueste europäische Religionsgeschichte sowie die Monotheismus-Polytheismus-Forschung. Gregor Ahn studierte in Bonn und Kopenhagen Religionswissenschaft, Katholische Theologie, Philosophie und Iranistik. Im Jahr 2000 vertrat er an der Universität München den Romano-Guardini-Lehrstuhl und wurde mit dem Lehrpreis des Landes Baden-Württemberg ausgezeichnet.

Kontakt: gregor.ahn@zegk.uni-heidelberg.de

antagonistischer göttlicher Kontrahenten die Genese der bestehenden Welt zur Folge gehabt, in der Gut und Böse in einer Form der Vermischung auftreten und die Menschen als Protagonisten mit in die dualistische Auseinandersetzung einbezogen werden; erst nach einer dramatischen Zuspitzung am Ende der Zeiten werde die gute Lichtwelt den Sieg davontragen, die Katharsis erreicht werden und der böse Gegengott seine Macht über diese Welt verlieren.

Dieses hochgradig systematisierte Konzept, das den iranischen Dualismus in einen Weltablauf einordnet, der von der Schöpfung bis zur Eschatologie reicht, steht jedoch nicht am Anfang der altiranischen Religionsgeschichte. Vielmehr stellt es bereits eine Art Spätprodukt der Transformationsgeschichte des zoroastrischen Dualismus dar: Ihren Ausgang nimmt diese Entwicklung um die Wende zum 1. Jahrtausend vor Christus im Osten Irans bei einer religiösen Gemeinschaft, die ihre Umwelt als Gefährdung empfand. Diese Polarität von Gruppenverband und Außenwelt wurde in die Metapher zweier in jeglicher Hinsicht konträrer göttlicher Wesen gekleidet, die überhaupt erst die dualistische Spaltung der Welt initiiert hätten. In den Ritualtexten, die in die erste Hälfte des 1. Jahrtausends vor Christus datieren und im Jungavestischen verfasst sind – einer der ältesten, zunächst mündlich tradierten, dann durch Textcorpora bezeugten altiranischen Sprachformen –, wurden diese Vorstellungen aufgegriffen und modifiziert. Der Schöpfergott *Ahura Mazda* erscheint hier als Widersacher des bösen Geistes *Angra Mainyu*; das Schöpfergottkonzept wird damit unmittelbar in die dualistische Weltinterpretation einbezogen, der böse Geist *Angra Mainyu* erhält die Bedeutung eines dem Schöpfergott *Ahura Mazda* nahezu gleichwertigen Gegengottes.

Die für monotheistische Religionen so drängenden Fragen nach der Herkunft des Bösen und der Theodizee sind dem Zoroastrismus somit unbekannt; verantwortlich für alles Leid und Böse in der Welt ist nicht der gute Schöpfergott, sondern immer und ausschließlich der dualistische Gegengott. Neben diesem dualistischen Gotteskonzept entfalten die jungavestischen Texte eine weitläufige Dämonologie. Sie beschreiben eine Vielzahl von unterschiedlichen, im Auftrag des bösen Geistes agierender Gestalten, denen spezifische Funktionen im Kampf gegen die gute Seite zugeschrieben werden. Protagonist der Dämonen ist dabei eine Gestalt namens *Aeshma* („Wut“), die hierarchisch zwischen *Angra Mainyu* und den Dämonen angesiedelt ist. *Aeshma* erscheint als personifizierter Gegenspieler der guten Gottheiten, denen er mit einem blutigen Holz bewaffnet und begleitet von seiner dämonischen Entourage entgegentritt.

Rituelle Neutralisierung des Bösen

Im Vergleich zu altorientalischen Konzepten ist für die zoroastrische Dämonologie insgesamt kennzeichnend, dass die Dämonen in einen strikten Gut-Böse-Dualismus

„Antagonismen dienen seit jeher als entscheidende Parameter für die Welt- und Lebensorientierung.“

eingebunden sind und dass als einzig wirksame Bekämpfungsstrategie ihre rituelle Neutralisierung propagiert wird. Weder lassen sich Dämonen durch Opfer beschwichtigen, noch können sie (wie etwa der babylonische *Pazuzu* in Beschwörungsformeln) für gute Zwecke instrumentalisiert werden. Hilfe im Kampf gegen die Dämonen verspricht den Zoroastriern lediglich die richtige Ritualpraxis, die allerdings neben der Durchführung der überlieferten Zeremonien im engeren Sinn auch Verhaltensmuster des alltäglichen Lebens mit einschließt. Selbst die Anrufung der hilfreichen guten Götter ist in diesem Kontext ritualistisch geregelt.

Der in den zoroastrischen Ritualtexten empfohlene Umgang mit den Dämonen unterscheidet sich dabei erheblich von der religiösen Praxis im nachexilischen Israel, in dem alle Kulthandlungen auf die Verehrung des Gottes Israels bezogen sind. Doch selbst hier erfährt der zoroastrische Oberdämon *Aeshma* zumindest eine punktuelle Rezeption. Denn im jüdisch-hellenistischen Kontext des Tobit-Buches, einer erzieherischen Erzählung aus dem Alten Testament, erscheint *Aeshma Daeva* („Dämon der Wut“) in der gräzisierten Namensform *Asmodaios*. Bezeichnenderweise wird aber nicht der komplexe Kontext der zoroastrischen Ritualistik übernommen, die *Aeshma* als Gegenspieler der rechten Weltordnung inszeniert. *Asmodaios* – der Dämon aus der „anderen“, „fremden“ Nachbarkultur – wird vielmehr in einen jüdischen Wahrnehmungshorizont projiziert, innerhalb dessen er eine Folie bildet für die Präsentation der Machtfülle des eigenen Gottes beziehungsweise des ihn stellvertretenden Engels Raphael. Die in diesem Fall sehr selektive Adaption eines

persischen Dämonenbildes geht also mit einer massiven innerjüdischen Neukontextualisierung einher.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Dualität von Gut und Böse, Licht und Finsternis in der Religionsgeschichte ebenso vielfältig und bunt ausfällt wie auch alle anderen kulturgeschichtlichen Antagonismen. Für die religionshistorische Untersuchung von polaren Weltdeutungsmustern bedeutet dies, dass es weniger um vermeintlich allgemeine Grundkonstanten menschlichen Denkens gehen kann als vielmehr um die Herausarbeitung von spezifischen kulturellen Konstellationen und historisch fluiden Artikulationsformen. Diese reichen in einem weiten Spektrum von gegensätzlichen, aber aufeinander verwiesenen Komplexitätsstrukturen bis hin zueinander strikt ausschließenden Antagonismen.

Von Lichtgestalten und Schattenwesen

Ein gutes Beispiel für solch ein kulturspezifisches und zugleich sehr komplex angelegtes polares Weltdeutungsmuster ist die dualistische Gegenüberstellung von Engeln und Dämonen. Als Gegensatzpaar sind Engel und Dämonen erstmals im hellenistischen Judentum greifbar; die oben im Kontext des Zoroastrismus erwähnte Auseinandersetzung des Erzengels Raphael mit dem Dämon Asmodaios im Tobit-Buch spiegelt das zu dieser Zeit (circa 200 vor Christus) bereits allgemein etablierte Kontrastpaar wider. Bezeichnenderweise bleibt das Engel-Dämonen-Paradigma aber nicht in dieser Form bestehen. Vielmehr durchläuft es seit der christlichen Spätantike bis heute eine erhebliche Entwicklungs- und Fortschreibungsgeschichte, deren Dynamik unter anderem eine Einbindung in die christliche Ethik und die Gut-Böse-Differenzierung erzeugt und diese wiederum mit einer ausgeprägten Licht-Finsternis-Metaphorik verbindet. Dabei werden Stereotypen für die ikonographische Darstellung von Engeln (als geflügelte Lichtgestalten) und von Dämonen (als monströse Unterweltswesen) generiert und die große Zahl der himmlischen Heerscharen und teuflischen Mächte in komplexen Klassifikations- und Hierarchisierungssystemen erfasst.

Religionsgeschichtlich ist die Engel-Dämonen-Dualität somit vor allem für Vorstellungen aus dem Umfeld christlicher Theologie und darauf basierender Diskurse aussagekräftig. So beruht etwa die islamische „Angelologie“ – die Lehre von den Engeln – teils bis in die Namengebung hinein auf Entlehnungen aus jüdisch-christlichen Überlieferungen (zum Beispiel *Mika'il* = Michael, *Djibril* = Gabriel). Ähnlich wie in der Hebräischen Bibel werden Engel im Koran als Hofstaat des einen Gottes Allah und als dessen Boten und Offenbarungsvermittler gedacht. Eine wesentliche konzeptionelle Modifikation besteht allerdings in der Unterscheidung zweier einander polar gegenüberstehender Engelklassen: die „Allah nahestehenden Engel“ und die „Hüter des Feuers“ (Sure 4,172; 74,31).

„Die Dualität von Gut und Böse, Licht und Finsternis in der Religionsgeschichte fällt ebenso vielfältig und bunt aus wie auch alle anderen kulturgeschichtlichen Antagonismen.“

Eine weitreichende Umwertung des jüdisch-christlichen Engel-Dämonen-Paradigmas findet sich in spätantik-agnostischen Texten. Engel erscheinen hier als die Helfershelfer eines hybriden Schöpfergottes, denen die Aufgabe zufällt, die göttlichen Lichtfunken, die das eigentliche Selbst des Menschen bilden, an die Materie zu binden und dadurch daran zu hindern, ihrer wahren Bestimmung zu folgen – nämlich mit dem Göttlichen in einer transzendenten Lichtwelt eins zu werden. Der Demiurg und seine Gehilfen, die Engel, erhalten im Zuge dieser Umwertung ähnlich negative Züge, wie sie im Judentum den „gefallenen Engeln“, den Dämonen, zugesprochen werden. Das jüdisch-christliche Narrativ von Lucifer, dem „Lichtbringer“, der sich nach der späteren Tradition gegen Jahwe erhoben habe, aber mit seinen Heerscharen vom Erzengel Michael besiegt und verstoßen worden sei („Engelfall“) und seither als Satan oder Teufel die Menschen auf der Erde heimsuche, wird also von dieser gnostisch-weltverneinenden Mythologie aufgegriffen und polemisch gegen das vorherrschende Gottesbild und Weltverständnis gewendet.

Eingang in die Populärkultur

Das ansonsten dominante Paradigma der guten Engel und der bösen Dämonen zieht sich nicht nur bis in die Religionsgeschichte der Gegenwart, sondern hat – mit charakteristischen Modifikationen – auch Eingang in populärkulturelle Kontexte gefunden. TV-Serien wie „Charmed“,

„Buffy“ oder „Supernatural“ spielen mit dem Engel-Dämonen-Antagonismus, inszenieren dabei aber einzelne Figuren jenseits eines sich ausschließenden Dualismus. Fantasy-Bücher und digitale Spiele generieren imaginative Gegenwelten, die von hilfreichen übernatürlichen Wesen und Scharen von dämonenartigen Gegnern bevölkert sind. Vor allem literaturgeschichtlich lässt sich dabei eine Entwicklung des Engelbildes von einer christlich-religiösen Deutung zu einem säkularen Verständnis beobachten, das heute insgesamt auf die Darstellung von Engeln und Dämonen nachwirkt.

Diese säkularisierende Transformation der überlieferten religiösen Engeldeutung ist Hand in Hand gegangen mit einer konsequenten Einbeziehung der geschilderten Engeln in die Welt und in die Probleme der Menschen. Häufig wurden die Engel dabei als machtvolle Wesen einer jenseitigen Welt zugunsten ihrer „Erdnähe“ der eigenen Kraft beraubt. Mitunter treten sie mit einer geradezu menschlich anmutenden Schwäche auf oder stehen sogar vor dem Problem, sich den Menschen und ihrer den Engeln fremden Welt annähern zu müssen.

Insgesamt wurden Engel so literarisch zu Chiffren der Menschlichkeit umgedeutet, zu Symbolfiguren für die Sinn- und Orientierungssuche des in der Welt umherirrenden Menschen. Ist die religiöse Engeltradition vor

ANGELS AND DEMONS

INTERPRETING THE WORLD THROUGH POLAR OPPOSITES

GREGOR AHN

For thousands of years, interpretative patterns based on polar opposites have been part of the cognitive structures with which we try to understand the world around us. So it comes as no surprise that they are also central to the history of our religions. Juxtapositions like blessing and curse, good and evil, angels and demons or light and shadow are good examples. However, a closer look at such concepts reveals that their duality can be just as varied and colourful as that of all other opposites in cultural history. The various historical constellations are always shaped by the specific time and culture in which they occur, and often reveal themselves as opposites only through the history of their reception.

With regard to our investigation of polar interpretative patterns in religious history, this means that we are not so much attempting to uncover seemingly universal terms of human thought as to describe specific cultural constellations and historically varying forms of articulation. These may cover the entire range from opposing, but correlating complementary structures to mutually exclusive antagonisms. Analysing the great variety of polar interpretative patterns not only helps us to better understand other religions; it also heightens our understanding of our own culture and models of world interpretation. ●

PROF. DR GREGOR AHN joined Heidelberg University's Institute for Religious Studies in 1996. His research fields include theories of religious studies and of rituals research, ancient Iranian religious history, contemporary European religious history and monotheism-polytheism research. Gregor Ahn read religious studies, Catholic theology, philosophy and Iranian studies in Bonn and Copenhagen. In 2000 he held the Romano Guardini Chair at the University of Munich and received the Teaching Award of the State of Baden-Württemberg.

Contact: gregor.ahn@zegk.uni-heidelberg.de

“Angels and demons, light and shadow are examples of our tendency to interpret the experienceable world by means of polar opposites.”

allem durch das Motiv des überwältigenden Einbruchs der himmlischen Transzendenz in die Begrenztheit menschlichen Lebens geprägt, wie sie zum Beispiel noch in Rainer Maria Rilkes „Duineser Elegien“ aus dem Jahr 1923 anklingt, so hat sich nun die Perspektive geändert: Der transzendente Gottesbote rückt der diesseitigen Welt näher, er verstrickt sich in ihre Widersprüche, in das Auf und Ab der Gefühlswelt, und wird dabei anfechtbar. Intentional verbindet sich damit eine Aufwertung menschlicher Befindlichkeit gegenüber dem Kontrastbild einer unerreichbaren, rein geistigen Transzendenz.

Ein gutes Beispiel für eine solche Umwertung von himmlischer und irdischer Welt bietet die in Wim Wenders berühmtem Film „Der Himmel über Berlin“ (1987) nach Texten von Peter Handke erzählte Geschichte der freiwilligen Verwandlung eines Engels in einen Menschen. Darin verlässt ein für die Menschen unsichtbarer Engel aus Liebe zu einer sterblichen Trapezkünstlerin seine himmlische Welt, um seine mitleidvolle, aber oft auch ohnmächtige Rolle eines außenstehenden Beobachters gegen ein „erdfestes“ menschliches Leben einzutauschen. Er entdeckt so die ihm zuvor verschlossenen Reize der Sinneswahrnehmung wie Farben und Gerüche sowie die Gefühle und Affekte des menschlichen Daseins.

Engel und Dämonen, Licht und Schatten sind Beispiele für die in der Religions- und Kulturgeschichte der Menschheit immer wieder anzutreffende Tendenz, die erfahrbare Welt mithilfe von polaren Deutungsmustern zu erklären. Die historisch jeweils vorfindbaren Konstellationen von unterschiedlichsten Antagonismen, komplementären Gegensatzpaaren und einander ausschließenden Dualismen sind dabei immer zeit- und kulturspezifisch geprägt und oft nur in ihrer wechselseitig verwobenen Rezeptionsgeschichte aufeinander bezogen. Diese Vielfalt von polaren Weltdeutungen zu untersuchen, hilft nicht nur, andere Religionen besser zu verstehen, sondern trägt auch dazu bei, sich über die eigene kulturelle Verortung und die eigenen Weltdeutungsmodelle klarer zu werden. ●

„Literarisch wurden Engel umgedeutet zu Symbolfiguren für die Sinn- und Orientierungssuche des in der Welt umherirrenden Menschen.“

AUS DEM

SCHATTEN TRETEN

AUS DEM SCHATTEN TRETEN

INTEGRATION DURCH EIN LIBERALERES RECHT

CHRISTINA GATHMANN

Zuwanderer ökonomisch und sozial zu integrieren – sie aus dem Schatten der Gesellschaft herauszuholen –, wird angesichts der aktuellen Entwicklungen zu einer Grundsatzfrage. Im vergangenen Jahr verzeichnete Deutschland die höchste Einwanderungsquote seit 22 Jahren. 2015 wird sich diese Zahl nochmals deutlich erhöhen. Unsere Arbeitsgruppe am Heidelberger Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften untersucht, wie sich die Liberalisierung des Staatsbürgerrechts auf die ökonomische und soziale Integration auswirkt – und kommt zu einem überraschenden Ergebnis: Welche Effekte der Zugang zum deutschen Pass hat, ist vorrangig eine Frage des Geschlechts.

Z

Zuwanderung und Integration sind ein seit jeher hochpolitisches Thema in Deutschland. Eine pragmatische Debatte über die ökonomischen, sozialen und politischen Herausforderungen von Einwanderung hat dies vielfach erschwert. Seit Langem ist bekannt, dass Immigranten hierzulande – wie auch in vielen anderen Staaten – ökonomisch meist schlechtergestellt sind als die einheimische Bevölkerung. So sind sie im Durchschnitt öfter arbeitslos und erhalten niedrigere Löhne, auch wenn sich der Abstand im Lohnniveau

verringert, je länger ein Zuwanderer auf dem deutschen Arbeitsmarkt tätig ist. Selbst die zweite Einwanderergeneration, die schon in Deutschland geboren ist, hat oftmals geringere Bildungsabschlüsse als einheimische Kinder und Jugendliche.

Die Integrationsprobleme stellen Einwanderungsländer, wie Deutschland es faktisch ist, vor große Herausforderungen: Zum einen werden Zuwanderer wahlweise als Konkurrenten um Arbeitsplätze oder aber als Nutznießer des deutschen Sozialsystems wahrgenommen; zum anderen schüren kulturelle und soziale Differenzen Ängste und Ressentiments in der Bevölkerung. Allerdings ist inzwischen auch deutlich geworden, dass Immigranten gerade in alternden Gesellschaften einen wichtigen Beitrag zur Wahrung des gegenwärtigen Lebensstandards leisten werden. Entsprechend wichtig ist es, in Deutschland nach pragmatischen Lösungen zu suchen, wie die ökonomische und soziale Integration von Zuwanderern verbessert werden kann.



PROF. CHRISTINA GATHMANN, PH. D. forscht und lehrt seit 2011 am Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften der Universität Heidelberg. Ihre Schwerpunkte liegen im Bereich der Arbeitsmarktkonomie, der Migrationsforschung, der Politischen Ökonomik und der Evaluation von familien- und wirtschaftspolitischen Maßnahmen. Sie hat an der University of Chicago bei den beiden Nobelpreisträgern James J. Heckman und Gary S. Becker promoviert und war von 2004 bis 2009 an der Stanford University beschäftigt. Im Jahr 2003 erhielt sie den Preis der „European Economic Association“ als beste Nachwuchswissenschaftlerin; von 2006 bis 2007 war sie „W. Glenn Campbell and Rita Ricardo-Campbell National“-Fellow am Hoover-Institut der Stanford University. Sie ist gegenwärtig Vorstandsmitglied des deutschen Vereins für Socialpolitik sowie stellvertretende Vorsitzende des wissenschaftlichen Beirats des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Kontakt: christina.gathmann@awi.uni-heidelberg.de

Solche pragmatischen Lösungen sind jedoch nicht mehr nur wichtig – angesichts der vergleichsweise hohen Einwanderungszahlen der vergangenen Jahre werden sie zu einer Notwendigkeit. Im Jahr 2014 kamen 1,2 Millionen Immigranten nach Deutschland, während mehr als 700.000 Menschen, darunter viele ehemalige Einwanderer, das Land wieder verließen. Unter dem Strich lag die Nettozuwanderung somit bei 470.000 und erreichte damit den höchsten Stand seit der Öffnung des Eisernen Vorhangs. Die große Mehrheit der Immigranten – etwa 75 Prozent – kam über die Arbeitnehmerfreizügigkeit aus den EU-Mitgliedsstaaten, vor allem aus osteuropäischen Ländern, sowie, seit der Euro- und Finanzkrise, auch aus einigen „alten“ EU-Staaten wie Spanien. Ebenso in den Zuwanderungszahlen enthalten sind Flüchtlinge, von denen 2014 rund 200.000 einen Asylantrag stellten. Diese Zahl wird 2015 noch um ein Vielfaches übertroffen werden.

Wer wird eingebürgert?

Deutschland hatte lange ein sehr restriktives Einbürgerungsrecht, das sich primär an der Abstammung des Zuwanderers orientierte. Im Jahr 1990 reformierte die Bundesregierung das Ausländergesetz und machte damit einen wichtigen Schritt hin zur Liberalisierung des Staatsbürgerrechts. Einwanderer konnten demnach nun auch, ohne Wurzeln in Deutschland zu haben, den deutschen Pass erhalten, wenn sie bestimmte Kriterien erfüllten: Je nach Alter mussten sie acht (bei 16- bis 22-Jährigen) oder 15 Jahre (bei Erwachsenen über 22 Jahren) hier gelebt haben, wirtschaftlich eigenständig sein (bei Erwachsenen) oder mindestens sechs Jahre Schulbildung vorweisen (bei Heranwachsenden); sie durften nicht wegen einer Straftat verurteilt sein und mussten sich überdies zu den demokratischen Prinzipien der Bundesrepublik Deutschland bekennen sowie ihre ursprüngliche Nationalität abgeben.

Die Kriterien zur Einbürgerung wurden durch das Staatsangehörigkeitsgesetz von 1999 weiter liberalisiert: Seitdem reichen zur Einbürgerung acht Jahre Aufenthalt in Deutschland – unabhängig vom Alter. Die anderen Bestimmungen der Reform von 1990 blieben gleich, wurden aber noch durch das Vorweisen von deutschen Sprachkenntnissen ergänzt. Darüber hinaus erhalten nunmehr auch hier geborene Kinder die deutsche Staatsbürgerschaft, sofern einer ihrer Elternteile mindestens acht Jahre in Deutschland gelebt hat.

Die Zahl der Einbürgerungen ist nach den beiden Reformen – wie zu erwarten war – stark angestiegen: In den 1990er-Jahren erwarben jährlich 60.000 bis 70.000 Zuwanderer den deutschen Pass. Seit 2000 liegt diese Zahl bei über 100.000 pro Jahr. Jedoch ist die Einbürgerungsquote in Deutschland immer noch wesentlich niedriger als in traditionellen Einwanderungsländern. So sind in Deutschland

von denjenigen Immigranten, die im Ausland geboren sind und mindestens zehn Jahre hier leben, nur 35 Prozent einbürgerter. In Großbritannien dagegen beträgt dieser Anteil 60 Prozent, in Kanada sogar etwa 80 Prozent. Insbesondere die Einbürgerungsquote von Hochqualifizierten, also von Einwanderern mit mindestens einem Hochschulabschluss, ist hierzulande verhältnismäßig gering. Daran zeigt sich, dass Deutschland seine Attraktivität als Zielland für gut ausgebildete Zuwanderer noch weiter steigern kann.

Was bewirkt die Einbürgerung?

Verbessert nun aber die Möglichkeit, den deutschen Pass zu erwerben, die Situation der Einwanderer am Arbeitsmarkt? Und kann Einbürgerung zu mehr sozialer Integration führen?

Ein erleichterter Zugang zur Staatsbürgerschaft gibt dem Einwanderer zunächst einmal eine langfristige ökonomische Perspektive im Zuwanderungsland und signalisiert ihm, dass er als vollständiges Mitglied der Gesellschaft – mit allen Rechten und Pflichten – akzeptiert wird. Ökonomisch schlägt sich diese langfristige Perspektive vor allem darin nieder, dass Immigranten einen stärkeren Anreiz haben, in Wissen und Kompetenzen wie etwa Sprachkenntnisse zu investieren, die ihnen im Zielland nützlich sind. Darüber hinaus bekommen sie Zugang zu allen Berufen und Karrieremöglichkeiten auf dem deutschen Arbeitsmarkt (wie auch über die Arbeitnehmerfreizügigkeit zu allen anderen EU-Arbeitsmärkten). Schließlich macht es ein liberaleres Einbürgerungsrecht auch für Arbeitgeber wirtschaftlich lohnenswert, in die Aus- und Weiterbildung von Einwanderern zu investieren, da deren Bleibewahrscheinlichkeit steigt.

Will man nun die Wirkungen der deutschen Staatsbürgerschaft auf ökonomische und soziale Integration untersuchen, genügt es nicht, eingebürgerte mit nicht eingebürgerten Zuwanderern zu vergleichen, da sich beide Gruppen in vielen Merkmalen unterscheiden. Oft beantragen genau jene Einwanderer einen deutschen Pass, die bereits eine hohe Integrationsbereitschaft haben oder gute Voraussetzungen für eine gelungene Integration mitbringen. Somit würde ein solcher Vergleich hinken. Die Reformen des Staatsbürgerrechts von 1990 und 1999 bieten hier eine einmalige Gelegenheit, die kausalen Wirkungen der Einbürgerung zu analysieren. Denn aufgrund der spezifischen institutionellen Regelungen lagen die Zeitpunkte, zu denen Zuwanderer damals die Staatsbürgerschaft beantragen durften – abhängig von ihrem Alter –, sehr unterschiedlich: Ein Einwanderer, der zum Beispiel 1983 nach Deutschland gekommen war, konnte schon 1991 nach acht Jahren den deutschen Pass erlangen, solange er jünger als 23 war; ein Immigrant hingegen, der im selben Jahr eingewandert, jedoch 23 Jahre oder älter war, durfte den Pass erst 1998 nach 15 Jahren beantragen. Ähnliche Unterschiede im Zugang zur deutschen

„Ein erleichterter Zugang zur Staatsbürgerschaft gibt dem Einwanderer eine langfristige ökonomische Perspektive und signalisiert ihm, dass er als vollständiges Mitglied der Gesellschaft akzeptiert wird.“

Staatsbürgerschaft ergeben sich für spätere und frühere Einwanderungsjahre.

Frauen profitieren

In unserem Forschungsprojekt am Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften der Universität Heidelberg haben wir uns diese altersabhängigen Regelungen zunutze gemacht. Die Grundidee dabei ist, die ökonomische und soziale Integration von Zuwanderern miteinander zu vergleichen, die im gleichen Jahr nach Deutschland kamen und ähnlich alt sind, aber aufgrund der altersspezifischen Regelungen zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten einen deutschen Pass beantragen können. Unsere empirischen Analysen fußen auf Daten von mehreren Tausend Einwanderern, die seit Mitte der 1970er-Jahre bis zur Jahrtausendwende nach Deutschland kamen.

Die Ergebnisse, wie und bei wem der Zugang zur Staatsbürgerschaft die ökonomische und soziale Integration beeinflusst, haben uns selbst überrascht. So zeigt sich, dass die Liberalisierung die ökonomische Position insbesondere

von eingewanderten Frauen erheblich verbessert hat. Dies liegt zum einen daran, dass Frauen mit dem Zugang zur Staatsbürgerschaft stärker am Arbeitsmarkt präsent sind: Ihre Beschäftigungsquote erhöht sich, und bereits beschäftigte Frauen arbeiten im Durchschnitt vier Stunden mehr pro Woche als vorher. Zum anderen ist der deutsche Pass mit Verbesserungen der Arbeitsbedingungen verbunden: Frauen sind danach weniger in befristeten Arbeitsverträgen zu finden und bleiben im Durchschnitt länger in einem Betrieb beschäftigt.

Diese Verbesserung in den Erwerbsverläufen spiegelt sich auch im Verdienst wider: Frauen, die die Staatsbürgerschaft erworben haben, wechseln häufiger in besser bezahlte Berufe wie etwa Angestelltenverhältnisse. Im Schnitt verdienen sie nach fünf Jahren etwa 35 Prozent mehr als noch vor der Einbürgerung. Somit trägt der Zugang zum deutschen Pass ganz wesentlich zur Verbesserung der ökonomischen Situation bei. Für die eingewanderten Frauen bedeutet dies vor allem, dass sie finanziell unabhängiger sind. Gleichzeitig haben wir keine Hinweise

darauf gefunden, dass eingebürgerte Zuwanderer stärker soziale Transfers wie Arbeitslosengeld I oder II beziehen.

Soziale Integration

Die Verbesserung der Arbeitsmarktsituation ist zweifels- ohne ein wichtiger Aspekt des Integrationsprozesses, jedoch hat dieser Prozess noch eine andere Dimension – die soziale: Hat der Erwerb des deutschen Passes auch Folgen für so private Entscheidungen wie die Partnerwahl oder die Anzahl der Kinder? Und wirkt er sich auf die Art und Weise aus, wie man über die Stellung der Frau in der Gesellschaft denkt? Unsere Forschungsergebnisse zeigen, dass es tatsächlich zu einer Anpassung an hiesige Lebens- muster kommt. Frauen, die die deutsche Staatsbürger- schaft erhalten haben, heiraten später und passen sich somit dem Heiratsverhalten der Einheimischen an. Unter gering qualifizierten Frauen sinkt die Wahrscheinlichkeit für einen Partner mit deutscher Staatsbürgerschaft. Und bei hoch qualifizierten Frauen und Männern zeigt sich folgendes Muster: Hier steigt die Wahrscheinlichkeit, einen Partner mit deutscher Staatsbürgerschaft zu haben; ebenso steigt die Bildung des Partners an.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass insbesondere Frauen durch den Zugang zur deutschen Staatsbürger- schaft freier in ihrer Partnerwahl sind. Außerdem bekom- men Frauen, die den deutschen Pass erworben haben, insgesamt weniger Kinder, die sie zudem später zur Welt bringen. Damit passen sie sich dem deutschen Geburts- verhalten an. Diese Verschiebungen zeigen sich besonders deutlich bei hoch qualifizierten Frauen.

Darüber hinaus konnten wir aufzeigen, dass auch die An- sichten der eingewanderten Männer gegenüber ihren eingebürgerten Frauen liberaler werden. So stimmen diese Männer weniger häufig der Aussage zu, dass der Ehemann alleine das Geld verdienen sollte, während die Frau sich um Haus und Kinder kümmert; gleichzeitig finden es mehr eingewanderte Männer denkbar, dass eine Frau Karriere und Kinder verbindet. Unsere weiteren Untersuchungen haben ergeben, dass ungefähr ein Drittel der Veränderungen bei der Partnerwahl und dem Geburtenverhalten durch die Verbesserung der ökonomischen Position von Frauen zu erklären ist.

Insgesamt zeigen unsere Forschungsergebnisse, dass ein deutscher Pass die ökonomische und soziale Integration von Frauen in Deutschland erheblich beschleunigt. Über die Frage, warum vor allem Frauen von der Liberalisierung des Staatsbürgerrechts profitieren, lässt sich momentan nur spekulieren. Eine Hypothese wäre, dass die Zugewinne am Arbeitsmarkt vor allem durch verbesserte Möglichkei- ten zum Job- und Berufswechsel sowie Anpassungen im Arbeitsangebot zustande kommen. Eingewanderten Frauen scheint dies stärker entgegenzukommen, womöglich, weil

**„Die Liberalisierung
des Staatsbürger-
rechts hat
insbesondere die
ökonomische
Position von
eingewanderten
Frauen erheblich
verbessert.“**

OUT OF THE SHADOW

INTEGRATION THROUGH LIBERAL LAWS

CHRISTINA GATHMANN

Immigration and integration have always been politically charged topics in Germany, a fact that has frequently impeded a pragmatic debate about the economic, social and political challenges involved in immigration. At the same time, integrating immigrants into our society is becoming ever more important: On the one hand, Germany needs the new arrivals in order to maintain its standard of living in view of low birth rates and an ageing population; on the other hand, immigration figures in Germany reached a 22-year-high in 2014. Our research group at the Heidelberg Alfred Weber Institute for Economics investigates how a liberalisation of German citizenship law could contribute to successfully mastering the challenges of immigration and integration.

The results of our long-term study show that women in particular benefit from having easier access to a German passport: Their employment rate rises, they work fewer temporary jobs, and their average salary increases. Moreover, they adapt to German life patterns: Women with German citizenship have more freedom in their choice of partner, they have fewer children and become mothers later in life. Also, immigrant men develop more liberal views with respect to their naturalised wives. This means that overall, a reform of citizenship law generates strong positive impulses that benefit both immigrants and German society as a whole. Obviously it does not always take special programmes or political campaigns to achieve a goal; sometimes it is enough for a government to set up the right framework conditions. In terms of immigration policy, this means giving immigrants a long-term perspective in Germany – a fundamental insight that can also be applied to the current refugee crisis. ●

“The liberalisation of citizenship law generates strong positive impulses that benefit both immigrants and German society as a whole.”

PROF. CHRISTINA GATHMANN, PH.D. joined the Alfred Weber Institute for Economics at Heidelberg University in 2011. Her areas of expertise are labour economics, migration research, political economics and policy evaluation in the field of family politics and economic policy. Prof. Gathmann obtained her Ph.D. from the University of Chicago, where she studied under Nobel laureates James J. Heckman and Gary S. Becker, and held a position at Stanford University from 2004 to 2009. In 2003 she received the award for best junior researcher of the 'European Economic Association'; from 2006 to 2007 she was a 'W. Glenn Campbell and Rita Ricardo-Campbell National' fellow at the Hoover Institute of Stanford University. Christina Gathmann is a member of the Executive Council of the German Association for Social Policy (Verein für Socialpolitik) and Deputy Chairperson of the Academic Advisory Board at the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

Contact: christina.gathmann@awi.uni-heidelberg.de

sie eher in Jobs im Dienstleistungssektor beschäftigt sind, in denen sich ein deutscher Pass positiv auswirkt. Männer mit Migrationshintergrund dagegen arbeiten vor allem in der Industrie, die im Durchschnitt höhere Löhne bezahlt, in der ein deutscher Pass aber weniger Effekte zu haben scheint. Eine zweite Hypothese wäre, dass eingewanderte Frauen gewöhnlich ökonomisch schlechtergestellt sind – ihre Beschäftigungsquote ist traditionell sehr niedrig, und sie verdienen deutlich weniger als deutsche Frauen. Daher haben eingewanderte Frauen einen großen Nachholbedarf, der nun durch den Zugang zur deutschen Staatsbürgerschaft geleistet wird.

Eine Frage der richtigen Rahmenbedingungen

Aus den Erfahrungen mit den Reformen des Staatsbürgerrechts lassen sich einige wichtige Erkenntnisse für die zukünftige Einwanderungspolitik in Deutschland ziehen. Die vielleicht wichtigste Erkenntnis ist, dass es nicht immer besonderer Programme oder politischer Aktionen bedarf, um ein Ziel zu erreichen. Vielmehr genügt es oft, wenn von staatlicher Seite die Rahmenbedingungen richtig gesetzt werden, sodass Anreize für die Einwanderer und Arbeitgeber entstehen, die gewünschte Integrationsleistung selbstständig voranzubringen. In der Einwanderungspolitik ist die wohl wichtigste Rahmenbedingung die Gewährung einer langfristigen Perspektive in Deutschland. Die Erfahrung mit der Staatsbürgerschaftsreform zeigt, dass hiervon starke positive Impulse ausgehen – sowohl für die Zugewanderten als auch für Deutschland.

Diese grundlegende Einsicht, auf die Einwanderungsländer wie Kanada und die USA schon immer setzen, lässt sich meiner Ansicht nach auch auf Flüchtlinge übertragen. Die Aussicht einer permanenten Aufenthaltserlaubnis in Deutschland würde für Zuwanderer aus Kriegs- und Konfliktgebieten einen starken Anreiz zur Integration setzen. Gleichzeitig würde sich das Leben der Flüchtlinge erheblich verbessern, da sie nicht länger in Unsicherheit über die Länge ihres Aufenthaltes leben müssten. Unsicherheit darüber, ob man in einem Land bleiben kann oder nicht, wirkt sich fast immer negativ auf Integrationsanstrengungen wie Spracherwerb oder Ausbildung aus. Hier wäre eine Politik wünschenswert, die einen Verbleib fördert, während sie gleichzeitig Integration, etwa in den Arbeitsmarkt, fordert.

Eine zweite wichtige Erkenntnis ist, dass Deutschland trotz der großen Fortschritte in den letzten 25 Jahren anderen Einwanderungsländern in einem Punkt noch deutlich hinterherhinkt: bei der Einbürgerungsquote vor allem von gut ausgebildeten Zuwanderern. In den vergangenen Jahren ist das Bildungsniveau der Einwanderer nach Deutschland stark angestiegen. Während in den frühen 1990er-Jahren nur 13 Prozent der Immigranten einen Universitätsabschluss hatten, ist dieser Anteil für Zuwanderer,

die zwischen 2005 und 2009 nach Deutschland kamen, auf 37 Prozent gestiegen – und damit fast doppelt so hoch wie in der deutschen Erwerbsbevölkerung. Hierin liegt eine große Chance, die es zukünftig noch besser zu nutzen gilt – damit Einwanderer von Deutschland profitieren können und Deutschland von seinen Einwanderern. ●

„Eine permanente Aufenthaltserlaubnis in Deutschland würde auch für Flüchtlinge aus Kriegs- und Konfliktgebieten einen starken Anreiz zur Integration setzen.“



BIOPHYSIK
DURCH DEN DSCHUNGEL DER MOLEKÜLE
ROUTENPLANER FÜR ZIELE IM GENOM
JÖRG LANGOWSKI

44



UMWELTPHYSIK & BILDVERARBEITUNG
DER OZEAN IM LABOR
MESSEN MIT LICHT UND SCHATTEN
BERND JÄHNE

52



OPTOGENETIK
LICHT EIN, LICHT AUS
DER MOLEKULARE SCHALTER
BARBARA DI VENTURA & ROLAND EILS

60



HIRNFORSCHUNG
KOMPLEXITÄT ALS HERAUSFORDERUNG
IN DEN TIEFEN DES GEHIRNS
ANDREAS MEYER-LINDENBERG & WOLFGANG KELSCH

68

HELL SEHEN



DURCH DEN DRSCHUNGEL

DER

MOLLEKÜLE

DURCH DEN DSCHUNDEL DER MOLEKÜLE

ROUTENPLANER FÜR ZIELE IM GENOM

JÖRG LANGOWSKI

Bestimmte Proteine, sogenannte Transkriptionsfaktoren, haben die Aufgabe, im Zellkern Gene an- oder abzuschalten. Damit sie ihre Arbeit tun können, müssen sie sich durch einen Dschungel von Zellsaft-Molekülen kämpfen, zu ihrer Wirkstätte vordringen, das Erbmolekül entwirren und an vorbestimmter Stelle binden. Die Wege, die Transkriptionsfaktoren dafür einschlagen, und die Kooperationen, die sie hierzu eingehen müssen, sind noch wenig bekannt. Neue Mikroskopiertechniken bringen Licht in das Dunkel.

D

Die Erbinformation in jeder Zelle des menschlichen Körpers ist in der DNA enthalten, einem sehr langen und sehr dünnen Molekülfaden. Insgesamt zwei Meter des Fadens sind in 46 Abschnitten, den Chromosomen, im circa 20 Mikrometer kleinen Zellkern verpackt. Auf diesem Faden ist wie in einem Text aus vier „Buchstaben“ – den Basenpaaren – die genetische Information abgelegt. Beim Menschen umfasst der Text – das Genom – sechs Milliarden Zeichen. Das entspricht einer Bibliothek aus etwa 10.000 Bänden in jeder einzelnen Zelle. Moderne Sequenzieretechniken können heutzutage diese gesamte Information innerhalb weniger Tage „lesen“ und werden beispielsweise in der Krebsdiagnostik schon routinemäßig eingesetzt. Die Reihenfolge der Basen, die „DNA-Sequenz“, alleine reicht aber nicht aus, um die Funktion einer Zelle im Organismus zu verstehen. Je nach Zelltyp sind nämlich unterschiedliche Gene aktiv – und welche Gene jeweils angeschaltet werden, hängt wesentlich von der räumlichen Struktur des Genoms ab.

Damit die genetische Information spezifisch abgelesen werden kann, muss ein Protein, ein sogenannter Transkriptionsfaktor, eine definierte Stelle finden und an sie binden. Anschaulich bedeutet dies, dass ein Floh einen bestimmten Abschnitt auf einem 50 Kilometer langen Haar finden muss, das in einen Medizinball geknäuel ist. Die DNA im Zellkern ist nun nicht irgendwie chaotisch zusammengeballt, sondern strikt organisiert: Zunächst bilden Histon-Proteine mit der DNA sogenannte Nukleosomen, in denen jeweils circa 150 Basenpaare in zwei engen Windungen aufgewickelt sind und sich wie die Perlen einer Kette auf dem Genom aneinanderreihen. Die Nukleosomenkette ist wieder zu höheren Strukturen gefaltet; schließlich nimmt jedes Chromosom ein separates „Chromosomen-Territorium“ im Zellkern ein. Damit ein Protein an die DNA binden und seine Funktion erfüllen kann, muss es seinen Wirkort im Dickicht des Genoms finden und die Nukleosomenstruktur öffnen. Wie zugänglich die DNA ist, wird unter anderem durch chemische Modifikationen der Histone geregelt.

Unser Ziel ist es, zu verstehen, wie Proteine, die als Transkriptionsfaktoren ihren Dienst tun, im Zellkern an ihren Wirkort gelangen, um dort Gene an- und abzuschalten, und wie die Veränderungen an den Histonen die Struktur des Genoms beeinflussen. Das ist nicht nur wichtig für das Verständnis der Biologie, es kann auch praktische Anwendungen finden: Die veränderte Struktur und Aktivität von Genen spielt beim Entstehen von Krankheiten, etwa von Krebs, eine entscheidende Rolle, und Substanzen, die die räumliche Struktur des Genoms beeinflussen, können sich als wichtige Medikamente herausstellen – das erste Krebsmedikament, das die Genomstruktur beeinflusst, wurde vor Kurzem zugelassen.

Neue Methoden der Mikroskopie

Um unser Forschungsziel zu erreichen, gilt es, die Wege und Wechselwirkungen von Proteinen nachzuvollziehen.

Doch wie lassen sich Moleküle im Innern von Zellen beobachten? Ein Verfahren, das die Zellbiologie weit vorangebracht hat, nutzt fluoreszierende, „leuchtende“ Proteine. Sie lassen sich mit gentechnischen Methoden an andere Proteine anheften. Werden Zellen, die derart markierte Proteine enthalten, mit kurzwelligem Anregungslicht bestrahlt, geben die markierten Proteine Fluoreszenzlicht längerer Wellenlänge ab und lassen sich dann selektiv beobachten. Für die Entdeckung der „autofluoreszierenden Proteine“, deren Entwicklung und Anwendung erhielten die Wissenschaftler Osamu Shimomura, Martin Chalfie und Roger Y. Tsien im Jahr 2008 den Nobelpreis für Chemie.

In einem klassischen Fluoreszenzmikroskop wird die gesamte Zelle mit Anregungslicht beleuchtet. Das Objektiv bildet dann nicht nur die scharfe Fokusebene, sondern auch die davor und dahinter liegenden unscharfen Bereiche ab. Das Ergebnis ist ein sehr verschwommenes Bild von der Zelle. Um eine zweidimensionale Ebene beobachten und die restlichen Bereiche ausblenden zu können, entwickelte der Physiker Ernst Stelzer am EMBL, dem Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie in Heidelberg, die „Lichtscheibenfluoreszenz-Mikroskopie“ (englisch: Light Sheet Fluorescence Microscopy, LSFM). Dank einer speziellen Optik wird dabei nicht die komplette Zelle, sondern nur eine etwa zwei Mikrometer dünne Ebene beleuchtet. Das macht es möglich, „nur“ diejenigen Proteine zu beobachten, die sich in dieser Ebene befinden. Verschiebt man die beleuchtete Zone, lassen sich in kurzer Zeit sehr scharfe räumliche Bilder von Zellen aufnehmen.

Die LSFM wird in vielen Bereichen der Biologie eingesetzt, beispielsweise, um die Entwicklung von kleinen Organismen über längere Zeit zu beobachten, ihren Blutkreislauf in Echtzeit bildlich darzustellen oder Prozesse in der Zellmembran oder im Zytoskelett zu analysieren. Der Einsatz von LSFM zur Darstellung der Beweglichkeit von Proteinen ist ein neues Feld. Moderne Elektronik und schnelle Rechner machen es möglich, die Mobilität in Echtzeit als bildgebenden Parameter einzusetzen und so ein Bild der biologischen Prozesse in Raum und Zeit zu gewinnen.

Molekulare Bewegungskarten

Warum ist die Bewegung von Molekülen in der Zelle so entscheidend, um ihre biologische Funktion zu verstehen? Viele biologische Prozesse sind erst durch spontane Zufallsbewegungen von Atomen und Molekülen – die „Brown'sche Molekularbewegung“ – möglich. Sie ist dafür verantwortlich, dass ein Protein seine Bindungsstelle auf der DNA findet und Gene anschalten kann oder dass Enzyme mit kleinen Molekülen in der Zelle wechselwirken und Stoffwechselforgänge in Gang setzen können. Ein Schwerpunkt unserer Arbeit ist es, die Zufallsbewegungen der Moleküle des Genoms und assoziierter Proteine in der lebenden Zelle zu analysieren.

„Wie sich die Moleküle im Innern der Zellen bewegen, ist noch immer wenig verstanden und ein aktuelles Forschungsgebiet der Biophysik.“

Bereits seit den 1970er-Jahren gibt es eine Methode, die es erlaubt, die zufälligen Bewegungen von Molekülen zu vermessen und statistisch zu analysieren: die Fluoreszenz-korrelations-Spektroskopie (FCS). Dabei werden ein Laserstrahl durch ein Mikroskop in die Probe geschickt und die angeregte Fluoreszenz im Fokus beobachtet. Der Fokus ist sehr klein (etwa 0,5 Mikrometer breit und zwei Mikrometer lang) und enthält nur sehr wenige Moleküle. Deshalb ändert sich das Fluoreszenzsignal deutlich, wenn sich einzelne Moleküle in den Beobachtungsfokus hinein- oder hinausbewegen. Wertet man anschließend die zeitlichen Schwankungen der Fluoreszenz mit statistischen Methoden aus, lassen sich Informationen über die Bewegung und die Konzentration der fluoreszierenden Moleküle sowie die Eigenschaften ihrer zufälligen Bewegungen gewinnen.

Das Innere einer Zelle enthält lange Fadenmoleküle wie die DNA im Zellkern oder lange Filamentproteine im Zellsaft (Zytosol), einem insgesamt dicht gedrängten gallertartigen Milieu, in dem auch zahlreiche kleinere Proteine und andere Moleküle gelöst sind. Trotz dieser Fülle müssen Proteine gezielt an ihren Wirkort gelangen. Die thermische Bewegung aller Moleküle in der Zelle „durchmischt“ das System so, dass molekulare Begegnungen genügend häufig stattfinden. Wie sich diese Bewegungen und Wechselwirkungen aber genau abspielen, ist noch wenig verstanden und ein aktuelles Thema der Biophysik.

Wie wäre es, wenn man die schnellen und langsamen Bewegungen eines Moleküls in der Zelle als Bild darstellen könnte? Die Fluoreszenzkorrelations-Spektroskopie erlaubt solche Messungen, kann aber eine Probe nur Punkt für



PROF. DR. JÖRG LANGOWSKI studierte Biochemie an der Medizinischen Hochschule Hannover und promovierte dort, nach einem einjährigen Aufenthalt an der Stanford University, über den Mechanismus der Restriktions-Endonuklease EcoR1. Es folgte ein Postdoc-Aufenthalt an der University of Washington in Seattle. Nach einer einjährigen Tätigkeit an seinem früheren Institut in Hannover ging er als Gruppenleiter an die EMBL-Außenstelle in Grenoble. Seit 1994 ist er Professor für Biophysik an der Universität Heidelberg und leitet die Abteilung „Biophysik der Makromoleküle“ am Deutschen Krebsforschungszentrum. Jörg Langowski ist Alumnus und Vertrauensdozent der Studienstiftung des deutschen Volkes und ehemaliger Heisenberg-Stipendiat.

Kontakt: jl@dkfz.de

Punkt abtasten; zudem beansprucht jede einzelne Messung mindestens zehn bis 15 Sekunden. Um eine Mobilitätskarte der Moleküle erstellen zu können, werden 50 bis 100 Punkte benötigt, was einer Messzeit von etwa einer Viertelstunde entspricht. Lebende Zellen ertragen jedoch nur eine begrenzte Bestrahlungszeit mit dem Laser, sonst werden sie unwiderruflich geschädigt. Dieses Messproblem lässt sich lösen, kombiniert man die Lichtscheibenfluoreszenz-Mikroskopie (LSFM) mit der Fluoreszenzkorrelations-Spektroskopie (FCS).

Die Wissenschaftler Jan Krieger und Jan Buchholz aus unserer Arbeitsgruppe haben die LSFM-FCS-Kombination realisiert. Hierzu werden mit einer sehr schnellen Kamera etwa 1.000 bis 2.000 Bilder pro Sekunde aufgenommen. Jeder Bildpunkt stellt ein kleines Volumen der Zelle dar, dessen Durchmesser durch die seitliche Auflösung der Kamera (circa 0,5 Mikrometer) und dessen Länge durch die Dicke der Lichtscheibe (circa zwei Mikrometer) gegeben ist. In jedem einzelnen dieser Volumenelemente kann gemessen werden, wie sich die Fluoreszenz zeitlich verändert. Daraus lässt sich die Mobilität der Moleküle berechnen. Zusätzlich lässt sich charakterisieren, wie zwei mit verschiedenen Farbstoffen markierte Moleküle miteinander wechselwirken, da unsere Lichtscheibenfluoreszenz-Mikroskopie gleichzeitig Bildserien in zwei Farben aufnehmen kann.

Mit diesem neuen System untersuchte Agata Pernuš während ihrer Doktorarbeit, wie der Transkriptionsfaktor AP-1 im Kern lebender Zellen an das Erbmolekül bindet. AP-1 besteht aus zwei Untereinheiten und ist

„Neue Methoden der Mikroskopie erlauben es, einzelne Proteine, ihre Bewegungen und ihre Wechselwirkung mit anderen Molekülen unmittelbar zu beobachten.“

für die Aktivierung einer ganzen Reihe von Genen verantwortlich, beispielsweise für Gene, die für die „Differenzierung“ von Zellen, das Heranreifen zu Zellen mit spezieller Funktion, zuständig sind. Agata Pernuš konnte mit der LSFM-FCS zeigen, dass die beiden Proteinuntereinheiten des Transkriptionsfaktors AP-1 in bestimmten Bereichen des Zellkerns aneinander binden (dimerisieren). Interessanterweise erwies sich die Mobilität der Proteine in genau diesen Bereichen als stark verringert. Daraus lässt sich schließen, dass der Transkriptionsfaktor AP-1 in diesen Regionen an die DNA gebunden ist. Damit war gezeigt: Die Dimerisierung der Untereinheiten von AP-1 ist für die Funktion des Proteins notwendig, und das dimerisierte Protein ist vollständig an die DNA gebunden.

Ein sehr aufschlussreiches neues Ergebnis erhielt Giulia Marcarini aus unserer Arbeitsgruppe, als sie das Protein „Lamin“ mit LSFM-FCS untersuchte. Lamin ist ein Bestandteil der Zellkernhülle (Lamina). Bereits bekannt war, dass Bereiche des Chromatins – des Gesamtkomplexes aus DNA und Proteinen – an der Peripherie des Zellkerns an Lamin binden und dass Lamin außerdem im Innern des Zellkerns ein Netzwerk bildet. Als wir die Bewegungen von Lamin (grün markiert) und die Bewegungen des Chromatins (rot markiert) mit LSFM-FCS verfolgten, erkannten wir, dass Lamin nicht nur an der Peripherie, sondern auch im Innern des Zellkerns mit Chromatin assoziiert ist. Die Elastizität des von Lamin gebildeten Netzwerks scheint wesentlich zur Stabilität des Genoms beizutragen. Weitere Untersuchungen zeigten, dass sich das Chromatin in Zellen, denen Lamin fehlt, deutlich langsamer bewegt. Da für viele zelluläre Prozesse Bereiche des Genoms miteinander wechselwirken müssen, die weit voneinander entfernt liegen, könnte eine biologische Funktion von Lamin darin bestehen, diese Wechselwirkungen zu beschleunigen.

Aufschlussreicher Energietransfer

Damit ein Transkriptionsfaktor seinen Dienst tun kann, muss er seinen Wirkort im Zellkern erreichen, die Nukleosomenstruktur öffnen und an die DNA binden. Diesen Vorgang haben wir mit einer weiteren optischen Methode analysiert, die sich „Förster-Resonanzenergietransfer“, kurz FRET, nennt. Ihren Namen trägt sie nach dem Göttinger Physiker Theodor Förster, der den physikalischen Prozess im Jahr 1946 erstmals theoretisch beschrieb. Es kommt dabei zur Übertragung von Anregungsenergie zwischen zwei fluoreszierenden Molekülen: einem Donor (Spender) und einem Akzeptor (Empfänger). Der Donor wird dazu beispielsweise mit grünem Licht angeregt und strahlt sodann gelbes Fluoreszenzlicht ab. Ist ein Akzeptor in der Nähe, der durch die gelbe Lichtwellenlänge angeregt wird, kann der Donor seine Anregungsenergie auch direkt und „strahlungslos“ auf den Akzeptor übertragen. Der Akzeptor wird dadurch seinerseits angeregt und strahlt dann beispielsweise rotes Fluoreszenzlicht ab. Insgesamt lässt

sich beobachten, dass die Fluoreszenz des Donors (gelb) schwächer und die Fluoreszenz des Akzeptors (rot) stärker wird, je näher sich die beiden Farbstoffmoleküle kommen. Die Stärke des Energietransfers kann deshalb als Maß für den Abstand der beiden Moleküle dienen. In der Biophysik ist FRET ein Standardverfahren, um die Struktur von Molekülen zu untersuchen. Dazu werden zwei vorgegebene Positionen im Molekül mit je einem roten und einem grünen Fluorophor markiert und aus dem FRET-Wert der Abstand der beiden Moleküle bestimmt. Macht man das an mehreren Punkten, lässt sich die räumliche Struktur des Moleküls ermitteln.

Mit FRET-Messungen konnte Katalin Tóth in unserer Gruppe im Jahr 2001 erstmals den räumlichen Verlauf der aus dem Nukleosom herausragenden DNA bestimmen. Überraschenderweise wich der Verlauf der DNA deutlich von dem ab, der zuvor aufgrund der Kristallstruktur vermutet worden war: Das Nukleosom erwies sich als deutlich „offener“; andere Arbeitsgruppen konnten das später mit röntgenkristallographischen Untersuchungen größerer Chromatineinheiten bestätigen. Mit unseren weiteren Untersuchungen konnten wir nachweisen, dass Modifikationen an den Histonen, die das Chromatin zugänglicher machen und damit Gene aktivieren, auch eine deutliche Öffnung der Struktur des Nukleosoms bewirken. Mit Computersimulationen konnten wir zwischenzeitlich zeigen, wie die Wechselwirkung zwischen den Histonen und der DNA die Nukleosomstruktur öffnen oder schließen kann.

Einzelne Moleküle sichtbar machen

FRET ist eine wichtige Methode, um strukturelle Informationen zu erhalten, erlaubt aber nur Aussagen über Mittelwerte einer großen Anzahl von Molekülen. Diese Einschränkung kann umgangen werden, beobachtet man einzelne Moleküle. Möglich macht das die „Einzelmolekülspektroskopie“. Mit ihr ist ein leistungsfähiges Werkzeug verfügbar, um Strukturübergänge und Wechselwirkungen in biologischen Molekülen auf sehr kurzen Längenskalen (ein bis zehn Nanometer) zu verfolgen, ohne die Moleküle auf Oberflächen oder durch Kristallisation immobilisieren zu müssen. Die Einzelmolekülspektroskopie ist von zentraler Bedeutung für die Biophysik und die physikalische Chemie und eine wesentliche Basis für die heute mögliche Lichtmikroskopie mit höchster Auflösung. Für diese Weiterentwicklung der Mikroskopie erhielten der deutsche Physiker Stefan Hell – außerplanmäßiger Professor an der Universität Heidelberg – und die amerikanischen Wissenschaftler Eric Betzig und William Moerner im Jahr 2014 den Nobelpreis für Chemie.

Typischerweise wird in einem Spektrometer eine Probe vermessen, die pro Kubikzentimeter Billionen von Molekülen enthält. Bei der Einzelmolekülspektroskopie hingegen verringert man das Volumen einer Probe derart, dass immer

THROUGH THE MOLECULAR JUNGLE

HOW DO PROTEINS FIND THEIR TARGET IN THE GENOME?

JÖRG LANGOWSKI

Switching genes in the cell on and off takes a complex interplay of changes in the genome structure and of proteins binding to specific target sites. The details of this molecular dance are not yet fully known, but they are essential for our understanding of how genes work in healthy and diseased cells. The Langowski group has developed a range of microscopy methods to investigate the dynamics of proteins acting on the genome.

One technique, light sheet microscopy, is used to visualise proteins as they move inside cells. A micrometre-thin slice of the sample is illuminated through special optics; fluorescent molecules in this slice are then imaged through a microscope lens onto a fast, highly sensitive camera that can record several thousands of images per second. Using this microscope, scientists in the group could show that certain transcription factors always dimerise when they bind to DNA, and that the lamin proteins form an elastic network that holds the genome together. Furthermore, single-molecule spectroscopy is used to observe the smallest units of the genome, the nucleosomes, as they change their structure to open or close access to the genetic information. The scientists discovered not only how nucleosomes open and close, but also how their stability is influenced by chemical modifications of the proteins and DNA in the genome.

Knowing how proteins act on genes in the living cell is not only fundamentally interesting to biologists and physicists; it is an important prerequisite for medical application. For example, gene activity is central for understanding cancer, and substances capable of interfering with such regulatory processes might one day become essential drugs. An accurate description of gene regulatory mechanisms – from the route travelled by a transcription factor to its interaction with DNA – will help us understand the cell as a functioning system that is more than the sum of its parts. This raises hopes of finding entirely new diagnostic and therapeutic procedures. ●

PROF. DR JÖRG LANGOWSKI studied biochemistry at Hannover Medical School. After spending a year at Stanford University, he returned to Hannover to earn his doctoral degree with a thesis on the mechanism of restriction endonuclease EcoR1. The post-doc phase of his career took him to the University of Washington in Seattle. Following another year at his former institute in Hannover, he accepted a position as Group Leader at the EMBL branch in Grenoble. In 1994 he became Professor of Biophysics at Heidelberg University and head of the Biophysics of Macromolecules division at the German Cancer Research Center. Jörg Langowski is an alumnus and tutor of the German National Academic Foundation (Studienstiftung des deutschen Volkes) and a former Heisenberg Fellow.

Contact: jl@dkfz.de

“Understanding gene regulation is not just of fundamental interest to biologists – it also raises hopes of finding new diagnostic and therapeutic procedures for frequent human illnesses.”

nur ein Molekül zu sehen ist. Dies ist zu erreichen mit einem Laserstrahl, der in die Probe geschickt wird, und mit einer Optik, die genau dort die Fluoreszenz beobachtet. Da sich die Moleküle thermisch bewegen, treffen sie pro Sekunde einige Male den Laserfokus. Dieses Aufeinandertreffen verrät ein kurzer Lichtblitz, den empfindliche Detektoren auffangen.

Ist das Molekül – wie bei unseren Nukleosomen – mit zwei verschiedenen Fluorophoren markiert, kann man aus dem Verhältnis der Lichtintensitäten im Donor- und Akzeptorkanal den FRET-Wert und somit für jedes einzelne Molekül den Abstand der beiden Farbstoffe ermitteln (single-pair FRET; spFRET). So lässt sich erkennen, ob alle Moleküle die gleiche Struktur haben – oder ob es verschiedene Unterstrukturen gibt, bei denen der Abstand unterschiedlich ausfallen wird. Mit einer reinen Mittelwertmessung einer großen Anzahl von Molekülen wäre dieser Nachweis nicht möglich.

In unserer Arbeitsgruppe konstruierte Alexander Gansen ein hochleistungsfähiges spFRET-Gerät, das Katalin Tóth, Vera Böhm und Kathrin Tegeler in den letzten Jahren genutzt haben, um die möglichen Unterstrukturen von Nukleosomen und deren Übergänge systematisch zu vermessen. Damit ist es ihnen gelungen, ein detailliertes Modell der Öffnung von Nukleosomen aufzustellen. Anders als erwartet zeigte sich, dass das Nukleosom zunächst in einen Zustand übergeht, in dem noch alle acht Histon-Proteine, aus denen das Nukleosom besteht, an die DNA gebunden sind. Erst danach lösen sich die Histon-Proteine nacheinander von der DNA ab. In der lebenden Zelle befinden sich zu jeder Zeit etwa ein Prozent aller Nukleosomen in diesem offenen Zustand, der damit ein sehr guter „Angriffsort“ für Proteine ist, die mit der DNA wechselwirken sollen.

Die Kenntnis, wie Proteine im Zellkern Gene an- und abschalten, ist nicht nur allein von grundsätzlichem biologischen Interesse, sondern auch eine wichtige Voraussetzung für Anwendungen in der Medizin. Die Aktivität von Genen spielt beispielsweise bei Krebserkrankungen eine entscheidende Rolle, und Substanzen, die in solche Regulationsprozesse einzugreifen vermögen, könnten sich als wichtige Medikamente herausstellen. Ein genaues Verständnis der Genregulation – von den Wegen eines Transkriptionsfaktors bis hin zu seinem Wirkort und der Wechselwirkung mit der DNA – kann uns gekoppelt mit Computersimulationen dabei helfen, die Zelle als funktionierendes System zu verstehen, das mehr ist als die Summe seiner Teile. Dies lässt auf gänzlich neue Diagnose- und Therapieverfahren hoffen. ●

„Das Verständnis der Genregulation ist nicht allein von grundlegendem biologischen Interesse – es verspricht auch neue Ansätze für die Diagnose und Therapie häufiger Erkrankungen.“

DER OZEAN

IM LABOR

DER OZEAN IM LABOR

MESSEN MIT LICHT UND SCHATTEN

BERND JÄHNE

Aus den quantitativen Wissenschaften ist die Bildverarbeitung nicht mehr wegzudenken. Sie ist „das“ Mittel geworden, um komplexe zeitlich und räumlich variierende Prozesse zu erfassen und zu analysieren. Was die moderne Bildverarbeitung heute zu leisten vermag und welche Möglichkeiten neue Methoden schon in naher Zukunft erbringen werden, zeigt exemplarisch ein am Heidelberger Institut für Umweltphysik entwickeltes Verfahren zur Vermessung mikroskopisch dünner Grenzschichten an wellenbewegten Wasseroberflächen: Indem die Forscher Methoden zur Sichtbarmachung und spezifischen Beleuchtungstechniken mit der Bildverarbeitung kombinieren, können sie den Austausch von Spurengasen wie Kohlendioxid zwischen Luft und Wasser sichtbar machen.

S

Seit es die Wissenschaft gibt, nutzt sie Bilder, um Beobachtungen und Ergebnisse festzuhalten. Anfangs geschah dies in Form von Skizzen und Zeichnungen, Mitte des 19. Jahrhunderts jedoch revolutionierte die Erfindung der Fotografie den Umgang mit visuellen Zeugnissen. Erstmals konnten bildhafte Informationen objektiv festgehalten werden. Die quantitative Auswertung indes erfolgte zumeist mühsam manuell, was die Analyse beschränkte. Derzeit erleben wir eine zweite Revolution: Moderne Kameras erfassen Bilder digital, und die quantitative Auswertung übernehmen leistungsstarke Computer. Das Verarbeiten von Bildinformationen ist heute aus keiner quantitativen Wissenschaft mehr wegzudenken, und die Bildverarbeitung ist das Mittel geworden, um komplexe zeitlich und räumlich variierende Prozesse zu erfassen und quantitativ zu analysieren.

Bilder werden mit den unterschiedlichsten Verfahren und in allen Größenordnungen gewonnen - vom Satelliten in der Erdumlaufbahn bis hin zum Mikroskop auf dem Labor-tisch. Unabhängig von der Technik der Aufnahme stehen alle Anwender vor der gleichen Herausforderung: Zunächst müssen sie Methoden finden, um die relevanten Parameter in den Bildern sichtbar zu machen, und anschließend Algorithmen entwickeln, um ihre Ergebnisse mit dem Computer quantitativ auswerten zu können. Welche Möglichkeiten bildaufnehmende Messtechniken unter diesen Voraussetzungen eröffnen, soll am Beispiel der Untersuchung von Austauschprozessen dargestellt werden, die zwischen der Atmosphäre und den Weltmeeren stattfinden - einem Teilgebiet der Umweltphysik.

Unsichtbares sichtbar machen

Am Anfang unserer Forschungsarbeiten stand die Frage, wie umweltrelevante Spurengase zwischen der Atmosphäre und den Weltmeeren ausgetauscht werden. Zu den umweltrelevanten Spurengasen zählt Kohlendioxid, das in die Atmosphäre gelangt, wenn fossile Energieträger verbrennen. Das Grundproblem bei dieser Fragestellung ist: In der Atmosphäre und im Ozean wird das Kohlendioxid durch turbulente Strömungen schnell vermischt. Je näher es an die Meeresoberfläche kommt, desto weniger effektiv ist die Durchmischung. Schließlich ist sie so gering, dass die

„Wir haben Methoden entwickelt, mit denen sich Austauschprozesse in der Mikrometerdünnen Grenzschicht an der wellenbewegten Wasseroberfläche messen lassen.“

Moleküle nur noch durch ihre thermische Eigenbewegung transportiert werden. Dieser Prozess – er nennt sich molekulare Diffusion – erfolgt im Wasser um etwa vier Größenordnungen langsamer als in der Luft. Der „Flaschenhals“ für den Transport von Kohlendioxid – und aller anderen im Wasser nur wenig löslichen Spurengase – von der Atmosphäre in das Meer ist demnach die nur 20 bis 200 Mikrometer dünne Grenzschicht des Wassers an der Meeresoberfläche. Dort gilt es, die Konzentrationsfelder der gelösten Gase und die turbulente Wasserbewegung zu messen.

Wie aber lassen sich in einer derart dünnen Schicht, die sich zudem aufgrund der vom Wind erzeugten Wellen ständig auf und ab bewegt, Messungen durchführen? Mit bloßem Auge ist nichts von all diesen Prozessen zu sehen. Allenfalls ist grob die Neigung der Wellen an einer Modulation der Helligkeit zu erkennen, weil der Reflexionskoeffizient vom Winkel zwischen der Wasseroberfläche und der Blickrichtung abhängt. Alles andere bleibt verborgen und liegt trotz Licht im Dunkel.

In einem ersten Schritt müssen also Techniken zur Sichtbarmachung entwickelt werden. Dabei gilt es, alle relevanten Messgrößen einzubeziehen und sie mit geeigneten Verfahren in Helligkeit beziehungsweise Lichtfelder umzusetzen, die sich messen lassen. Unserer Arbeitsgruppe ist genau dies in den letzten Jahren gelungen: Wir haben Methoden entwickelt, mit denen nicht nur die vom Wind erzeugten Wellen und die durch brechende Wellen in das Wasser eingetragenen Blasen gemessen werden können, sondern auch die Strömung und die Konzentrationsfelder von in Wasser gelösten Gasen nahe der Wasseroberfläche.

Das Heidelberger Aeolotron

Solche Messtechniken lassen sich nur sehr schwer auf dem Ozean einsetzen – deshalb gilt es, den Ozean ins Labor zu bringen. Die zu betrachtende Grenzschicht selbst ist zwar äußerst dünn, dennoch muss die Versuchseinrichtung groß genug sein, um einigermaßen realistische Wellen erzeugen zu können. Dafür steht im Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg schon seit dem Jahr 1999 ein weltweit einmaliger Aufbau bereit – das nach Aeolus, dem griechischen Gott der Winde, benannte „Aeolotron“. Angetrieben von zwei großen Ventilatoren bläst der Wind in dieser „Windschleuder“ in einer Rinne im Kreis. Aufgrund der kreisförmigen Geometrie bauen sich die Wellen so lange auf, bis die durch den Wind eingetragene Energie mit der von den Wellen in Turbulenz umgewandelte Energie im Gleichgewicht steht. Dieses Gleichgewicht kann sich in herkömmlich verwendeten linearen Windkanälen nicht einstellen, da der Wind dort nur eine kurze Strecke weht und schnell am Ende des Kanals angekommen ist. Die künftige Herausforderung wird es sein, zumindest einen Teil der nachfolgend beschriebenen Techniken nicht nur im Labor, sondern auch auf dem Meer einzusetzen.

Vermessung kleinskaliger Prozesse

Wellen lassen sich messen, indem man die Reflexion oder Brechung der Lichtstrahlen an der Wasseroberfläche bestimmt. In der Fachsprache werden diese Verfahren „Shape from Shading“ genannt: Gestalt durch Schattierung. Mit Hochgeschwindigkeitskameras und einer besonders hellen LED-Lichtquelle ist es uns kürzlich gelungen, Wellen mit über 1.500 Bildern pro Sekunde

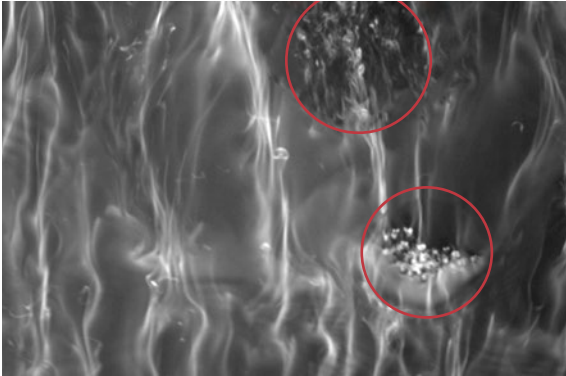
Dritte Säule der Wissenschaft:

Das Wissenschaftliche Rechnen

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

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

www.iwr.uni-heidelberg.de



Erstmals ist es Heidelberger Wissenschaftlern des Instituts für Umweltphysik gelungen, direkt sichtbar zu machen, wie Spurengase von der Atmosphäre ins Wasser transportiert werden. Die räumlichen Muster zeigen die Struktur der oberflächennahen Turbulenz. Dabei sind zwei Ereignisse zu sehen (rot eingekreist), bei denen die geordnete Wellenbewegung in Turbulenz zerfällt – ein Vorgang, der auch als mikroskaliges Wellenbrechen bezeichnet wird.

aufzunehmen. Das erlaubt es, selbst die Frequenzen und Wellenlängen kleinster Kapillarwellen zu messen.

Brechende Wellen schlagen Blasen in das Wasser. Auch das muss bei der Messung berücksichtigt werden, denn die Blasen bilden eine zusätzliche Austauschfläche, sodass ein stark erhöhter Gasaustausch möglich ist. In unsere Berechnungen beziehen wir also auch die Anzahl der Blasen pro Radius oder Volumen ein sowie die Dauer, mit der die Blasen im Wasser bleiben. Zudem gilt es, die Strömung unmittelbar über und unter der Wasseroberfläche zu erfassen. Dies ist besonders schwierig, weil hier eine volumenhafte Messung unerlässlich ist. Dazu müssen wir die Komponenten der Geschwindigkeit des Strömungsfeldes abhängig von der Distanz zur Wasseroberfläche messen. Schließlich ist es die Aufgabe, die Konzentrationsfelder der gelösten Gase in der Grenzschicht zu bestimmen. Technisch ist das am aufwendigsten – und es hat einige Zeit gedauert, bis wir auch für dieses Problem eine Lösung fanden.

Die Grundidee ist einfach: Ein alkalisches Gas, beispielsweise Ammoniak, wird in geringer Konzentration in das Aeolotron gegeben und das Wasser im Kanal angesäuert. Nun wird ein Indikator hinzugegeben, der nur im alkalischen Bereich fluoresziert. Aufgrund der Absorption des alkalischen Gases Ammoniak wird ein von der Luftkonzentration abhängiger Teil der Grenzschicht alkalisch. Infolgedessen leuchtet ein einstellbarer Bruchteil der dünnen Grenzschicht mit einer Helligkeit auf, die proportional zur Grenzschichtdicke ist. Nach vielen Versuchen ist es unserer Doktorandin Christine Kräuter im Jahr 2014 gelungen,

„Die erste Revolution im Umgang mit Bildern war die Fotografie. Die zweite Revolution erleben wir heute mit modernen digitalen Kameras und leistungsstarken Computern. Eine dritte Umwälzung steht mit der neuartigen lichtfeldbasierten Bildverarbeitung bevor.“



PROF. DR. BERND JÄHNE studierte Physik in Saarbrücken und Heidelberg. 1985 wurde er an der Universität Heidelberg in Physik und sieben Jahre später an der TU Hamburg-Harburg in Angewandter Informatik habilitiert. Von 1988 bis 1994 hatte er eine Forschungsprofessur am „Scripps Institution of Oceanography“ in La Jolla (San Diego, Kalifornien) inne. Im Anschluss nahm Bernd Jähne eine Professur am Interdisziplinären Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen (IWR) und am Institut für Umweltphysik an, wo er das Wind/Wellen-Kanal-Labor leitet. Seit dem Jahr 2008 ist er zudem Mitgründer und koordinierender Direktor des Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) am IWR, einem sogenannten „Industry on Campus“-Projekt der Universität Heidelberg. Darüber hinaus ist er einer der stellvertretenden geschäftsführenden Direktoren des IWR.

Kontakt: bernd.jaehne@iwr.uni-heidelberg.de

dieses Verfahren mit einer hohen Bildqualität von bis zu 100 Bildern pro Sekunde am Aeolotron zu realisieren. Viele technische Schwierigkeiten waren dabei zu überwinden. Das schwache Fluoreszenzlicht etwa konnte nur in Kombination mit einem neuen Fluoreszenzindikator, einer sehr hellen gepulsten LED-Lichtquelle und mit hochempfindlichen Kameras gemessen werden (siehe Abbildung auf Seite 55).

Industrielle Anwendungen

Bei allen neuen Verfahren zur Aufnahme, Verarbeitung und Auswertung von Bildern stellt sich immer auch die Frage, ob es möglich ist, sie auf andere Anwendungsgebiete zu übertragen. So haben unsere ursprünglich für die Umweltphysik entwickelten Verfahren bereits vielfältige Anwendungen in der Industrie gefunden. Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung einer unserer Messmethoden in der Biotechnologie mit dem Ziel, Zellen direkt im Bioreaktor mit einem dort angebrachten Mikroskop zu zählen. Das Problem dabei ist, dass sich kein Messvolumen definieren lässt und im Bildausschnitt scharf wie unscharf abgebildete Zellen nebeneinander erscheinen. Genau vor diesem Problem standen auch wir, als es darum ging, die Größe und Anzahl der Gasblasen zu messen, die von den brechenden Wellen ins Wasser geschlagen werden. Schließlich entwickelten wir ein Verfahren, das die Unschärfe quantitativ erfassen, den Abstand der Teilchen von der Schärfenebene bestimmen und aus den unscharf abgebildeten Blasen auf deren tatsächlichen Durchmesser und ihre Größe schließen lässt. Diese Methode ließ sich unmittelbar auf den Bioreaktor und die Zellen übertragen.

Im „Heidelberg Collaboratory for Imaging Processing“, das im Jahr 2008 gegründet wurde, arbeiten wir gemeinsam mit acht Industriepartnern an grundlegenden Problemen der Bildanalyse. Anwendungen reichen von der industriellen Qualitätskontrolle über Fahrerassistenzsysteme bis hin zum Einsatz in Medizin und Biologie. Einer unserer aktuellen Forschungsschwerpunkte gilt dabei der optischen 3D-Messtechnik, denn ein einzelnes Bild verrät nur wenig über eine dreidimensionale Szene: Die Entfernung der Objekte geht verloren, wir wissen nicht, wie groß die Objekte sind, und wir können nur wenig über die optischen Materialeigenschaften der abgebildeten Objekte aussagen.

Sowohl in der optischen 3D-Messtechnik als auch in der „Computervision“ – dem maschinellen Sehen – wurden in den vergangenen Jahrzehnten enorme Fortschritte bei den Versuchen erzielt, die dreidimensionale Struktur einer Szene genau zu erfassen und präzise zu vermessen. Dabei standen zunächst geometrische Ansätze im Vordergrund. Bei „nicht kooperativen“ Oberflächen allerdings, also bei Oberflächen mit komplexen optischen Eigenschaften, die

Physikalische Untersuchung des Systems Erde

Das Institut für Umweltphysik (IUP) entstand im Jahr 1975 an der Universität Heidelberg – ein Ereignis, mit dem gleichzeitig der Begriff „Umweltphysik“ geprägt wurde. Ihre Anfänge als eigener Forschungszweig hatte die Umweltphysik in den 1950er-Jahren aus der Anwendung kernphysikalischer Messmethoden zur Untersuchung des Systems Erde nach physikalischen Gesichtspunkten genommen. Damals wie heute beschäftigt sie sich mit Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Fluss von Energie und Materie in unserer Umwelt. Das Wort Physik weist dabei auf den Blickwinkel hin, unter dem Umweltprozesse betrachtet werden.

Die Forschungsaktivitäten am Institut erstrecken sich auf ein weites Themenfeld – sowohl hinsichtlich der untersuchten Umweltbereiche als auch der verwendeten Untersuchungsmethoden. Erforscht werden die Physik von Transport- und Mischungsvorgängen sowie die Stoffumwandlung und der Energieaustausch innerhalb und zwischen einzelnen Umweltsystemen wie der Atmosphäre, dem Boden und dem Wasserkreislauf. Zu den verwendeten Methoden gehören unter anderem die Massenspektrometrie, die Gaschromatographie, die Spektroskopie und die Fernerkundung von Satelliten mittels Bodenradar sowie die Bildverarbeitung und die numerische Simulation in Zusammenarbeit mit dem IWR. Zum Studium kleinskaliger Austauschprozesse zwischen Ozean und Atmosphäre verfügt das IUP zudem über ein Wind/Wellen-Kanal-Labor – das Heidelberger Aeolotron, das von Professor Dr. Bernd Jähne geleitet wird.

www.iup.uni-heidelberg.de

nicht einfach ideal glatt oder ideal matt sind, versagen diese Ansätze. Derartige Oberflächen lassen sich nur mit einer sogenannten bidirektionalen Reflexionsverteilungsfunktion oder noch komplizierteren Funktionen beschreiben.

Unsere neue Technik im Bereich des „Computational Imaging“ – die lichtfeldbasierte Bildverarbeitung – macht es nun möglich, solche dreidimensionalen Szenen komplett zu beschreiben. Dieser innovative Ansatz, bei dem Lichtfelder anstatt Bilder aufgenommen werden, führt nicht nur zu einer umfassenden Theorie aller möglichen optischen 3D-Aufnahmesysteme – mit ihm gelingt es auch, die optischen Eigenschaften von Oberflächen direkt zu schätzen. Darüber hinaus wird es möglich, die Entfernung von Objekten zur Kamera zu bestimmen (3D-Kamera) und bisherige Grenzen der Tiefenschärfe konventioneller Objektivs zu überwinden.

THE OCEAN IN THE LAB

MEASUREMENTS WITH LIGHT AND SHADOW

BERND JÄHNE

From ancient times, science has always used images to document observations and results. In the beginning, people made sketches and drawings, but in the mid-19th century, the advent of photography revolutionised the way we use visual documentation. For the first time, images could be recorded objectively. The quantitative analysis of the photographs, however, was a time-consuming manual task, which restricted analysis. Today we are experiencing a second revolution: Modern cameras record digital images that are subsequently analysed by powerful computers. Image processing has become an indispensable part of any modern quantitative science – it is the means of choice when it comes to the capture and quantitative analysis of complex processes that vary in time and space.

Such complex processes are encountered in environmental science. One research topic at the Heidelberg Institute of Environmental Physics is the question of how environmentally relevant trace gases are exchanged between the atmosphere and the world's oceans. The 'bottleneck' for the transport of trace gases from the atmosphere into the sea is a boundary layer of surface water that is only 20 to 200 micrometres thick. The processes taking place in this agitated boundary layer are investigated by environmental researchers in cooperation with the Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) at the Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR). Together the scientists developed a number of new methods to visualise these complex transactions and to process the resulting image sequences. The new methods allow them to measure not only water waves generated by the wind and the bubbles introduced to the water by breaking waves, but also the current near the water surface and concentration fields of dissolved gases in the thin boundary layer. In this way, the mechanism of air-water gas transfer can finally be understood. ●

PROF. DR BERND JÄHNE read physics in Saarbrücken and Heidelberg. In 1985 he completed his habilitation in physics at Heidelberg University, and seven years later obtained the same qualification in applied computer science from TU Hamburg-Harburg. From 1988 to 1994 he held a research chair at the Scripps Institution of Oceanography in La Jolla (San Diego, California). Following his return to Germany, Bernd Jähne accepted a chair at the Interdisciplinary Center for Scientific Computing (IWR) and the Institute of Environmental Physics, where he heads the wind/wave research facility. In 2008 he became co-founder and coordinating director of the Heidelberg Collaboratory for Image Processing (HCI) at IWR, an Industry on Campus project of Heidelberg University. He is also a deputy managing director of the IWR.

Contact: bernd.jaehne@iwr.uni-heidelberg.de

“The first imaging revolution was the invention of photography. The second revolution is taking place right now: it involves modern digital cameras and powerful computers. And a third transformation is fast approaching with novel imaging methods based on light fields.”

Das neue Verfahren sprengt die Grenzen bisheriger optischer Messtechniken. Mit ihm lassen sich weit mehr Informationen gewinnen als mit konventionellen Bildaufnahmen. Die lichtfeldbasierte Bildverarbeitung wird damit nach der digitalen Fotografie zu einer dritten Revolution im Bereich der Bildgewinnung führen: Schon in naher Zukunft ist mit neuartigen Systemen zur Bildaufnahme und Visualisierung in Wissenschaft und Technik zu rechnen sowie mit neuen Generationen digitaler Kamerasysteme für jedermann. Auch für unsere Forschungen zu Austauschprozessen an der Meeresoberfläche bedeutet das neue Verfahren einen Meilenstein: Mit ihm können wir Strömungen und Konzentrationsfelder, in denen die Austauschprozesse stattfinden, künftig nicht nur flächig, sondern dreidimensional sichtbar machen. Dies ermöglicht es uns, Mechanismen des Austauschs von Spurengasen an der Meeresoberfläche quantitativ zu entschlüsseln, die bisher im Dunkeln liegen. ●

HCI: Denkfabrik für die Bildverarbeitung

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

Das HCI besteht aus den vier Lehrstühlen für Bildverarbeitung der Universität sowie einer assoziierten Forschungsgruppe. Rund achtzig Mitarbeiter arbeiten an der Forschungseinrichtung – darunter zahlreiche Postdoktoranden, die über die Exzellenzinitiative und die beteiligten Industriepartner gemeinsam finanziert werden. Prof. Dr. Bernd Jähne ist Mitgründer sowie koordinierender Direktor des HCI und leitet hier die Arbeitsgruppe „Digitale Bildverarbeitung“.

www.hci.iwr.uni-heidelberg.de

„Mit Verfahren, die Lichtfelder statt Bilder aufnehmen, werden die Grenzen bisheriger optischer Messtechniken gesprengt.“

**LICHT
EIN**

**LICHT
AUS**

LICHT EIN, LICHT AUS

DER MOLEKULARE SCHALTER

BARBARA DI VENTURA & ROLAND EILS

Ein neuer Forschungsbereich, die „Optogenetik“, macht es möglich, das Verhalten von Zellen per Licht zu steuern. Heidelberger Wissenschaftler haben ein spezielles optogenetisches Verfahren entwickelt, mit dem sie Proteine gezielt im Innern von Zellen dirigieren können. Das eröffnet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten sowohl in der Grundlagen- wie in der angewandten Forschung.

D

Die „synthetische Biologie“ ist eine noch junge Disziplin. Sie hat es sich zum Ziel gesetzt, Zellen mit neuen, in der Natur nicht vorkommenden Eigenschaften auszustatten. Neben den klassischen Ansätzen der Naturwissenschaft werden dazu auch ingenieurwissenschaftliche Prinzipien angewendet: Wie Maschinenbauer nutzen synthetische Biologen standardisierte biologische Bausteine, um sie zu komplexen Schaltkreisen zusammenzufügen und in Zellen einzubauen, wo sie neue Funktionen übernehmen sollen. Die synthetische Biologie dient nicht allein dem Erkenntnisgewinn der Grundlagenforscher – sie bietet auch ein großes Anwendungspotenzial, etwa in der Medizin oder in der Umwelt- und Biotechnologie. Neue biologische Systeme können es beispielsweise möglich machen, Impfstoffe und Medikamente schneller zu entwickeln, chemische Grundstoffe kostengünstiger zu produzieren oder nicht fossile Brennstoffe zu erzeugen.

Optogenetik – ein Werkzeug der synthetischen Biologie

Ein Teilbereich der synthetischen Biologie, mit dem sich unsere Abteilung an der Universität Heidelberg intensiv beschäftigt, ist die Optogenetik. Dabei handelt es sich um eine neue Technik, die optische und genetische Methoden kombiniert, um Zellen gezielt zu beeinflussen. Das Feld der Optogenetik entwickelt sich zurzeit rapide, weil Licht ein ideales und vergleichsweise einfaches Mittel ist, um biologische Prozesse zu steuern: Im Unterschied zu chemischen Signalen kann Licht sehr präzise angewendet werden, es lässt sich zudem einfach wieder ausschalten oder neu verabreichen. Als „Lichtschalter“ nutzen Optogenetiker Proteine, die in der Natur vorkommen und die empfindlich auf Photonen reagieren.

Ursprünglich wurde die Optogenetik mit dem Ziel entwickelt, die Funktionen einzelner Neuronen im Gehirn zu verstehen. Als bahnbrechend gilt eine vor wenigen Jahren veröffentlichte Arbeit der amerikanischen Neurowissenschaftler Edward Boyden und Karl Deisseroth. Zusammen mit ihren Mitarbeitern war es den beiden Wissenschaftlern gelungen, neuronale Signale in definierten Nervenzellpopulationen mit kurzen Pulsen blauen Lichts auszulösen (Photostimulation). Dazu nutzten sie ein lichtempfindliches Protein, das einen Ionenkanal formt und „Channelrhodopsin 2“, kurz ChR2, genannt wird. ChR2 reagiert

„Optogenetische Werkzeuge lassen sich nutzen, um Proteine gezielt in den Zellkern zu dirigieren.“

auf Lichtteilchen (Photonen) und erlaubt damit, Signale weiterzuleiten oder zu unterdrücken. Aktuell werden von Optogenetikern in erster Linie Photorezeptoren genutzt – Proteine, die ihre Struktur natürlicherweise unter dem Einfluss von Licht verändern und äußere Lichtsignale in intrazelluläre Signale umwandeln können.

Einflussreiche Fusionen

Werden die lichtempfindlichen Abschnitte (Domänen) von Photorezeptoren mit denjenigen Domänen von Proteinen fusioniert, die in der Zelle eine bestimmte Funktion ausüben, wird es möglich, zelluläre Prozesse sehr gezielt durch Licht zu beeinflussen. Ein Beispiel ist eine Variante des Proteins „Rac1“, das sich mittels Photonen aktivieren lässt. Als optogenetisches Werkzeug lässt sich Rac1 beispielsweise nutzen, um die Organisation des zellulären Skeletts (Zytoskelett) zu steuern. Ebenso lässt es sich verwenden, um Zellen dazu zu veranlassen, sich zu bewegen. Andere optogenetische Werkzeuge, die wir in Heidelberg entwickelt haben, eignen sich, um Proteine gezielt in den Zellkern zu dirigieren.

In der Grundlagenforschung bietet sich die Optogenetik als Methode an, um die Dynamik von Proteinen in lebenden Zellen zu untersuchen und ihre Funktion in zellulären Signalwegen und Netzwerken besser zu verstehen. Ein Beispiel sind Transkriptionsfaktoren – Proteine, die Gene an- und abschalten können. Dazu müssen sie vom Zytoplasma in den Zellkern transportiert werden. Entscheidend für das grundlegende Verständnis zellulärer Prozesse ist also nicht nur das Wissen darüber, welche Struktur ein Protein hat, sondern auch, wann, wo und wie es sich innerhalb der Zelle bewegt.

LINuS – ein neuer Shuttle-Dienst

Um die Dynamik von Proteinen in der Zelle untersuchen zu können, haben wir gemeinsam mit dem Doktoranden Dominik Niopek aus unserer Gruppe ein neues System entwickelt: „LINuS“. Die Abkürzung steht für „light-inducible nuclear localization signal“. Der wichtigste Bestandteil von LINuS ist ein lichtempfindliches Protein: Phototropin 1 – in der Haferpflanze *Avena sativa* ist es daran beteiligt, dass sich die Pflanze in Richtung des Sonnenlichts bewegt (Phototropismus). Dieses pflanzliche Protein wurde schrittweise in einen Protein-Shuttle-Service umgebaut, der sich mit Licht steuern lässt und auch in menschlichen Zellen funktioniert.

Der Shuttle-Dienst funktioniert mithilfe eines Kernimport-Signals (*nuclear localisation signal*, NLS), das den Transport von Proteinen in den Zellkern vermittelt. Das Kernimport-Signal wird dazu an die Helix – einem bestimmten Molekülteil – der sogenannten LOV2-Domäne des Proteins Phototropin 1 angeheftet. Solange es dunkel ist, bleibt die Helix mitsamt dem angehefteten Kernimport-



PROF. DR. ROLAND EILS ist am Deutschen Krebsforschungszentrum und an der Universität Heidelberg in der Krebsgenomforschung aktiv. Darüber hinaus ist er geschäftsführender Direktor des BioQuant-Zentrums der Universität Heidelberg. Seine Abteilung entwickelt bioinformatische Methoden zur Analyse und Interpretation von Krebsgenomdaten und systembiologische Modelle zur Simulation zellulärer Prozesse. Roland Eils studierte Mathematik und Informatik an der RWTH Aachen und promovierte in Mathematik und Computerwissenschaften an der Universität Heidelberg.

Kontakt: r.eils@dkfz.de

„Ein pflanzliches Protein lässt sich schrittweise in einen Shuttle-Service umbauen, der mit Licht gesteuert wird und in menschlichen Zellen zum Einsatz kommt.“



DR. BARBARA DI VENTURA leitet die Arbeitsgruppe für Synthetische Biologie in der Abteilung von Roland Eils am BioQuant-Zentrum der Universität Heidelberg. Sie studierte Computer Engineering an der Universität La Sapienza in Rom und promovierte am European Molecular Biology Laboratory (EMBL) in Heidelberg. Danach arbeitete Barbara Di Ventura als Postdoc am Zentrum für Molekulare Biologie der Universität Heidelberg (ZMBH).

Kontakt: barbara.diventura@bioquant.uni-heidelberg.de

„Nicht allein die Struktur, auch die Dynamik der Proteine im Innern der Zellen entscheidet über ihre Funktion.“

Signal in der LOV2-Domäne verborgen. In diesem Zustand ist der Shuttle-Dienst inaktiv. Blaues Licht der Wellenlänge von 430 bis 495 Nanometer aber legt das Kernimport-Signal frei. Jetzt kann das Signal von der Kernimport-Maschinerie erkannt werden, und der Transport des markierten Proteins vom Zytoplasma in den Zellkern erfolgt. Wenn man LINuS beispielsweise an das rot fluoreszierende Rezeptorprotein „mCherry“ anfügt, lässt sich anhand der Fluoreszenz genau nachvollziehen, wie sich das Protein nach der Bestrahlung mit blauem Licht vom Zytoplasma in den Zellkern verlagert. Über die Intensität und die Dauer der Lichteinwirkung kann dabei die Stärke des Kernimport-Signals variiert werden – und damit auch die Menge des sich im Zellkern ansammelnden Proteins.

LINuS macht es möglich, Proteine schnell, präzise und reversibel in den Zellkern zu lenken. Deaktivieren lässt sich das Shuttle-System, indem das blaue Licht ausgeschaltet wird. Das Kernimport-Signal ist dann wieder in der LOV2-Domäne verborgen und für die Kernimport-Maschinerie nicht mehr zugänglich. Dies führt zu einer Erholung des Systems: Mit einem eingebauten Signal für den Kernexport (*nuclear export signal*, NES) wird das LINuS-markierte Protein aus dem Zellkern herausgebracht und sammelt sich wieder im Zytoplasma an. Mittels einer

gepulsten Bestrahlung mit blauem Licht lässt sich die Änderung der Lokalisation sogar mehrfach hintereinander auslösen. Bemerkenswerterweise funktioniert dieser Mechanismus nicht nur in einfachen Zellen wie der Hefe, sondern auch in verschiedenen Säugerzellen einschließlich der Zellen des Menschen.

Mittlerweile ist es uns gelungen, verschiedene Versionen von LINuS an die Bedürfnisse unterschiedlicher Proteine anzupassen und gleichsam zu personalisieren. Dies macht es möglich, komplexe raumzeitliche Proteindynamiken in lebenden Zellen detailliert zu untersuchen und lässt darüber hinaus an viele verschiedene Anwendungsmöglichkeiten denken.

Aktuell nutzen wir LINuS beispielsweise, um in einen sehr grundlegenden zellulären Prozess einzugreifen: in die Zellteilung (Mitose). Das ist auch von großer medizinischer Relevanz, etwa im Hinblick auf die Erforschung und Behandlung von Krebs. Krebszellen teilen sich übermäßig und unkontrolliert – womöglich lässt sich unsere neue Methode eines Tages nutzen, um das außer Kontrolle geratene Verhalten bösartig veränderter Zellen mit Lichteinsatz zu beeinflussen. Wir haben dazu in einem ersten Schritt Varianten von Proteinen konstruiert, die natürlicherweise die Teilung von Zellen, den Zellzyklus, steuern. Es zeigte sich,

LIGHT ON, LIGHT OFF

THE MOLECULAR SWITCH

BARBARA DI VENTURA & ROLAND EILS

A new technology called optogenetics enables researchers to control cell behaviour with light. Scientists at the University of Heidelberg and the German Cancer Research Center (DKFZ) have recently developed a special optogenetic method to translocate proteins into the nucleus of living cells. The function of many proteins is controlled by dynamic changes in their subcellular localisation, thus this new tool will allow the researchers to modulate the dynamics of individual proteins in living cells in order to better understand how they trigger specific cellular responses. The new system is called LINuS – ‘light-inducible nuclear localisation signal’.

LINuS is based on the principle that the nuclear localisation signal is active only when cells are stimulated with light. This system facilitates new studies on intracellular protein movement and is therefore of interest for both basic and applied research. The Heidelberg scientists are currently using LINuS to intervene in a very basic cellular process: cell division. To this end, they fuse proteins that are responsible for controlling the cell cycle with LINuS. The stimulation with light induces the transport of these proteins into the cell nucleus, triggering cell division. These investigations are of high relevance to medicine, for instance with regard to the treatment of cancer. Cancer is characterised by an excessive and uncontrolled division of cells – perhaps one day, LINuS may be used to influence the behaviour of malignant, out-of-control cells, paving the way for new therapies. ●

PROF. DR ROLAND EILS is a cancer genome researcher at the German Cancer Research Center and at Heidelberg University. He is also managing director of the BioQuant Centre of Heidelberg University. His department develops bioinformatical methods for the analysis and interpretation of cancer genome data and systems biology models for the simulation of cellular processes. Roland Eils studied mathematics and computer science at RWTH Aachen and holds a PhD in mathematics and computer science from Heidelberg University.

Contact: r.eils@dkfz.de

DR BARBARA DI VENTURA heads the research group for synthetic biology in the department of Roland Eils at the BioQuant centre of Heidelberg University. She studied computer engineering at the University La Sapienza in Rome and earned her PhD at the European Molecular Biology Laboratory (EMBL) in Heidelberg. Barbara Di Ventura worked as a post-doc at the Center for Molecular Biology of Heidelberg University (ZMBH).

Contact: barbara.diventura@bioquant.uni-heidelberg.de

“Optogenetic tools can be used to translocate proteins into the cell nucleus. This may open up new possibilities of treating cancer.”

dass bereits niedrige Konzentrationen eines Komplexes der Zellzyklus-Proteine „Cyclin B1“ und „CDK1“ die Zellteilung einleiten können. Um diesen Prozess mittels Licht zu steuern, haben wir Cyclin B1 und CDK1 jeweils mit LINuS fusioniert und somit unter die Kontrolle des licht-abhängigen Kernimport-Signals gestellt. Dabei haben wir die Proteine mit fluoreszierenden Farbstoffen markiert, um ihre Dynamik sichtbar zu machen. Nun konnten wir beobachten, dass der zeitgleiche Transport der beiden Proteine in den Zellkern den Beginn der Zellteilung auslöst. Nicht alle Zellen ließen sich via Licht zur Zellteilung veranlassen; der Anteil der sich teilenden Zellen im beleuchteten Bereich war jedoch deutlich erhöht.

Derzeit untersuchen wir weitere krankheitsrelevante Signalproteine mit der von uns entwickelten Methode - und hoffen auf neue Erkenntnisse, die sich therapeutisch nutzen lassen. ●

**„Licht ist ein ideales
und vergleichsweise
einfaches Mittel, um
biologische Prozesse
zu lenken.“**

**KÖMPLIXI-
TÄT
ALS
HERAUS-
FORDERUNG**

KOMPLEXITÄT ALS HERAUSFORDERUNG

IN DEN TIEFEN DES GEHIRNS

ANDREAS MEYER-LINDENBERG & WOLFGANG KELSCH

Das menschliche Gehirn, heißt es, ist das komplexeste Gebilde des Universums. Milliarden von Nervenzellen bilden das Zentrum unserer geistigen und seelischen Fähigkeiten, sind verantwortlich für unser Denken und Fühlen, für unser Bewusstsein, unsere Intelligenz und unsere Fähigkeit, uns zu erinnern. Wie das Gehirn funktioniert, ist trotz aller bahnbrechenden Erkenntnisse noch immer ein Geheimnis. Eine neue Untersuchungsmethode, die „Optogenetik“, verspricht, dem Gehirn so manch ein lang gehütetes Geheimnis zu entlocken und neue Ansätze zu finden, um Hirnerkrankungen erfolgreich zu behandeln.

E

Eine der faszinierendsten Eigenschaften des Gehirns ist seine Komplexität. Sie kommt zustande durch das Zusammenspiel von Nervenzellen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Die enorme Vielfalt an Nervenzelltypen ist in jedem Hirnareal zu beobachten, und jeder Nervenzelltyp hat seine eigene, charakteristische Molekülausstattung, die es ihm erlaubt, Informationen in einer bestimmten Art und Weise zu verarbeiten. Die Heterogenität der Nervenzelltypen und die Komplexität der Verbindungen zwischen Nervenzellen stellen die Hirnforschung vor eine große Herausforderung - sie sind die Triebfeder für die Entwicklung neuer Techniken, mit denen das Gehirn, seine Eigenschaften und seine Funktion untersucht werden können.

„Die Komplexität des Gehirns stellt die Forscher vor große Herausforderungen – sie ist Triebfeder für die Entwicklung neuer Untersuchungstechniken.“

Über viele Jahre hinweg bestand die vorherrschende Untersuchungsmethode darin, Nervenzellen elektrisch zu stimulieren. Damit lässt sich untersuchen, wie ein Nervenzelltyp den anderen beeinflusst. Die räumliche und zeitliche Präzision der elektrischen Stimulation jedoch ist begrenzt. Eine neue Technologie, die Methoden der Optik und der Genetik miteinander kombiniert, macht es jetzt möglich, die Funktion einzelner Nervenzellen zu identifizieren. Die neue Technik nennt sich „Optogenetik“ – und sie kann im doppelten Sinne Licht in das Gehirn bringen.

Manipulationen mit Licht

Wie sich mit der Optogenetik selbst subtile Unterschiede zwischen Nervenzellen erkennen lassen, zeigt das Beispiel des Hauptzelltyps im „Striatum“, einem Hirnareal, das an der Ausführung diverser Verhaltensantworten beteiligt ist. Der Hauptzelltyp des Striatums unterteilt sich in zwei Zellpopulationen. Diese stimmen in Form und vielen Eigenschaften überein, unterscheiden sich aber in der Ausbildung verschiedener Proteine, die als Rezeptoren für den Botenstoff Dopamin fungieren. Dopamin vermittelt Motivation, Belohnungserwartung und motorische Kontrolle. Mit den neuen optogenetischen Untersuchungstechniken gelingt es, die zwei Zellpopulationen des Striatums mit Lichtreizen gezielt anzuregen. Dabei zeigt sich, dass je nach vorhandenem Rezeptortyp Verhaltensmuster ausgelöst oder aber unterdrückt werden. Das bedeutet: Die Nervenzellen eines Hirnareals mögen zwar äußerlich

gleich aussehen und viele Eigenschaften teilen – dennoch können sie unterschiedliche, wenn nicht gar gegensätzliche Funktionen haben.

Die technischen Grundlagen, um einzelne Nervenzellen mit Lichtreizen anzuregen, wurden Mitte der 1990er-Jahre von den deutschen Biophysikern Ernst Bamberg und Peter Hegemann und dem Biologen Georg Nagel gelegt. Sie benutzten erstmals sogenannte Kanalproteine, über die Algen in ihren Zellmembranen verfügen und die mit Licht aktiviert werden können. Im Laufe des nachfolgenden Jahrzehnts wurden die lichtempfindlichen Kanalproteine so optimiert, dass sie sich verwenden lassen, um die Funktion von Nervenzellen zu untersuchen. Dazu werden die lichtempfindlichen Proteine auf gentechnischem Wege verändert und in die Nervenzellen eingebracht. Mithilfe kurzer Lichtpulse gelingt es, die Zellen gezielt anzuregen und „zum Feuern“ zu bringen oder zu hemmen.

Auf diese Art und Weise wird es möglich, das Verhalten von Nervenzellen zu studieren. Die mit Licht aktivierbaren Proteine erlauben es, die Zellen mit bisher unbekannter Präzision an- und abzuschalten und Einblicke in äußerst komplexe Nervenetze wie unser Gehirn zu gewinnen. Die Optogenetik schafft damit neue Ansatzpunkte, um psychiatrische Krankheiten zu erforschen. Schließlich lassen sich mit diesem Verfahren auch Hinweise darauf finden, wie krankhafte Veränderungen besser behandelt werden können.

Türöffner zur Welt der Neuromodulation

An der Entstehung und Ausprägung psychiatrischer Erkrankungen zentral beteiligt sind Botenstoffe, die die Aktivität der Nervenzellen modulieren. Diese „Neuromodulatoren“ sind zugleich die wichtigsten Angriffspunkte für die meisten der in der Psychiatrie erfolgreich eingesetzten Medikamente. Produziert werden Neuromodulatoren von kleinen, örtlich begrenzt auftretenden Nervenzellgruppen, ihre Effekte aber entfalten sie in vielen Hirnregionen, wobei sich die Wirkung eines Neuromodulators von Hirnareal zu Hirnareal unterscheiden

Neuer Sonderforschungsbereich zu funktionellen „Ensembles“

Im Sommer dieses Jahres hat der neue Sonderforschungsbereich „Funktionelle ‚ensembles‘: Integration von Zellen, Genese von Aktivitätsmustern und Plastizität von Gruppen ko-aktiver Neurone in lokalen Netzwerken“ (SFB 1134) seine Arbeit an der Universität Heidelberg aufgenommen. Beteiligt sind neben der Universität das Mannheimer Zentralinstitut für Seelische Gesundheit (ZI), das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ) und das Max-Planck-Institut für medizinische Forschung in Heidelberg.

Konnektivität ist das Hauptmerkmal der Netzwerke des Zentralnervensystems. Die enorme Vernetzung von Neuronen führt zu einer praktisch unbegrenzten Vielfalt möglicher Signalwege für den Informationstransfer. Dennoch unterstützt das Nervensystem hoch reproduzierbare, adaptive Verhaltensmuster, denen offenbar ebenso reproduzierbare Muster neuronaler Aktivität zugrunde liegen. Der Sonderforschungsbereich widmet sich der Hypothese, dass neuronale Netzwerke kurzzeitig stabile Ensembles ko-aktiver Neurone ausbilden, die verlässliche Interaktionen des Organismus mit seiner Umwelt ermöglichen. Die räumlich-zeitlichen Aktivitätsmuster dieser Ensembles sind hoch spezifisch festgelegt und stellen nach Meinung der beteiligten Forscher die entscheidende Verbindung zwischen neuronalen Zellen und systemischen Leistungen wie Gedächtnis, Bewegung und Wahrnehmung dar.

Ziel des neuen SFBs ist es, verschiedene funktionelle Systeme im Gehirn des Säugers zu analysieren, um grundlegende Charakteristika funktioneller Ensembles zu bestimmen und damit entscheidende Randbedingungen für adaptives Verhalten und Kognition zu identifizieren. Ein Schwerpunkt der Forscher ist es dabei, Mikroskopie-Techniken dahin gehend weiterzuentwickeln, dass sich auch die Aktivität tief gelegener Nervenzellgruppen messen lässt.

kann. Mit der Optogenetik lassen sich nun einer Reihe bislang offener Fragen zur Arbeitsweise der Neuromodulatoren angehen. Auch unsere Arbeitsgruppe am Zentralinstitut für Seelische Gesundheit in Mannheim, die eng mit der Universität Heidelberg verzahnt ist, macht sich das neue Verfahren zunutze.

Einer unserer Forschungsschwerpunkte ist die Untersuchung des Neuromodulators Dopamin, der als zentraler Angriffspunkt in der medikamentösen Therapie von Schizophrenie dient. Dopamin wird von einer kleinen, spezifischen Gruppe von Nervenzellen produziert: Die Zellen sind tief im Gehirn lokalisiert und erreichen mit ihren Fortleitungen das gesamte Vorderhirn, wo ein Großteil der Reizverarbeitung und der höheren Hirnfunktionen angesiedelt ist. Die Optogenetik erbrachte wichtige, zum Teil revolutionär neue Erkenntnisse auf diesem Gebiet. So zeigte sich beispielsweise, dass es sich bei den Dopamin produzierenden Nervenzellen nicht um eine einheitliche Population handelt: Während ein Teil der Zellen in einem bestimmten Verhaltenskontext massiv feuert, pausiert ein anderer Teil. Zudem konnten wir in optogenetischen Untersuchungen nachweisen, dass das von diesen Nervenzellgruppen ausgeschüttete Dopamin in einzelnen Hirnarealen gegensätzliche Wirkung hat – und unsere Studien erlaubten es uns, die zeitliche Wirkung der Dopaminausschüttung zu definieren. Das überraschende Ergebnis: Dopamin wirkt nicht langsam – wie bislang angenommen –, sondern löst im Zielareal in Millisekundenschnelle Änderungen der Aktivität aus.

Und noch ein Dogma fiel nach der optogenetischen Untersuchung: Nervenzellen, die Dopamin produzieren, setzen auch Glutamat frei – dieser Botenstoff erregt seine Zielzellen noch einmal um Zehnerpotenzen schneller als das bereits unerwartet rasch wirkende Dopamin. Diese neue Sicht der Neuromodulation birgt das große Potenzial, krankheitsrelevante Veränderungen des Botenstoffsystems besser zu verstehen und die Erkenntnisse für effektivere Therapien nutzen zu können.

Neurobiologie sozialer Interaktion

Ein zweiter Neuromodulator von großem klinischen Interesse ist das Hormon Oxytocin. Es wird von kleinen Nervenzellgruppen produziert, die zusammen mit vielen anderen Hormone produzierenden Nervenzellen im Zwischenhirn liegen. Derzeit untersuchen wir, ob sich Oxytocin – das unter anderem bei sozialen Interaktionen eine Rolle spielt – einsetzen lässt, um psychotherapeutische Verfahren zu unterstützen. Eine unserer aktuellen klinischen Fragestellungen dabei ist, ob sich mit Oxytocin Autismus behandeln lässt, eine Erkrankung, für die es bislang keine pharmakologischen Therapieansätze gibt.



PROF. DR. ANDREAS MEYER-LINDBERGER ist seit 2007 Professor für Psychiatrie und Psychotherapie an der Universität Heidelberg. Zudem ist er – ebenfalls seit 2007 – Vorstandsvorsitzender des Mannheimer Zentralinstituts für Seelische Gesundheit (ZI) sowie Ärztlicher Direktor der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie am ZI. Nach dem Medizinstudium und der Promotion in Bonn arbeitete er zunächst an den Rheinischen Kliniken Bonn, bevor er 1994 an das Universitätsklinikum Gießen wechselte. Von 1997 an folgte ein zehnjähriger Aufenthalt am National Institute of Mental Health in Bethesda, USA, sowie – parallel – die Habilitation an der Universität Gießen (1999). Zu den Forschungsschwerpunkten des Mediziners gehören die neuronalen Mechanismen von Schizophrenie und Depression, Bildgebungsverfahren in der Genetik, soziale Neurowissenschaften sowie neue Therapieverfahren psychiatrischer Erkrankungen.

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



DR. WOLFGANG KELSCH ist seit 2011 Leiter einer DFG Emmy-Noether Gruppe an der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie des Mannheimer Zentralinstituts für Seelische Gesundheit (ZI). Nach dem Medizinstudium und der Promotion in Heidelberg, London und Paris arbeitete er zunächst am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München, gefolgt von einem dreijährigen Forschungsaufenthalt am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, USA. 2008 wechselte er an das ZI und absolvierte eine Facharztweiterbildung in Psychiatrie und Psychotherapie parallel zu seinen Forschungsarbeiten. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklungsbiologie sensorischer Netzwerke sowie neurale Mechanismen psychiatrischer Erkrankungen.

Kontakt: wolfgang.kelsch@zi-mannheim.de

Weltweit anerkanntes Zentrum moderner Psychiatrie

Das Zentralinstitut für Seelische Gesundheit (ZI) in Mannheim verzahnt Krankenversorgung, Forschung und Lehre im Bereich psychischer Störungen. Mit dieser Zielsetzung wurde es im Mai 1975 als Landesstiftung des öffentlichen Rechts mit Mitteln des Bundes, des Landes Baden-Württemberg und der VolkswagenStiftung gegründet. In den vier Kliniken des ZI werden jährlich über dreitausend psychisch kranke Menschen aller Altersstufen mit modernsten Therapiemethoden stationär und teilstationär behandelt. Ergänzend bieten alle vier Kliniken ein breites Spektrum an ambulanten Behandlungen an. Gleichzeitig ist das Institut ein weltweit anerkanntes Zentrum innovativer Psychiatrieforschung; es ist eng mit der Universität Heidelberg verknüpft und pflegt zahlreiche wissenschaftliche Kooperationen mit nationalen und internationalen Einrichtungen.

Die Forscher am ZI haben es sich zur Aufgabe gemacht, neue Behandlungsmöglichkeiten für psychische Erkrankungen zu entwickeln und vorhandene Therapien zu verbessern. Vorrangiges Ziel ist es, psychotherapeutische und pharmakologische Wirkmechanismen zu identifizieren, zu etablieren und schließlich zu personalisieren. Die am ZI tätigen Professoren werden von der Universität Heidelberg unter Beteiligung des Zentralinstituts berufen. Sie sind Mitglieder der Universität und erfüllen Lehraufträge an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Ruperto Carola sowie an anderen universitären Einrichtungen in der Region.

www.zi-mannheim.de

Bei unseren parallel in Nagern durchgeführten Untersuchungen kombinieren wir optogenetische Techniken mit der funktionellen Magnetresonanztomographie. Dieses bildgebende Verfahren ermöglicht es, Aktivitätsänderungen einzelner Hirnareale gleichzeitig im gesamten Gehirn darzustellen. Die bisherigen Ergebnisse der Hirnbildgebung beim Menschen zeigen, dass Oxytocin jene Hirnareale moduliert, die bei sozialer Interaktion aktiviert werden. Substanzen, die die Ausschüttung und Wirkung von Oxytocin beeinflussen, sind folglich vielversprechende Kandidaten für die Behandlung psychischer Störungen mit Auswirkungen auf die sozialen Interaktionen. In diesem Zusammenhang interessieren uns auch neue Wirkstoffe, die am Oxytocin-Rezeptor binden, leicht zu verabreichen und lange wirksam sind. Wir hoffen, mit den optogenetischen Untersuchungstechniken die Funktion von Neuromodulatoren noch besser zu verstehen und weitere neue Angriffspunkte zu finden, die sich für die Therapie psychiatrischer Erkrankungen nutzen lassen.

„Nervenzellen mögen äußerlich gleich aussehen, dennoch können sie gänzlich unterschiedliche Funktionen haben.“

THE CHALLENGE OF COMPLEXITY

IN THE DEPTHS OF OUR BRAIN

ANDREAS MEYER-LINDENBERG & WOLFGANG KELSCH

The brain consists of a plethora of intermingled neuron types with heterogeneous functions and complex connectivity patterns. The heterogeneity and complexity pose an enormous challenge to system neuroscience, and to our aim of understanding the principles of neuronal dysfunction in distributed networks that are responsible for major psychiatric disorders. To advance our understanding of the involved circuits in health and disease, we need new techniques that allow us to specifically manipulate selected neuron types and monitor their contribution to systems function. One important advance in this field was the development of optogenetics in the last decade. Optogenetics refers to the method of genetically introducing a class of light-activatable channels called opsins into neurons. Opsins allow for the transient activation or silencing of individual neuron types at millisecond precision.

In particular, optogenetics has revealed the highly dynamic nature of neuromodulators. These messenger substances are the main target of psychiatric medications. Dynamic changes in neuromodulator release at sub-second time scales control network activity during various behaviours, e.g. when we engage in social interaction or anticipate rewards. One focus of our research at the Central Institute of Mental Health is to understand these systems in hopes of discovering the causes of mental disorders and identifying new targets for medication. To this end, we have developed minimally invasive optogenetic methods to analyse these circuits in rodents by means of functional magnetic resonance imaging. The possibility of optogenetically analysing the same circuits with the same imaging readout opens up new avenues for translational research. The novel opportunities made available to us by the advent of optogenetics promise to bring us closer to uncovering the alterations in brain function that give rise to psychiatric disorders. ●

PROF. DR ANDREAS MEYER-LINDENBERG joined Heidelberg University in 2007 as Professor of Psychiatry and Psychotherapy. In the same year, he became Managing Director of the Mannheim Central Institute of Mental Health (ZI) and Medical Director of the institute's Department of Psychiatry and Psychotherapy. After reading medicine and earning his doctoral degree in Bonn, Prof. Meyer-Lindenberg worked at the LVR Hospital Bonn before transferring to Gießen University Hospital in 1994. Starting in 1997, he spent ten years at the National Institute of Mental Health in Bethesda, USA, all the while completing his habilitation at the University of Gießen (1999). His research interests include the neural mechanisms of schizophrenia and depression, imaging procedures in genetics, social neurosciences and new therapies for psychiatric disorders.

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

DR WOLFGANG KELSCH has headed a DFG Emmy Noether group at the ZI's Department of Psychiatry and Psychotherapy since 2011. Kelsch read medicine and completed his doctoral training in Heidelberg, London and Paris. His first position took him to the Max Planck Institute of Psychiatry in Munich, followed by a three-year research stay at the Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, USA. In 2008 he transferred to the ZI and trained as a specialist in psychiatry and psychotherapy while keeping up with his research. His special interests include the developmental biology of sensory networks and the neural mechanisms of psychiatric disorders.

Contact: wolfgang.kelsch@zi-mannheim.de

“Optogenetic methods allow us to investigate complex neural networks and activate or silence neurons with unprecedented precision. In this way they provide us with new leverage points for the treatment of psychiatric disorders.”

Miniaturisierte Mikroskope

Seit Mitte der 1990er-Jahre gibt es eine weitere neue Technik, mit der sich Licht in die Tiefen des Gehirns bringen lässt: die Zwei-Photonen-Mikroskopie, eine Entwicklung des deutschen Physikers Winfried Denk, derzeit Direktor des Max-Planck-Instituts für Neurobiologie in Martinsried. Die neue Mikroskopie-Methode stellte einen Durchbruch dar, weil sich mit ihr die Aktivität von Nervenzellen im Gehirn unmittelbar beobachten lässt. Vor allem Hirnforscher versprechen sich davon neue und weitreichende Erkenntnisse. Bislang ließen sich damit allerdings nur Nervenzellen beobachten, die maximal einen Millimeter von der Hirnoberfläche entfernt sind. Für psychiatrische Fragestellungen ist das ein Problem, da die krankheitsrelevanten Regionen zumeist tiefer liegen. Neue miniaturisierte Mikroskope, an deren Weiterentwicklung Heidelberger Forscher im Rahmen eines 2015 gegründeten Sonderforschungsbereichs intensiv beteiligt sind, versprechen nun, diese Limitierung aufzuheben: Sie erlauben es, über einen Glasleiter die Aktivität von Nervenzellen selbst in der Tiefe des Gehirns zu messen. ●

„Die Optogenetik schafft neue Ansatzpunkte, um psychiatrische Krankheiten besser zu behandeln.“

Herausgeber

Universität Heidelberg
Der Rektor
Kommunikation und Marketing

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)
Prof. Dr. Beatrix Busse
Prof. Dr. Markus Hilgert
Prof. Dr. Marcus A. Koch
Prof. Dr. Carsten Könneker
Prof. Dr. Alexander Marx
Prof. Dr. Joachim Wambsganß

Redaktion

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

Gestaltung und Reinzeichnung

KMS TEAM GmbH, München

Druck

ColorDruck Solutions GmbH, Leimen

Auflage

6.000 Exemplare

ISSN

0035-998 X

Vertrieb

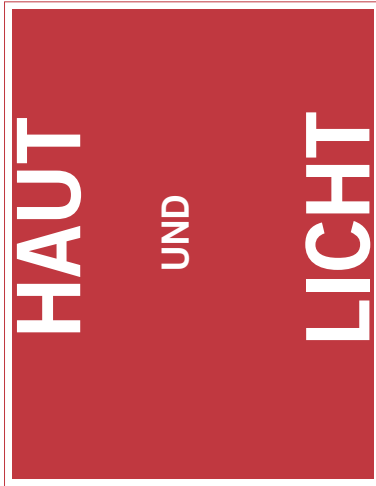
Universität Heidelberg
Kommunikation und Marketing
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg

Tel.: +49 6221 54-19026

kum@uni-heidelberg.de

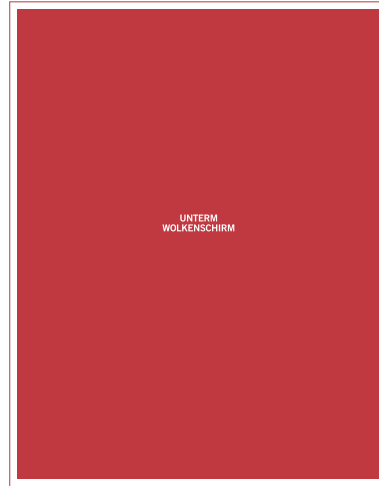
Das Magazin kann kostenlos unter oben genannter Adresse abonniert werden.

Im Internet ist es verfügbar unter www.uni-heidelberg.de/ruptocarola.



DERMATOLOGIE
HAUT UND LICHT
FREUND ODER FEIND?
ALEXANDER ENK & HOLGER HÄNßLE

78



UMWELTPHYSIK
UNTERM WOLKENSCHIRM
KLIMAWIRKSAME EISKRYSTALLE
KLAUS PFEILSTICKER & UGO TRICOLI

86



GERMANISTIK
DUNKLE DICHTUNG
GLANZ UND TRAUM DER SCHATTEN
ROLAND REUB

92



CHRONOBIOLOGY
CAVEFISH CLOCKS
TELLING TIME IN THE DARK
NICHOLAS S. FOULKES

100

SCHATTEN WELTEN



HAUT

UND

LICHT

HAUT UND LICHT

FREUND ODER FEIND?

ALEXANDER ENK & HOLGER HÄNBLE



PROF. DR. ALEXANDER ENK studierte Medizin und wurde an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster promoviert. Seit dem Jahr 2004 hat er eine Professur an der Ruperto Carola inne und ist Ärztlicher Direktor der Universitäts-Hautklinik Heidelberg. Alexander Enk ist derzeit Präsident der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft sowie der International Societies for Investigative Dermatology. Er ist Mitglied der Akademie der Wissenschaften Leopoldina und Sprecher des Sonderforschungsbereichs „Die Haut als Sensor und Effektororgan lokaler und systemischer Immunreaktionen“. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Immunologie der Haut.

Kontakt: alexander.enk@med.uni-heidelberg.de

Wo Licht ist, da ist auch Schatten – das gilt insbesondere für den Einfluss des Lichts auf die menschliche Haut. Sonnenlicht ist wichtig für unser Wohlbefinden, es sorgt dafür, dass die Haut lebenswichtiges Vitamin D produzieren kann und stimuliert unser Immunsystem. Licht kann die Haut aber auch schwer schädigen und Erkrankungen bis hin zum gefürchteten schwarzen Hautkrebs entstehen lassen. Aktuelle Forschungsarbeiten der Heidelberger Universitäts-Hautklinik gehen den bislang noch weitgehend unbekanntem Effekten des Lichts auf das Immunsystem nach und prüfen neue Methoden zur besseren Diagnose und Therapie von Hauterkrankungen.



DR. HOLGER HÄNBLE studierte Medizin und promovierte mit einer Arbeit im Institut für Hämatopathologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Derzeit ist er Oberarzt an der Universitäts-Hautklinik Heidelberg und lehrt als Privatdozent an der Ruperto Carola. Zudem ist er Direktoriumsmitglied der Internationalen Dermatoskopie-Gesellschaft. Die Forschungsschwerpunkte des Mediziners sind verbesserte Methoden zur Früherkennung von Hautkrebs. Darüber hinaus führt er Entwicklungsprojekte und klinische Studien im Bereich innovativer bildgebender Untersuchungsverfahren durch.

Kontakt: holger.haenssle@med.uni-heidelberg.de

„Die WHO zählt Solarien neben dem Rauchen von Tabak und der Inhalation von Asbest inzwischen zur Gruppe I der krebserzeugenden Stoffe.“

D

Das „Bad in der Sonne“ ist für viele Menschen gleichbedeutend mit Entspannung und Wohlbefinden. Die positiven Gefühle, berichtete kürzlich der amerikanische Wissenschaftler David Fisher in der Fachzeitschrift „Cell“, werden von Glückshormonen, sogenannten Beta-Endorphinen, vermittelt: Die Zellen der Haut produzieren die Hormone unter dem Einfluss des Sonnenlichts und geben sie ins Blut ab. Ein weiteres, womöglich bekannteres Beispiel für die positiven Effekte des Sonnenlichts ist die UV-induzierte Produktion von Vitamin D. Allerdings stehen diesen Wirkungen zahlreiche schädigende Einflüsse gegenüber, etwa eine beschleunigte Hautalterung oder das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken. Allein in Deutschland werden jährlich mehr als 250.000 neue Fälle diagnostiziert, Tendenz steigend. Auch in vielen anderen Ländern der Erde nimmt die Häufigkeit von Hautkrebs weiter zu.

Haut und Licht – eine komplexe Beziehung

Das Licht der Sonne, das unsere Haut erreicht, umfasst die Wärmestrahlung (infrarotes Licht), das sichtbare Licht (von

rot bis violett) sowie einen Teil der Ultraviolettstrahlung (UV-Strahlung; Wellenlänge 100 bis 380 Nanometer). Während die kurzwellige UV-C-Strahlung (100 bis 280 Nanometer) vom Ozon der Stratosphäre absorbiert wird, gelangen die langwellige UV-A-Strahlung (315 bis 380 Nanometer) und Teile der UV-B-Strahlung (280 bis 315 Nanometer) auf die Erde. Beide können somit auf unsere Haut einwirken.

UV-A-Strahlen verursachen Schäden im Gewebe sowie am Erbmolekül DNA in den Zellen und lassen lichtbedingte Hauterkrankungen, etwa die Sonnenallergie, entstehen. Ebenso können sie eine beschleunigte Zerstörung elastischer und kollagener Fasern in der Lederhautschicht veranlassen und zum „Photoaging“, der sogenannten Lichtalterung, beitragen. Darüber hinaus sind UV-A-Strahlen am Entstehen von Hautkrebs beteiligt. Neben der natürlichen Sonneneinstrahlung gelten auch Solarien aufgrund ihres hohen Anteils an UV-A-Strahlen als Risikofaktor für eine beschleunigte Hautalterung und Hautkrebs: Studien zeigen, dass bereits nach 20 Solarien-Sitzungen die übliche UV-A-Jahresdosis für die menschliche Haut um mehr als 100 Prozent überstiegen ist.

UV-B-Strahlen sind verantwortlich für den Sonnenbrand und tragen – über das Auslösen von Schäden am Erbmolekül DNA – ebenfalls zum Entstehen von Hautkrebs bei. Auch hier rückten die Solarien in den letzten Jahren in den Fokus der Wissenschaft: Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass Menschen, die vor ihrem 25. Lebensjahr regelmäßig Solarien benutzen, ein deutlich gesteigertes Risiko haben, an Hautkrebs zu erkranken. Das Risiko ist sowohl für den sogenannten weißen wie auch für den schwarzen Hautkrebs, das Melanom, erhöht. Die Weltgesundheitsorganisation hat Solarien deshalb mittlerweile in die Gruppe I der krebs-erzeugenden Stoffe, der Karzinogene, eingestuft. Zu dieser Gruppe zählen auch das Rauchen von Tabak oder die Inhalation von Asbest. Seit August 2009 ist Personen unter 18 Jahren die Benutzung von Sonnenbänken zudem gesetzlich verboten.

Vitamin D – wie viel Sonne ist genug?

Vitamin D ist ein besonderes Vitamin: Während die meisten Vitamine von uns mit der Nahrung aufgenommen werden müssen, kann Vitamin D von den menschlichen Hautzellen unter der Einwirkung von UV-B-Strahlen aus Cholesterinderivaten (7-Dehydrocholesterin) selbst hergestellt werden. Eine ausreichende Versorgung mit Vitamin D ist wichtig für den Kalzium- und Phosphat-Stoffwechsel, für die Mineralisierung der Knochen und zahlreiche Funktionen des Immunsystems.

Wie viel Sonne aber ist notwendig, damit der Körper ausreichende Mengen an Vitamin D erzeugen kann? Pauschal lässt sich diese Frage nicht beantworten, da neben dem Hauttyp – helle Hauttypen bilden bei gleicher UV-Dosis

mehr Vitamin D als dunkle Hauttypen – auch Einflüsse wie der Breitengrad, die Jahreszeit oder die Bewölkung eine Rolle spielen. Für Deutschland gilt gemeinhin eine Sonnenexposition von Gesicht, Unterarmen und Händen von fünf bis 25 Minuten in den Sommermonaten als ausreichend. Im alltäglichen Leben können diese Zeiten ohne weitere besondere Maßnahmen erreicht werden. Die konsequente Anwendung von Sonnenschutzmitteln zur Prophylaxe von Hautkrebs führt dabei nicht zu einem Mangel an Vitamin D – das haben zahlreiche Studien gezeigt.

Menschen, die sich überhaupt nicht der Sonne aussetzen, empfiehlt die Deutsche Gesellschaft für Ernährung, täglich 800 Internationale Einheiten Vitamin D über Nahrungsergänzungsmittel zuzuführen. Dies betrifft auch Menschen, die in den sehr nördlichen oder südlichen Hemisphären der Erde leben und somit über mehr als sechs Monate im Jahr kein Vitamin D via Sonneneinstrahlung erhalten. Hier jedoch ist die Ernährung traditionell reich an Speisen, beispielsweise an fetthaltigen Fischgerichten, die natürlicherweise hohe Mengen an Vitamin D enthalten, sodass eine künstliche Zugabe überflüssig ist.

Licht und Immunsystem

Mannigfaltige Effekte übt die Ultraviolettstrahlung auf das Immunsystem der Haut aus. Ein Beispiel ist der Einfluss der UV-B-Strahlen auf die „Langerhanszellen“ der Haut. Diese Zellen sind imstande, der körpereigenen Abwehr Antigene – etwa Bestandteile von Viren oder Bakterien – zu präsentieren und auf diese Weise komplexe Immunantworten auszulösen. UV-B-Strahlen jedoch verwandeln die wirkmächtigen Immunstimulatoren, sodass sie keine körpereigenen Abwehrreaktionen mehr hervorrufen oder diese sogar abschalten. Darüber hinaus veranlassen sowohl UV-A- als auch UV-B-Strahlen die Produktion von Entzündungsmediatoren, sogenannten Zytokinen, in der Haut: Diese Botenstoffe können das Immunsystem lokal aktivieren, beispielsweise beim Sonnenbrand, sie können die körpereigene Abwehr aber auch hemmen, etwa durch Freisetzen des gegenregulatorischen Botenstoffs Interleukin 10.

Welche Effekte überwiegen und wie das UV-Licht lokale Immunantworten auslöst, ist derzeit Gegenstand intensiver Arbeiten im kürzlich etablierten Sonderforschungsbereich „Transregio: die Haut als Koordinator lokaler und systemischer Immunantworten“ (SFB/TRR 156). In dem überregionalen Verbund untersuchen Wissenschaftler der Universitäts-Hautklinik Heidelberg, welche Rolle die Haut bei der Abwehr von Krankheitserregern spielt und wie kutane Abwehrzellen miteinander und mit anderen Zelltypen der Haut wechselwirken. Die Forschungsarbeiten sollen neue Einsichten bringen, in welcher Weise verschiedene Zelltypen der Haut Immunzellen und damit die vielschichtige Krankheitsabwehr des Körpers beeinflussen.

**„Moderne
Diagnose-
verfahren
erlauben es,
gesunde
Hautareale
mithilfe von
Fluoreszenz
präzise
von kranken
Bereichen
abzugrenzen.“**

An dem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten SFB sind auch die Universitäten Tübingen und Mainz sowie das Deutsche Krebsforschungszentrum Heidelberg beteiligt.

Licht für eine bessere Diagnose

So schädlich Licht für die Haut auch sein mag, so nutzbringend können seine physikalischen Eigenschaften für Diagnose und Therapie eingesetzt werden. Bei der „Dermatoskopie“ oder Auflichtmikroskopie – einem herkömmlichen Verfahren zur Diagnose von Hauttumoren – wird sichtbares Licht in die Haut gesendet. Das reflektierte Licht erlaubt einen Blick in die Haut mit bis zu 80-facher Vergrößerung. In letzter Zeit wurden neue bildgebende Untersuchungsverfahren entwickelt, beispielsweise die „konfokale Laserscanmikroskopie“. Diese liefert mithilfe eines 830-Nanometer-Lasers Bilder von der obersten Hautschicht (Epidermis) und der darunter liegenden Schicht (Dermis oder Lederhaut) in Echtzeit und mit hoher Auflösung bis hin zu den einzelnen Zellen.

Die Darstellung der zellulären Strukturen und der Architektur des Gewebes wird möglich aufgrund einer punktförmigen (konfokalen) Beleuchtung in einer frei

einstellbaren Eindringtiefe. Anschließend wird das reflektierte Laserlicht in horizontalen Schnittebenen abgebildet. Neben der detailreichen Darstellung von Haut- oder Entzündungszellen können so auch Blutgefäße sehr hell und kontrastreich sichtbar gemacht werden. Die konfokale Laserscanmikroskopie erhielt kürzlich als Medizinprodukt zur Untersuchung von Hauterkrankungen eine Marktzulassung in Europa.

Noch in einem experimentellen Stadium ist die „Zwei-Photonen-Spektroskopie“. Sie wird derzeit von der Heidelberger Hautklinik in einer Zulassungsstudie auf ihre Eignung zur Diagnose von Hauttumoren geprüft. Das Verfahren basiert auf der Fluoreszenzanregung von Melanin, dem in den Melanozyten der Haut enthaltenen Pigment. Die Anregung erfolgt mit zwei im Abstand von Nanosekunden verabreichten Photonen eines 800-Nanometer-Lasers. Da nur die Melanozyten der Haut Pigmente enthalten, sind auch nur sie in der Lage, die beiden kurz aufeinanderfolgenden Photonen zu absorbieren. Eine im Vergleich zu gutartigen Pigmentmalen abweichende Melaninfluoreszenz in Melanomen macht es möglich, das Verfahren zur Diagnose von Hauttumoren einzusetzen. Eine aktuelle Studie, an der auch die Heidelberger Hautklinik mitwirkt, soll nun

„So schädlich Licht für die Haut auch sein mag, so nutzbringend sind seine physikalischen Eigenschaften für Diagnose und Therapie.“

LIGHT ON OUR SKIN

FRIEND OR FOE?

ALEXANDER ENK & HOLGER HÄNBLE

Sunbathing – for many people this is the epitome of relaxation, well-being, and pleasure. However, besides the positive effects that sunlight has on our skin, including UV-B-dependent vitamin D production and local endorphin release, there are also detrimental effects such as tumour induction and immunosuppression. UV-A radiation contributes significantly to oxidative DNA damage and to an accelerated degradation of elastic and collagen fibres of the skin, an effect known as ‘photoageing’. Studies over the past two decades have shown that UV-A also plays a significant role in the development of skin cancer. Short-waved UV-B radiation, the chief cause of sunburn, tends to damage the DNA strands of epidermal cells by inducing the formation of abnormal linkages between neighbouring base pairs. UV-B also plays a key role in the development of skin cancer and a contributory role in tanning and photoageing. Both types of UV radiation have distinct immunological effects on the skin that we are only just beginning to understand.

True to the motto ‘fight fire with fire’, light-induced skin damage can be diagnosed and effectively treated by means of light. Examination techniques used in the detection of skin cancer include routine epiluminescence microscopy or more experimental approaches like reflectance confocal microscopy and two-photon spectroscopy, all of which use certain physical characteristics of light. If the UV damage is too severe for the repair mechanisms of the cells, large areas of the skin may be affected by early cancerous alterations in a process known as field cancerisation. As long as these alterations are limited to the upper epidermal layer, light-based photodynamic therapy has proven to achieve a high rate of complete remissions. While we have already learned a great deal about some of the effects of sunlight on our skin, we are still in the dark about many others. ●

PROF. DR ALEXANDER ENK studied medicine and obtained his PhD from the University of Münster. He has held a chair at Heidelberg University since 2004 and is the medical director of Heidelberg University Hospital's Department of Dermatology. Alexander Enk is the current president of the German Dermatological Society (DDG) and of the International Societies for Investigative Dermatology. He is a member of the Leopoldina Academy of Sciences and Humanities and speaker of the Collaborative Research Centre 'The skin as a sensor and effector organ orchestrating local and systemic immune responses'. His research focus is skin immunology.

Contact: alexander.enk@
med.uni-heidelberg.de

DR HOLGER HÄNBLE studied medicine and obtained his PhD from the Institute of Haematopathology of the University of Kiel. He is an attending physician at Heidelberg University Hospital's Department of Dermatology and teaches as an associate professor at Heidelberg University. Furthermore, he is a board member of the International Dermoscopy Society. His research focuses on improving methods for early detection of skin cancer. In addition, he conducts development projects and clinical trials of innovative imaging-based examination methods.

Contact: holger.haenssle@
med.uni-heidelberg.de

“As harmful as light can be for our skin, it also has physical properties that can be highly useful for diagnosis and therapy.”

die Datenbasis für die Weiterentwicklung der neuen Methode bis hin zur Marktreife schaffen.

Licht für die Therapie

Die „photodynamische Therapie“ ist ein lichtbasiertes Verfahren, das bereits seit mehreren Jahren zugelassen ist, um frühe Formen von Hautkrebs und oberflächliche Basalzellkarzinome der Haut zu behandeln. Dazu wird ein Photosensibilisator (Protoporphyrin IX) mittels einer Creme in die erkrankte Haut transportiert und das Zielareal anschließend mit Licht einer definierten Wellenlänge und Energie bestrahlt. Die Behandlung dauert in der Regel nur wenige Minuten. Das Wirkprinzip beruht auf einer Anregung der Porphyrinmoleküle via Licht in den Triplettzustand. In diesem Zustand bilden die Porphyrinmoleküle mit Sauerstoffmolekülen reaktive Sauerstoffspezies (ROS), zum Beispiel Singletsauerstoff und Radikale. Diese wiederum sind für die Zelle toxisch und lassen die Krebszellen absterben. Das lichtbasierte Verfahren zeigt eine hohe Wirksamkeit und führt in vielen Fällen zu einer kompletten Abheilung der bestrahlten Tumoren. Vor der Behandlung kann noch eine „photodynamische Diagnostik“ erfolgen. Sie macht über Fluoreszenz die Grenzen von erkrankten und gesunden Bereichen im Behandlungsareal sichtbar.

An weiteren Verbesserungen in Diagnose und Therapie wird derzeit gearbeitet. Entwicklungen, an denen auch die Hautklinik Heidelberg beteiligt ist, zielen beispielsweise auf eine kamerabasierte Teilautomatisierung der Hautdiagnose ab: Ähnlich wie in der Industrie, wo Hochleistungskameras Fehler auf den Oberflächen von Materialien analysieren, sollen Algorithmen zum automatisierten Erkennen von Hautkrebs beim Menschen entwickelt werden. Weitere Beispiele für neue Techniken sind die „Ramanspektroskopie“ oder die „Optoakustik“. Auch diese Verfahren werden derzeit von der Heidelberger Hautklinik im Rahmen kooperativer Forschungsarbeiten auf ihre Eignung für die Hautkrebsdiagnostik geprüft.

Bedeutsamer jedoch als alle Diagnoseverfahren ist es, das Bewusstsein für Maßnahmen zur Prävention von schädigenden Einflüssen des Lichts stärker in der Bevölkerung zu verankern – ganz im Sinne des Leitmotivs einer Präventionskampagne aus dem Jahr 2000: „Deine Haut: die wichtigsten zwei Quadratmeter Deines Lebens.“ ●

„Bedeutsamer als alle Diagnoseverfahren ist es, das Bewusstsein für präventive Maßnahmen stärker in der Bevölkerung zu verankern.“

**UNTERM
WOLKENSCHIRM**

UNTERM WOLKENSCHIRM

KLIMAWIRKSAME EISKRISTALLE

KLAUS PFEILSTICKER & UGO TRICOLI

Heidelberger Umweltphysiker haben ein neues Verfahren entwickelt, mit dem sich genauer als bisher voraussagen lässt, wie Wolken das Klima beeinflussen. Eine maßgebliche Rolle dabei spielen kleine Eiskristalle und ihre Fähigkeit, Licht in die Atmosphäre zu reflektieren. Wie Größe, Form und Zusammensetzung der Eispartikel diese Fähigkeit beeinflussen, können die Forscher nun mit hoher Präzision berechnen. Aber nicht nur die Umweltforschung profitiert von dieser neuen Methode.

U

Unsere Sonne liefert nahezu die gesamte Energie, um die Prozesse des Klimas anzutreiben und das Leben auf der Erde zu ermöglichen. Die Energie der Sonne wird dabei von elektromagnetischen Strahlen übertragen, die in der Erdatmosphäre und vom Erdboden absorbiert werden – oder aber die Strahlen werden direkt wieder ins Weltall zurückgeschickt. Wie kommt es nun zu dieser Reflexion? Nach den Regeln, die der deutsche Physiker Max Planck aufstellte, wird die absorbierte elektromagnetische Strahlung von Materie, deren Temperatur höher als der absolute Nullpunkt ist (minus 273,3 Grad Celsius), in alle Richtungen wieder emittiert. So geschieht es, dass die warme Erdoberfläche und die warme Atmosphäre die von der Sonne empfangene Strahlungsenergie in das kalte Weltall abstrahlen. Global sollten die absorbierte, also die nicht reflektierte Sonnenstrahlung sowie die emittierte Wärmestrahlung dabei in einem Gleichgewicht stehen.

Lokal und regional gibt es jedoch große Abweichungen von diesem Gleichgewicht. In den Tropen beispielsweise wird mehr Sonnenlicht von der Atmosphäre und dem Boden aufgenommen als Wärmestrahlung in das Weltall abgestrahlt werden kann. In den Polargebieten ist es genau umgekehrt. Derartige Überschüsse oder Defizite gleicht das Klimasystem der Erde mit Transportprozessen aus. Ein Beispiel für einen Energietransportprozess im Ozean ist der Golfstrom: Er befördert enorme Energiemengen aus dem tropischen in den nördlichen Atlantik. In der Atmosphäre geschehen solche Transportprozesse beispielsweise durch die „Fronten“, also den Wechsel von Hoch- und Tiefdruckgebieten, wie wir sie aus den mittleren Breiten kennen und die unser Wetter und Klima maßgeblich bestimmen.

Wollen wir nun die lokale oder regionale Energiebilanz des Erdbodens und der Atmosphäre berechnen, begegnen wir folgender Frage: Wie wird die Strahlungsbilanz durch Bewölkung verändert? Denn Wolken schirmen die Erde von den Sonnenstrahlen ab und reflektieren sie unmittelbar ins All. Demnach wäre zu erwarten, dass Wolken auf das Klima stets eine kühlende Wirkung haben. So einfach aber ist es nicht, weil Wolken auch die Abstrahlung der Wärme von der Oberfläche der Erde und den bodennahen atmosphärischen Schichten blockieren. Infolgedessen haben sie nicht nur einen kühlenden, sondern auch einen wärmenden Effekt auf das Klima. Beispiele für beide Phänomene kennt

„Unsere Arbeitsgruppe ist seit Jahren an Messungen von Wolken über dem Pazifik mit der NASA-Drohne ‚Global Hawk‘ beteiligt.“

jeder aus Alltagsbeobachtungen: Wolken an einem Sommertag senken die Temperatur – Winternächte mit Wolken aber sind stets wärmer als Winternächte ohne Wolken.

Eine besondere Herausforderung stellen hohe Wolken dar, sogenannte Altostratus und Zirren. Sie treten vor allem in den Tropen, vor Tiefdruckfronten in den mittleren Breiten oder auch als Kondensstreifen am Himmel auf. In diesen Wolkentypen sind zumeist kleine, wenige zehn Mikrometer große Eiskristalle enthalten. Untersuchungen haben nun gezeigt, dass es stark von der Größe, Form und Zusammensetzung dieser Eisteilchen abhängt, ob sich Wolken eher wärmend oder eher kühlend auf das Klima auswirken. Weltweit arbeiten Forscher intensiv daran, besser zu verstehen, wie sich solche Eisteilchen bilden, welchen Effekt sie auf die atmosphärische Strahlungsbilanz haben und was sie für das Klimageschehen bedeuten.

Entdeckungsreisen in den Wolken

Die Wissenschaftler nutzen zur Erkundung der Wolken verschiedene Verfahren vor Ort, aber auch Fernerkundungsmethoden wie hoch fliegende Drohnen oder Forschungsflugzeuge. In den letzten Jahren haben wir uns an Untersuchungen von Zirren über dem Pazifik mit der NASA Drohne „Global Hawk“ beteiligt. In den mittleren Breiten unternahmen wir zusammen mit Kollegen vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Messungen an Zirren mit dem hoch fliegenden



PROF. DR. KLAUS PFEILSTICKER studierte Physik an den Universitäten Ulm, Heidelberg und Beersheba (Israel). Im Jahr 1985 wurde er an der Universität Heidelberg promoviert, anschließend arbeitete er unter anderem am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg, am Forschungszentrum Jülich und am Aeronomy Laboratory der „National Oceanic and Atmospheric Administration“ in Boulder, USA. Seit 2005 ist er außerplanmäßiger Professor am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Physik und Chemie der oberen Troposphäre.

Kontakt: klaus.pfeilsticker@iup.uni-heidelberg.de

Forschungsflugzeug HALO des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt. Darüber hinaus studieren wir die Bildung von Eisteilchen und die Art und Weise, wie sie das Licht streuen, intensiv in Simulationskammern, etwa in der weltweit einzigartigen AIDA-Wolkenkammer am KIT in Karlsruhe.

Eine besondere Bedeutung bei unseren Untersuchungen kommt dem „Small Ice Detector“ (SID) zu, einem Instrument, das die Lichtstreuung einzelner Eiskristalle exakt vermessen kann. Um die erzielten Ergebnisse aber richtig interpretieren zu können, bedarf es zunächst umfangreicher theoretischer Simulationen der Lichtstreuung. Dies ist eine besondere Herausforderung, da die Eispartikel zumeist recht kompliziert geformt sind. Am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg haben wir zu diesem Zweck eine neuartige und präzise theoretische Methode entwickelt, die sich stark an die Berechnungen quantenmechanischer Streuprozesse anlehnt. Wir zerlegen dazu Eiskristalle in viele kleine Unterelemente, an denen einfallende Lichtwellen jeweils einzeln streuen. Die Wirkung, die umgebende Unterelemente dabei auf die einfallenden Lichtwellen haben, wird im Rechenvorgang phasengenau berücksichtigt. Später addieren wir alle Störungen und berechnen die ausgehende Lichtwelle.

Verglichen mit herkömmlichen physikalischen Methoden, die erfassen können, wie Licht an festen Teilchen streut, bietet unser Verfahren einige Vorteile: Zum einen dürfen die Unterelemente über unterschiedliche optische Eigenschaften verfügen, weshalb sich mit unserem Verfahren auch die Lichtstreuung von festen Teilchen mit Einschlüssen wie Fremdkörpern oder Luftblasen berechnen lässt; zum anderen können die festen Teilchen beliebige Formen haben. Denn es zeigte sich, dass die Genauigkeit der Methode nicht von der Gestalt der Partikel abhängt, sondern von der Anzahl der Unterelemente sowie der präzisen Beschreibung von Oberflächen und Einschlüssen der Eisteilchen. Mit unserem Verfahren lässt sich demnach die Lichtstreuung schrittweise immer besser berechnen, indem die Teilchen immer feiner in eine zunehmend größer werdende Anzahl von Unterelementen zerlegt werden, die Kontakt zur Oberfläche oder auch zu Einschlüssen wie Fremdkörpern und Luftblasen haben.

Dabei aber gibt es ein Problem: Je größer die Anzahl der untersuchten Unterelemente wird, desto aufwendiger und zeitintensiver wird der Rechenvorgang. Deshalb benötigt man für die Berechnung einen sehr leistungsstarken Computer, wie er beispielsweise mit dem BWHPC-Hochleistungsrechner der Universität Heidelberg zur Verfügung steht. Das Verfahren lässt sich auch beschleunigen, indem die Rechenprozesse parallel geschaltet werden: Die Lichtstreuung an den einzelnen Unterelementen lässt sich dann unabhängig von den Beiträgen der anderen Unterelemente ermitteln, und der Rechenvorgang kann auf viele Prozessoren verteilt werden. Die Summation aller Streubeiträge schließlich führt zum Ergebnis.

UNDER THE CLOUD COVER

THE CLIMATIC EFFECT OF ICE CRYSTALS

KLAUS PFEILSTICKER & UGO TRICOLI

Solar radiation drives the climate and supports life on Earth. The received amount of solar energy, however, is not evenly distributed across the globe, nor is the loss of energy by thermal radiation into space. Therefore energy needs to be transported by oceanic currents and the atmosphere from the excess regions, for example the tropics, to the defective polar regions. An important moderator of the climate's energy budget is the cloud cover. Clouds are known to shield the surface from solar radiation, while preventing thermal radiation from escaping into space. Clouds that occur at high altitude and are hence very cold, such as cirrus clouds containing solid ice crystals, are particularly intriguing objects. Their ability to reflect solar radiation back into space depends largely on the crystal habit, i.e. the size, shape, and roughness of the ice crystals.

A joint research team of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) and the Heidelberg Institute of Environmental Physics (IUP) is now tackling a new frontier in attempting to unravel how irregularly shaped ice crystals scatter light. The studies involve experiments performed both in the laboratory and the field, with supporting information drawn from a novel numerical method that helps scientists to accurately compute light scattering by irregularly shaped particles. At its core, the new method is based on tools known from the so-called local perturbation theory, which is often applied to solve scattering problems of complex quantum mechanical systems. It has the advantage of being able to compute light scattering by irregularly shaped particles to any degree of accuracy – provided the shape of the particle and its optical properties are known – but with the drawback of requiring increasingly large amounts of computing power. The method not only permits a more thorough investigation of light scattering by atmospheric ice crystals; it may also give rise to new applications in solving light scattering problems in surface physics, optical applications in medicine, and plasmonics in microelectronics. ●

PROF. DR KLAUS PFEILSTICKER read physics at the universities of Ulm, Heidelberg and Beersheba (Israel). He obtained his PhD from Heidelberg University in 1985 and went on to work at the Max Planck Institute for Nuclear Physics in Heidelberg, at Forschungszentrum Jülich and at the Aeronomy Laboratory of the 'National Oceanic and Atmospheric Administration' in Boulder, USA. In 2005 he accepted a position as adjunct professor at Heidelberg University's Institute of Environmental Physics. His research focuses on the physics and chemistry of the upper troposphere.

Contact: klaus.pfeilsticker@iup.uni-heidelberg.de

DR UGO TRICOLI studied physics at the universities of Modena and Bologna in Italy. He obtained his master's degree in 2011 with a thesis that he completed at the Niels Bohr Institute in Copenhagen. The research he did between 2012 and 2015 for his PhD thesis on light scattering by solid ice particles took him to Heidelberg University's Institute of Environmental Physics and the 'Fundamental Physics' graduate school (HGSFP) of the Heidelberg Faculty of Physics and Astronomy. Since November 2015 he works as a postdoctoral fellow at the Institute Fresnel of the University of Aix-Marseille in France.

Contact: ugo.tricoli@iup.uni-heidelberg.de

“Our new computational method allows us for the first time to efficiently simulate light scattering by irregularly shaped ice particles with a high degree of precision.”

Regelmäßig und unregelmäßig geformte Eiskristalle

Die neue Rechenmethode erbringt den entscheidenden Vorteil, dass sich erstmals auch die Lichtstreuung der in den Wolken recht häufig vorkommenden rauen, unregelmäßig geformten Eisteilchen genau beschreiben lässt. An regelmäßig geformten Eisteilchen führt die Lichtstreuung zu einem sogenannten Halo, einem hellen Ring, wie er am Himmel im Abstand von 22 Grad um das von der Sonne oder dem Vollmond einfallende Licht zu beobachten ist. Bei unregelmäßig geformten Eisteilchen hingegen tritt dieser Effekt nicht auf. Interessanterweise kann man die seltenen Halos vor allem im Winter in klaren Vollmondnächten beobachten. Dies hat mit der Vorgeschichte der Luftmasse zu tun: Die Bildung regelmäßig geformter Eisteilchen wird von den gemächlichen Vertikalbewegungen der Atmosphäre im Winter begünstigt, weil die Eisteilchen dann langsam – nahe dem Gleichgewicht zwischen ihrer Bildung und Verdunstung – wachsen können. Für unregelmäßig geformte Eiskristalle wird hingegen vermutet, dass ihr Entstehen auch von der Luftverschmutzung durch Schwebeteilchen (Aerosole) befördert wird.

Worin liegt der Fortschritt, den die Klimaforschung von der neuen Berechnungsmethode für die Lichtstreuung an festen und gleichzeitig unregelmäßig geformten Teilchen erwarten kann? Die Wirkung der hohen und damit kalten Wolken für die atmosphärische Strahlungsbilanz hängt entscheidend von ihrem Vermögen ab, Sonnenlicht zu reflektieren – also von der Art und Weise, wie die Wolkenpartikel Licht streuen. Unsere neue Methode hat gezeigt, dass unregelmäßig geformte Eisteilchen das Sonnenlicht wesentlich besser in die einfallende Richtung – also ins Weltall – zurückstrahlen als regelmäßig geformte Wolkenpartikel. Enthalten die in den Tropen weitverbreiteten Zirren viele raue Partikel, nimmt in der Strahlungsbilanz ihr kühlender Anteil folglich stark zu. Aber nicht nur für die Klimaforschung, auch für andere Forschungszweige und Anwendungen lässt sich unsere neue Rechenmethode verwenden – beispielsweise für Fragestellungen zur Lichtstreuung in der Mikrosystemtechnik und in der Oberflächenphysik, für lichtoptische Anwendungen in der Medizin oder auch für die Mikroelektronik. ●



DR. UGO TRICOLI studierte Physik an den Universitäten Modena und Bologna, Italien. Im Jahr 2011 schloss er seinen Master mit einer Arbeit ab, die er am Niels-Bohr-Institut in Kopenhagen durchführte. Für seine Promotionsarbeit über die Lichtstreuung an festen Eisteilchen forschte er in den Jahren 2012 bis 2015 am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg und an der Graduiertenschule „Fundamental Physics“ der Heidelberger Fakultät für Physik und Astronomie. Seit November 2015 ist er als Postdoktorand am Institut Fresnel der Universität Aix-Marseille in Frankreich beschäftigt.

Kontakt: ugo.tricoli@iup.uni-heidelberg.de

„Mit unserer neuen Rechenmethode lässt sich erstmals die Lichtstreuung von unregelmäßig geformten Eisteilchen hoch präzise beschreiben.“

DUNKLE

DICHTUNG

DUNKLE DICHTUNG

GLANZ UND TRAUM DER SCHATTEN

ROLAND REUB

Licht und Schatten – das sind für den deutschen Lyriker Johann Christian Friedrich Hölderlin nicht nur Phänomene der Wahrnehmung, sondern auch und vielleicht sogar vornehmlich mit diesen verbundene Konzepte, deren Mehrdeutigkeit er in seinem Werk exemplarisch entfaltet. Als „dunkle“ Dichtung gilt sein Werk so manchem, aber auch als Zeichen der „Umnachtung“ – zu Unrecht.

A

Auf semantischer Ebene erscheint der Kontrast zwischen Licht und Schatten in Hölderlins Dichtungen zunächst einandergelegt in den Bereich der Natur und den der Kunst. Es gibt natürliches und Kunstlicht und demgemäß auch mindestens zwei Arten von Schatten. Stellen, in denen sich Friedrich Hölderlin (1770–1843) auf natürliches Licht bezieht, finden sich zuhauf. Aber es gibt auch bedeutende Texte, in denen er die Opposition beider Lichtarten eigens betont. So etwa in der ersten Strophe der späten, neunstrophen Elegie „Brod und Wein“ – jener Strophe, die in Leo von Seckendorfs (1775–1809) „Musenalmanach für das Jahr 1807“ aus Hölderlins Manuskripten separat unter dem Titel „Die Nacht“ publiziert wurde. In ihr tauchen sowohl das Kunstlicht (vertreten durch die „erleuchtete Gasse“ und die „Fakeln“ in Vers 1 und 2) als auch das Naturlicht (zunächst in der Erwähnung des Mondes in Vers 14) auf.

Dabei ist stets darauf zu achten, dass Friedrich Hölderlin die Wörter „Licht“ und „Schatten“ sowohl buchstäblich als auch im übertragenen Sinn verwendet. Die zweite Strophe der erwähnten Elegie entfaltet bereits diese Mehrdeutigkeit des semantischen Bereichs in der Formulierung vom „besonnene[n] Tag“ (Vers 24) und bringt diesen „Tag“ im folgenden Vers mit dem Bedürfnis zusammen, sich von Zeit zu Zeit aus ihm auch zurückziehen zu können („zuweilen liebt auch klares Auge den Schatten“, Vers 25). Dahinter steckt eine Einsicht, die sich in Hölderlins Spätwerk zunehmend in den Vordergrund drängt: dass nämlich ein Übermaß an Licht gefährlich, ja – wie in seinem großen Gedichtkomplex „Patmos“ ausgeführt wird – sogar tödlich wirken kann, wenn es in seiner vollen Intensität ungehindert auf die Erde trifft. Das Bild des ausgedörrten, gespaltenen Feldes auf jener titelgebenden Sporadeninsel Patmos („Und wo der Sand fällt, und sich spaltet/Des Feldes Fläche“), auf der der Überlieferung nach der Evangelist Johannes die nach ihm benannte „Apokalypse“ aufschrieb, markiert als Konsequenz die äußerste Gefahr der Auflösung ins kohäsionslos Anorganische, die Erosion der potenziell Leben ermöglichenden Erde zu Staub. Erst Vincent van Gogh (1853–1890) hat eine vergleichbare Wahrnehmung der destruktiven Kraft des Lichts gehabt und ihr in seinen späten Bildern Ausdruck verliehen.

Demgegenüber hebt Hölderlins berühmter Brief an den befreundeten Dichter Casimir Ulrich Boehlendorff



PROF. DR. ROLAND REUß studierte Germanistik, Geschichte, Philosophie und Musikwissenschaft in Heidelberg und wurde 1990 über Friedrich Hölderlin promoviert. Anschließend leitete er das Projekt *Brandenburger Kleist-Ausgabe der Deutschen Forschungsgemeinschaft* und war Mitbegründer des *Heidelberger Instituts für Textkritik e.V.* Seit 2003 forscht und lehrt Roland Reuß am Germanistischen Seminar der *Freien Universität Berlin* (2008) und Gastwissenschaftler am *Kafka Research Centre der University of Oxford, England* (2011). Im Jahr 2014 wurde ihm der „Indie“-Preis unabhängiger Buchhandlungen für seine Verdienste um den Buchmarkt verliehen.

Kontakt: roland.reuss@urz.uni-heidelberg.de

(1775–1825) aus dem November 1802 das produktive Wirken des natürlichen Lichts in der „Heimath“ und die Gleichberechtigung der Sphäre des Schattens hervor:

„Die heimathliche Natur ergreift mich auch um so mächtiger, je mehr ich sie studire. Das Gewitter, nicht blos in seiner höchsten Erscheinung, sondern in eben dieser Ansicht, als Macht und als Gestalt, sondern in den übrigen Formen des Himmels, das Licht in seinem Wirken, nationell und als Prinzip und Schicksaalsweise bildend, daß uns etwas heilig ist, sein Drang im Kommen und Gehen, das Charakteristische der Wälder und das Zusammentreffen in einer Gegend von verschiedenen Charakteren der Natur, daß alle heiligen Orte der Erde zusammen sind um einen Ort und das philosophische Licht um mein Fenster ist jetzt meine Freude; daß ich behalten möge, wie ich gekommen bin, bis hierher!“

Das gemäßigte Licht und die Bäume des „schattigen Wald[s]“ („Patmos“), die von der Sonne aufgezogen werden, gehören im „heimathliche[n]“ Bereich zusammen. Die Bäume schützen zugleich den Boden, aus dem sie hervorgegangen sind, vor Verödung. Das Licht fällt nicht direkt auf die Erde, sondern vielfach gebrochen und abgemildert. Erst hierdurch kann es seine aufziehende Kraft wirklich fruchtbar werden lassen. Das sind, wenn man so will, „ökologische“ Einsichten *avant la lettre*. Am Reifungsprozess der Traube hat Hölderlin diesen Gedanken anschaulich werden lassen. In einem späten, unbetitelten Entwurf heißt es hiervon:

„Wenn nemlich der Rebe Saft,
Das milde Gewächs suchet Schatten
Und die Traube wachset unter dem kühlen
Gewölbe der Blätter,
Den Männern eine Stärke,
Wohl aber duftend den Jungfrau,
Und Bienen,
Wenn sie, vom Wohlgeruche
Des Frühlings trunken, der Geist
Der Sonne rühret, irren ihr nach
Die Getriebenen, wenn aber
Ein Stral brennt, kehren sie
Mit Gesumm, vielahnend
darob
die Eiche rauschet.“

Die Verwendung der Ausdrücke „Licht“ und „Schatten“ in den von mir gewählten Beispielen betont zwar den buchstäblichen Sinn, aber auch der übertragene Sinn ist in ihnen bereits vorgezeichnet. In der Rede vom „philosophischen Licht“ ist er manifest, aber auch „Lebenslicht“ und „Feuer vom Himmel“ im bereits zitierten Brief an Boehlendorff sind exemplarisch für diesen metaphorischen Gebrauch. Dieser fasst Licht „als Prinzip“. Hölderlin bezieht sich gegenüber

„Die programmatische Weigerung, sogleich vom Verständnis vereinnahmt zu werden, ist mitnichten eine beiher spielende Eigenschaft des Hölderlin'schen Werkes.“

seinem Briefpartner auf die eindrücklichen Beobachtungen während seiner Frankreichreise von 1801/1802, in denen er auch mit den zerstörerischen Nachwirkungen der niedergeschlagenen antijakobinischen Aufstände in der Vendée (der Gegend südlich der Loiremündung) konfrontiert war:

„Das gewaltige Element, das Feuer des Himmels und die Stille der Menschen, ihr Leben in der Natur, und ihre Eingeschränktheit und Zufriedenheit, hat mich beständig ergriffen, und wie man Helden nachspricht, kann ich wohl sagen, daß mich Apollo geschlagen.

In den Gegenden, die an die Vendée gränzen, hat mich das wilde kriegerische interessirt, das rein männliche, dem das Lebenslicht unmittelbar wird in den Augen und Gliedern und das im Todesgeföhle sich wie in einer Virtuosität fühlt, und seinen Durst, zu wissen, erfüllt.“

„Licht“ wird hier als etwas gesehen, das sich unmittelbar im menschlichen Körper realisiert und in ihm und durch ihn auf das „gewaltige Element“ antwortet, dem dieser ausgesetzt ist. Diese Eigentümlichkeit – der Mensch als ein Wesen, das ganz von Licht durchdrungen ist – macht das genaue Revers jener Stellen aus, in denen Hölderlin an die spätestens seit Buch elf der „Odyssee“ etablierte Vorstellung vom Hades als einem Reich „seelloser“ Schatten anknüpft. Nicht selten oszilliert der Aufruf dieser Tradition unentscheidbar zwischen der eigentlichen und der übertragene Bedeutung des Wortes, etwa in den Versen 25 bis 29 von „Andenken“:

„Es reiche aber,
Des dunkeln Lichtes voll,
Mir einer den duftenden Becher,
Damit ich ruhen möge; denn süß
Wär unter Schatten der Schlummer.“

In charakteristischer Ambiguität ist hier der scheinbar harmlose epikureische Zug zur Entspannung zugleich mit dem Wunsch ausgesprochen, das Bewusstsein auszulöschen und in die Gemeinschaft der Toten aufgenommen zu werden. Eindeutig die negative metaphorische Bedeutung betont dagegen die zweite Strophe eines der neun „Nachtgesänge“ (gedruckt 1803). In der Ode „An die Hofnung“ steht der vorzeitige Übergriff des Totenreichs in die Gegenwart eines als verfehlt resümierten Lebens im Zentrum. Gefragt wird in die Abwesenheit von Hoffnung hinein:

„Wo bist du? wenig lebt' ich; doch athmet kalt
Mein Abend schon. Und stille, den Schatten gleich,
Bin ich schon hier; und schon gesanglos
Schlummert das schauernde Herz im Busen.“

„Schatten“, das ist hier, was nach dem Tod als zweidimensionales Relikt vom durchleuchteten Leib noch übrig

„Gib deinem Spruch auch den Sinn: gib ihm den Schatten.“

Paul Celan

bleibt. Mit der dritten Dimension verliert der Körper auch sein belebendes Prinzip, das, was die Tradition „Seele“ nannte. Dass im näheren Kontext des metaphorisch gebrauchten Wortes gehäuft privative Bestimmungen („gesanglos“, „seellos“) auftauchen, ist charakteristisch – Attribute einer viel später von Samuel Beckett (1906–1989) als „Losigkeit“ gekennzeichneten Existenz, in denen die Abwesenheit des „Lebenslicht[es]“ als Symptom einer allgemeinen Privation zum Ausdruck kommt. Ihren äußersten Fluchtpunkt hat diese Sicht in Hölderlins Übersetzung einer berühmten Passage aus der achten Pythischen Ode des antiken griechischen Lyrikers Pindar, gedichtet auf Aristodemos, den Ringer aus Ægina:

„Tagwesen. Was aber ist einer? was aber ist einer nicht?
Der Schatten Traum, sind Menschen.“

In einer kühnen perspektivischen Umkehrung – einer Reflexion im Wortsinn – erscheinen die Menschen hier „von den Schatten“ her als schlechthin vergängliche, ephemere Wesen („Tagwesen“ ist die Übersetzung des Dorischen ἑπάμεροι, attisch ἑφήμεροι). Sie sind noch phantomer und noch flüchtiger als die Schatten selbst: deren Traum. Aus dieser radikalen Vergänglichkeit kann sich der Mensch – so Pindar und mit ihm Hölderlin – nicht selbst retten. Hierzu bedarf es einer Intervention von außerhalb, die sich seiner Kraft, seiner Kontrolle entzieht: des bedingungsweisen („wenn“) Erscheinens eines göttlichen Glanzes und eines mit ihm einhergehenden Lichts (αἴγλα). Noch im selben Vers, in dem von „Der Schatten Traum“ als der Seinsweise der Menschen die Rede war, setzt das „Aber“ (ἀλλ) dem vernichtenden Übergriff des Todes auf das Leben eine Grenze. Hölderlin betont die Bedeutung des unableitbaren, alles verwandelnden Ereignisses in seiner Übersetzung zusätzlich durch die Emphase einer vierfachen Alliteration:

„Aber wenn der Glanz
Der gottgegebene kommt,
Leuchtend Licht ist bei den Männern
Und liebliches Leben.“

Rettung erscheint hier als unverfügbare Gabe, als zum Leben „Hinzugegebenes“, sie unableitbares Ereignis, Gnade.

Neben den wörtlichen und übertragenen Verwendungsweisen des Wortpaars „Licht und Schatten“ existiert, drittens, auch eine poetologische Dimension des Begriffsfeldes. Sie spannt sich auf um das Phänomen der „dunklen“ Dichtung, mit dem Hölderlin und speziell sein Spätwerk berechtigterweise assoziiert wird. Die programmatische Weigerung, sogleich vom Verständnis vereinnahmt zu werden, ist keine beiherspielende Eigenschaft des Hölderlin'schen Werkes. Gerade weil es in ihm in ausgezeichneter Weise um die Wirklichkeit von Kommunikation geht, ist es darauf aus, sich allen mit den gängigen Redekonventionen einhergehenden Konformitätszwängen zu entziehen. Paul Celans (1920–1970) Forderung: „Gib deinem Spruch auch den Sinn: / gib ihm den Schatten.“ – formuliert in dem Gedicht „Sprich auch Du“ aus dem frühen Gedichtband „Von Schwelle zu Schwelle“ – hätte auch Hölderlin unterschrieben.

Angesichts der Allgegenwärtigkeit vernutzter, künstlich-rhetorischer Rede gibt es keinen direkt kommunizierbaren Sinn, sondern nur den Umweg über eine Sprache, die ihre eigene Dunkelheit, ihre intendierte Verschattung ausstellt. Hingegen sofortiges Verständnis zu fordern, unmittelbare Erhellung, ohne – wie Hegel (1770–1831) in der Vorrede zur „Phänomenologie des Geistes“ sagt – die „Geduld und Arbeit des Negativen“ auf sich zu nehmen, hieße das sprachliche Fundament jeder Verständigung genauso der Erosion zuzuführen, wie dies dem Boden der

DARK POETRY

A SPLENDID DREAM OF SHADOWS

ROLAND REUB

Light and shadow – in the eyes of the famous German poet Johann Christian Friedrich Hölderlin, these are not just phenomena of human perception, but also – and perhaps even primarily – related concepts whose ambiguity he addresses in his work. There is the literal meaning of the words that refers to the natural cycle of day and night and the seasons of the year. What strikes the reader is that the term ‘light’ does not carry purely positive connotations, but is used ambivalently, as Hölderlin is very aware of the danger inherent in excessive exposure to the sun. This realisation also plays a role on the second semantic level, where Hölderlin uses both terms to mark the difference between life and death (the ‘shadow realm’). In this context, ‘light’ – insofar as it is perceived as an offering or gift – is tied to the concept of ‘salvation’; excessive light, however, causes blackout, dazzlement and blindness.

On a third level, which is also reflected in Hölderlin’s work, the dichotomy between light and shadow takes on a poetological meaning. Traditionally, students of verse have always used the term ‘dark texts’ to designate poems whose formal, syntactic and semantic qualities preclude easy understanding. Hölderlin himself saw his poems as belonging to this tradition. ‘Shadow’ then designates the sphere of indirect disclosure that enables communication with his texts. The ‘darkness’ of these texts is no defect to be explained with allusions to Hölderlin’s mental state, as was the case for a long time; instead it is a certain type of poetic language that protects these texts from being consumed and used hastily, as if poetry were a commodity. The poet’s sojourn ‘in deep shadow’ (‘Deutscher Gesang’) requires a careful, judicious interpretation of this place if understanding is to be gained rather than forced. ●

PROF. DR ROLAND REUß read German studies, history, philosophy and music in Heidelberg and earned his PhD in 1990 with a thesis on Friedrich Hölderlin. He went on to head the 'Brandenburger Kleist-Ausgabe' project of the German Research Foundation, and co-founded the Heidelberg Institute for Textual Criticism (ITK). In 2003 Roland Reuß accepted a position at Heidelberg University's Department of German Language and Literature. He was an honorary professor of editorial theory at Freie Universität Berlin (2008) and a guest researcher at the University of Oxford's Kafka Research Centre (2011). In 2014 he received the 'Indie' award of independent bookshops for his services to the book market.

Contact: roland.reuss@
urz.uni-heidelberg.de

**“To be able to communicate
with Hölderlin’s poems,
we must accept their darkness
as a necessity.”**

Sporadeninsel Patmos unter dem Einfluss des sengenden Sonnenlichts widerfährt. Um in die Kommunikation mit Hölderlins Gedichten hineinzugelangen, ist gerade die Notwendigkeit ihrer Dunkelheit einzusehen. Indem sie das Moment der Verstehensdifferenz betonen, ermöglichen sie, an der Irritation, der Störung, überhaupt erst eine Einsicht in das, was Verstehen mit Recht genannt werden kann. Der Entwurf zum programmatischen Gedicht „Deutscher Gesang“ nennt als den Sitz des Dichters in diesem Sinn den „tiefen Schatten“:

„dann sitzt im tiefen Schatten,
Wenn über dem Haupt die Ulme säuselt,
Am kühlathmenden Bache der deutsche Dichter
Und singt, wenn er des heiligen nüchternen Wassers
Genug getrunken, fernhin lauschend in die Stille,
Den Seelengesang.“

Die lange Zeit herrschende Meinung, dass viele der späten Gedichte Hölderlins unverständbare Symptome der – wie es beschönigend hieß – „Umnachtung“ (das ist noch viel mehr

als Verschattung) seien, konnte erst durch die insistierende Bemühung der Hölderlin-Editoren und -Philologen in den letzten vierzig Jahren revidiert werden. Die konstitutive Bedeutung der ihnen eigenen Dunkelheit musste dabei ausdrücklich ins Bewusstsein gehoben werden. Von Krankheit konnte danach keine Rede mehr sein. Die konstitutive Dunkelheit von Hölderlins Gedichten spiegelt den Augenhintergrund der Verständigungsverhältnisse. ●

CAVEFISH

CLOCKS

CAVEFISH CLOCKS

TELLING TIME IN THE DARK

NICHOLAS S. FOULKES

The circadian clock is the chronometer of life. Among other things, this ‘biological clock’ determines our waking, sleeping and mealtimes, and it influences our heart rate, blood pressure and body temperature. The clock is set by external stimuli, usually light, to follow a 24-hour rhythm. But what about organisms whose habitats are so isolated from the earth’s surface that they are never reached by a single ray of sunlight? In their research, Heidelberg zoologists address the question whether these animals have no sense of time at all, or whether they use other natural ‘time givers’ to regulate their activity and biological processes.

A

Amongst extreme habitats on earth, some of the most fascinating and enigmatic are deep, subterranean caves where perpetual darkness reigns. Despite the reliance of life on sunlight, these environments are home to a strange collection of organisms ranging from bacteria to vertebrates. Many of these cave inhabitants share a set of striking physiological and anatomical adaptations for life under complete darkness, so-called troglomorphisms. These are subdivided into constructive and regressive traits. Constructive traits are frequently linked with enhancing non-visual senses which allow animals to navigate without light, as well as metabolic adaptations for surviving with limited sources of food. By contrast, regressive traits are associated with loss of light-dependent functions that are predicted to serve no purpose in complete darkness such as eye loss and reduced body pigmentation.

Why do animals inhabit such hostile environments? In the case of aquatic animals, it is thought that major colonisation of cave environments came under the selective pressure of climate change that left surface habitats uninhabitable. For example, major colonisation events have been linked with the Messinian salinity crisis during the Miocene (7 million years ago) and Pliocene (5 million years ago) eras, and inter-glacial aridity in the Pleistocene era (2.5 until 0.5 million years ago).

A group of several hundred unrelated fish species distributed throughout the world are amongst the most impressive examples of cave dwelling animals. Their aquatic habitats not only lack light, but also frequently feature high salinity, high temperatures, lack of oxygen, and high concentrations of natural toxins. As a result, these cavefish also tend to show a significantly enhanced tolerance of harsh environments. In this regard, it is misleading to consider all cave habitats equivalent. The geology of each cave is unique. It is defined by the degree and duration of isolation from surface water, the properties of the water, as well as food availability. Thus each cavefish population faces a very different set of challenges to its survival.

Isolation from the day-night cycle

One fundamental consequence of life in constant darkness is that it involves isolation from the day-night cycle. This

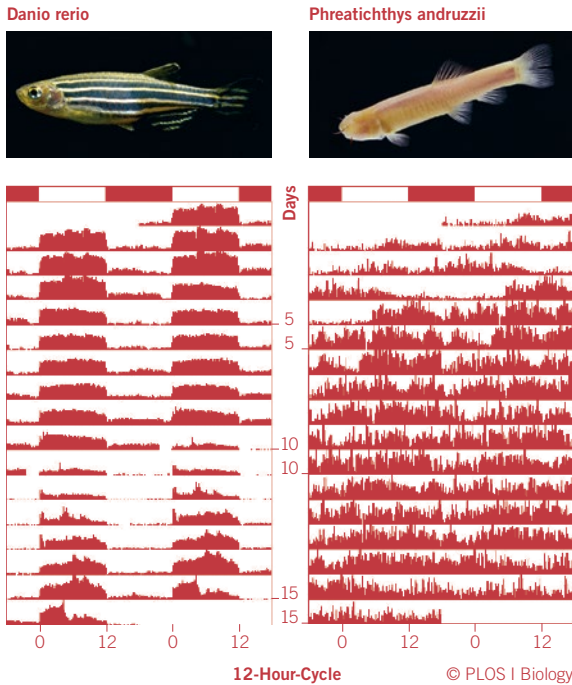


Figure 1: Actograms of cavefish (*Phreatichthys andruzzii*) and zebrafish (*Danio rerio*) showing locomotor activity under light-dark cycles proportional to the level of activity. Each horizontal bar represents activity during a 48-hour period with each day double-plotted to facilitate analysis.

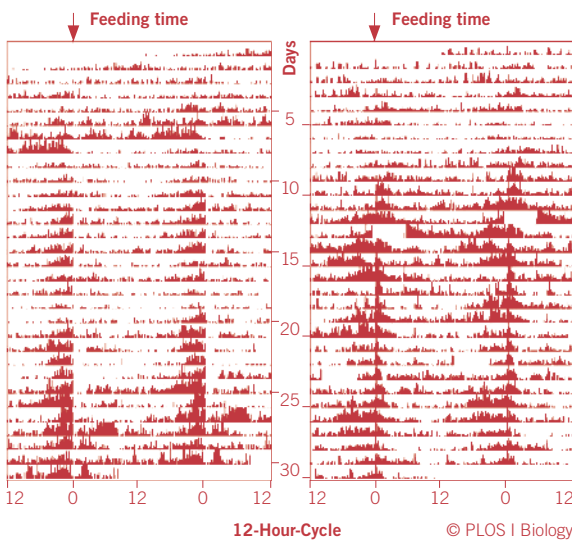


Figure 2: Actograms of cavefish (*Phreatichthys andruzzii*) and zebrafish (*Danio rerio*) showing locomotor activity under constant darkness but with daily feeding (indicated as feeding time). The height of each vertical bar is proportional to the level of activity. Each horizontal bar represents activity during a 48-hour period with each day double-plotted to facilitate analysis.

24-hour cycle has dominated life since its very origin and has shaped many aspects of the physiology and behaviour of organisms. One of the most ancient adaptations was the evolution of the circadian clock, an endogenous timing system that allows animals – and humans – to anticipate the progression of the day-night cycle. These clocks rely on daily resetting by environmental signals such as light and food availability to ensure that they remain perfectly synchronised with the environmental cycle. Do cavefish that live in completely dark, relatively unchanging environments still have clocks? If so, do they still fulfil some important function? Do cavefish clocks still respond to light or other environmental signals? Fundamental to addressing these questions is an understanding of the extent to which individual cave habitats are isolated from the day-night cycle. For example, although no regular sunlight may reach the cave water systems, it is still possible that food might be carried into the cave periodically by roosting bats, thereby imposing a 24-hour cycle on the cave environment.

In order to answer some of these basic questions, my group at the Heidelberg Centre for Organismal Studies (COS) and the Karlsruhe Institute of Technology – in collaboration with Dr Cristiano Bertolucci from the University of Ferrara, Italy – is studying an extreme cavefish species from Somalia, *Phreatichthys andruzzii*. This fish inhabits layers of water contained within limestone rock formations deep beneath the Somalian desert. The only contact between the water layers where *P. andruzzii* lives and the surface are small, deep natural wells in the desert. Based on the geology of the region, it is predicted that these animals have been isolated from the surface for around two million years as a result of desertification in that region of Africa. Consistent with the relatively long period of isolation in their cave environment, these fish show extreme troglomorphy such as a complete loss of eyes and body pigmentation as well as an ability to survive long periods of starvation.

Of course, collecting and studying these animals in their natural habitat is currently impossible. However, during the 1970s fish were collected from Somalia by Italian scientists and have since been maintained in aquaria at the universities of Florence and Ferrara in Italy. As a result, we have access to a large colony of adult fish. One characteristic of cave animals is longevity. Indeed, some of the adult *P. andruzzii* originally collected in Somalia around 40 years ago are still alive and reproductively active. However, we have also optimised methods for inducing reproduction in this species and so we also have access to eggs, embryos, larvae and juvenile forms.

Food as an alternative ‘timer giver’

Our first experiments revealed that upon artificial exposure to light-dark cycles, *P. andruzzii* failed to display activity rhythms that are typical of other surface fish such as the



PROF. DR NICHOLAS S. FOULKES has been a member of the Centre for Organismal Studies (COS), Heidelberg as well as a group leader at the Institute of Toxicology and Genetics at the Karlsruhe Institute of Technology since 2007. He originally trained as a zoologist at the University of Oxford, England, where he obtained his master and doctoral degrees. Following that, Nicholas Foulkes carried out his post-doctoral training at the ‘Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire’ in Strasbourg, France and held a Directeur de Recherche position at the ‘Centre national de la recherche scientifique’. In 2000 he came to Germany and launched his own research group at the Max Planck Institute for Developmental Biology in Tübingen.

Contact: nicholas.foulkes@kit.edu

zebrafish (*Danio rerio*) (see Figure 1, page 102). Importantly, this lack of an endogenous rhythm was also observed at the level of clock regulated gene expression in many tissues. Does this mean that *P. andruzzii* lack a functional clock or alternatively, do they have a blind clock? We addressed this question by establishing cell cultures from *P. andruzzii* fin clips and then artificially inducing clock function in these cells by transient treatment with serum.

These in vitro experiments revealed that *P. andruzzii* cells do indeed contain circadian clocks and confirmed that these clocks are effectively blind. By cloning and sequencing candidate photoreceptors, we were able to show that *P. andruzzii* carries mutations in two opsins: melanopsin (Opn4m2) and TMT opsin. Opsins are the key light-sensitive proteins of the rod and cone photoreceptor cells in the retina but are also widely expressed in fish tissues. Our data indicates that melanopsin and TMT opsin normally enable fish cell clocks to respond to light. However, our cell culture experiments also revealed another strange property of these cavefish clocks: they tick with an abnormally long, so-called infradian rhythm of around 40 hours instead of the normal rhythms of approximately 24 hours observed in most other organisms.

It is tempting to interpret this striking result as evidence that this species is in the process of losing its normal circadian clock. Alternatively, might there be some advantage to having a clock with these abnormal properties? The story takes a complex twist with our discovery that regular feeding (one meal provided at the same time each day) is sufficient to establish robust 24-hour activity rhythms (Figure 2, page 102). More specifically, each day the fish become more active just before food is available. Furthermore, in these regularly fed fish, robust 24-hour rhythms of clock gene expression are observed in most tissues. This striking result conflicts with the cell culture data that show abnormally long rhythms, and indicate that *P. andruzzii* does possess a strongly food-regulated circadian clock.

We speculate that it is of utmost importance for the survival of *P. andruzzii* to maintain a food-responsive 24-hour clock in their subterranean environment. Specifically, food might be available at a regular time each day and so it is vital that the fish are prepared to consume it. One key clue that would tend to support this idea is that the original collectors in Somalia were only able to catch the fish in the desert wells during the night. Could it be that the fish were driven to these wells each night where they may be able to catch food, but were prevented from going there during the day, when their bright pink colour would make them easy targets for predators? In such a scenario, having a robust 24-hour food-regulated clock would make the difference between life and death.

“The 24-hour cycle has dominated life since its very origin and has shaped many aspects of the physiology and behaviour of organisms.”

Blind, yet sensitive to light

So far, it would be tempting to conclude that *P. andrussii* is unable to detect or respond to light. However, this is far from the truth. The behaviour of these fish, like that of many other cave animals, is strongly influenced by light, although with a significant wavelength dependence. We have shown that *P. andrussii* exhibits a strong avoidance of green light, a so-called photophobic response. This is based on the normal expression of the photoreceptor *exorhodopsin* in certain brain structures of many fish species, including *P. andrussii*. The significance of this behavioural response is unclear, however it is tempting to speculate that green light avoidance may be linked with controlling the movement of the fish in their habitat, possibly preventing their access to the wells during the day. In this regard, photophobic behaviour might be essential to modulate their feeding or possibly even their reproductive behaviour. The quality of the water, perhaps enriched with algae, may lead to a filtering of light and a consequent enrichment of green wavelengths in the well water.

Different environments, different adaptations

An obvious question is whether the adaptations we have described in *P. andrussii* are encountered in other cavefish species which inhabit different habitats. So far, the circadian clock has only been studied in detail in one other cavefish species: the Mexican tetra (*Astyanax mexicanus*). The cave environments of this species differ fundamentally from those of *P. andrussii* in that they are not located beneath a desert. Instead they are in a mountainous region where surface water and rivers are connected with the cave water systems. Thus in this environment, the cave water systems are significantly less isolated than in the case of the Somalian fish.

Indeed, *A. mexicanus* has successfully colonised both surface and cave environments. The surface forms of this species have normal body pigmentation and eyes and they superficially look like different species when compared with their eyeless, pink-white cave relatives. The possibility of crossing these surface forms with the cave forms and generating fertile hybrid offspring has led to this species being used as a powerful model to study the genetic basis of troglomorphic phenotypes. However, the incomplete isolation of the cave and surface forms has also led to a genetic flow between the two. Combined with a shorter period of isolation in the cave habitat (predicted to be in the order of 100,000 years), this has resulted in less extreme troglomorphic phenotypes than those observed in *P. andrussii*.

To add even more complexity to this situation, these Mexican habitats represent a complex network of partially interconnected caves, and individual *Astyanax* colonies exist within each cave that experience different degrees of isolation and show different degrees of troglomorphic

phenotypes. Another important difference between the cave habitats in Somalia and Mexico is that the Mexican caves are also a roosting site for bats. These fly in and out of the cave systems at dawn and dusk in order to feed, and their return to the roosting site and the associated production of guano represents a regular supply of food for the fish. Thus in many ways, *A. mexicanus* has a closer link with the day-night cycle than *P. andrussii*.

Possibly reflecting these environmental differences, the cave forms of *A. mexicanus* still possess light-entrainable circadian clocks that show relatively subtle differences compared with normal surface fish. More specifically, under artificial laboratory light-dark cycle conditions, both surface and cave *Astyanax* exhibit cycles of clock gene expression which are more dampened in the cave forms. Curiously, the particular expression profiles of a range of clock genes are reminiscent of those observed under exposure to constant light. In the actual cave environments, certain *Astyanax* populations show no rhythmic clock gene expression but again display sustained upregulation of clock genes normally driven by light. The significance of these molecular changes remains unclear, but these findings reinforce the notion that cavefish adaptations related to circadian rhythms and photoreception are very much environment-specific.

The loss of eyes

Of course, the most striking phenotype related to light sensing in cavefish is the loss of eyes and visual photoreception. Characteristically, in most cavefish studied to date a complete eye is formed during early embryonic development, but subsequently lost. The mechanisms underlying this eye loss have been the subject of many studies in *Astyanax*. In this species, eye loss has been attributed

“The fact that fish can successfully colonise such extreme environments is a testament to the adaptability of living systems.”

From molecules to living systems

The Centre for Organismal Studies (COS) is the largest life science research centre at Heidelberg University. Researchers at the COS want to investigate the complex biological mechanisms of living systems across all scales and organisational levels: from the molecular and cellular level to the analysis of entire organisms within the context of their environment. The centre has 15 departments and is home to nine independent junior research groups; all in all, it consists of 40 research groups with nearly 400 members. The Centre for Organismal Studies was founded in 2010 through the merging of the Heidelberg institutes of zoology and plant sciences; it is one of the University's central research institutions.

www.cos.uni-heidelberg.de

DIE INNERE UHR DER HÖHLENFISCHE

ZEITMESSUNG IM DUNKELN

NICHOLAS S. FOULKES

Zu den extremsten Lebensräumen auf der Erde gehören unterirdische, ewig dunkle Höhlen, in die kein Lichtstrahl vorzudringen vermag. Und doch sind diese unwirtlichen Höhlen, in denen es weder Tag noch Nacht gibt, Heimat zahlreicher Organismen – unter anderem einer Reihe außergewöhnlicher Fischarten. Sie haben sich an ihre Umgebung angepasst und zeichnen sich durch auffallende sogenannte troglomorphen Merkmale aus, etwa fehlende Augen und Körperpigmentation sowie die Fähigkeit, lange Zeit ohne Nahrung auszukommen. Für Zoologen ergibt sich hieraus eine spannende Frage: Besitzen diese Höhlenfische ebenfalls einen endogenen Tag-Nacht-Rhythmus – die sogenannte „innere Uhr“ –, und wenn ja, wie wird dieser ohne den Einfluss des Sonnenlichts reguliert?

In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der italienischen Universität Ferrara und der Gruppe von Jochen Wittbrodt am Heidelberger Centre for Organismal Studies (COS) untersuchen wir die innere Uhr, die Lichtwahrnehmung und die Mechanismen des Augenverlustes bei „*Phreatichthys andruzzii*“. Dies ist ein Höhlenfisch, der in unterirdischen Gewässern in der somalischen Wüste lebt und eindrucksvoll belegt, wie anpassungsfähig Organismen sind. Unsere Arbeiten zeigen, wie wichtig die genaue Kenntnis von Lebensräumen ist, um die Adaptions-Strategien einer Spezies zu verstehen. Darüber hinaus gilt: Kennen wir die spezifischen Adaptationen eines Lebewesens, lässt dies Rückschlüsse auf die Umwelteinflüsse zu, denen es ausgesetzt ist. Zudem können wir von „*Phreatichthys andruzzii*“ zentrale Erkenntnisse über grundlegende molekulare Mechanismen gewinnen, etwa indem wir verstehen, wie genau es zu dem Verlust der Augen kommt. ●

PROF. DR. NICHOLAS S. FOULKES forscht seit 2007 am Heidelberger Centre for Organismal Studies (COS) sowie als Gruppenleiter am Institut für Toxikologie und Genetik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Nach dem Studium der Zoologie und der Promotion an der Universität Oxford in Großbritannien verbrachte er seine Postdoc-Phase am „Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire“ in Straßburg und arbeitete anschließend als „Directeur de Recherche“ am „Centre national de la recherche scientifique“. Im Jahr 2000 kam Nicholas Foulkes nach Deutschland und gründete eine eigene Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen.

Kontakt: nicholas.foulkes@kit.edu

„Ein Leben in ewiger Dunkelheit bedeutet ein Leben ohne natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus. Höhlenfische belegen eindrucksvoll, wie anpassungsfähig Organismen selbst unter widrigsten Umweltbedingungen sind.“

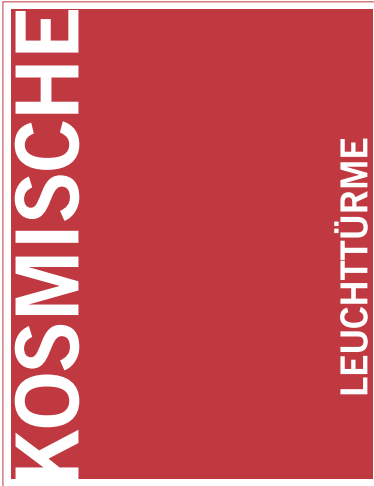
to interference during eye field patterning. Furthermore, apoptosis – cell death – in the lens appears to play a coordinating role.

In the case of *P. andruzzii*, Jochen Wittbrodt's lab at COS, University of Heidelberg, have studied the expression of marker genes involved in eye patterning, morphogenesis, differentiation and maintenance. In contrast to *Astyanax*, eye field patterning and evagination of the optic vesicles appears to proceed normally. However, the subsequent differentiation of retinal cell types is arrested during generation of retinal ganglion cells, which also fail to project correctly to the optic tectum – an area of the brain that receives input from the eyes and other sensory systems. The death of retinal cells progresses in a wave-like manner and eliminates progenitor cells that fail to differentiate. Thus, evolution has targeted late retinal differentiation events, indicating that there are several ways to discontinue the development and maintenance of an eye.

Many lessons to be learned

In conclusion, there are many lessons to learn from studying cavefish. First and foremost, these extraordinary eyeless, pink species are fascinating animals which catch the public's attention: Watching them swimming and navigating effortlessly through a complex environment, it is difficult not to be impressed. The fact that fish can successfully colonise such extreme environments is a testament to the adaptability of living systems. Secondly, cavefish are a powerful illustration of how knowledge of the natural habitat of animals is of fundamental importance for understanding the functional significance of specific adaptations. Furthermore, documenting combinations of specific adaptations can also help us to build a better picture of an animal's natural habitat – very much like reconstructing a crime scene in a detective story. For example, detailed knowledge of how *P. andruzzii* times its feeding behaviour and responds to certain wavelengths of light allows us to make predictions about their inaccessible and hostile subterranean environment. Finally, cavefish can teach us a lot about basic molecular mechanisms. Thus, identifying mutations in opsin photoreceptors in *P. andruzzii* helps us identify the photoreceptors that entrain clocks in normal fish species. In addition, through the knowledge of the mechanisms leading to eye loss we are able to understand the fundamental mechanisms that shape the normal development of the vertebrate eye. ●

“Knowledge of the natural habitat of animals is of fundamental importance for understanding the functional significance of specific adaptations.”



ASTROPHYSIK
KOSMISCHE LEUCHTTÜRME
HELLER ALS MILLIARDEN SONNEN
FRIEDRICH RÖPKE

110



KUNSTGESCHICHTE
CHARAKTERBAUTEN
DIE ÄSTHETIK VON LICHT & SCHATTEN
MICHAEL HESSE

118



AUGENHEILKUNDE
ART ODER ARTEFAKT?
IM AUGE DES BETRACHTERS
GERD U. AUFFARTH

128



KLASSISCHE ARCHÄOLOGIE
ES WERDE LICHT!
LEUCHTEN VOM ALTERTUM BIS IN DIE NEUZEIT
REINHARD STUPPERICH

136

LICHT GESTALTEN



KOSMISCHE

LEUCHTTÜRME

KOSMISCHE LEUCHTTÜRME

HELLER ALS MILLIARDEN SONNEN

FRIEDRICH RÖPKE



PROF. DR. FRIEDRICH RÖPKE ist seit März 2015 Professor für Theoretische Astrophysik am Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg und gleichzeitig Leiter der neuen Gruppe „Physik Stellarer Objekte“ am Heidelberger Institut für Theoretische Studien. Von 2011 bis 2013 war er Professor für Astrophysik an der Universität Würzburg. Zuvor leitete er eine Emmy-Noether-Arbeitsgruppe am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching bei München. Seine Forschung konzentriert sich auf die theoretische Beschreibung von Prozessen in Sternen und Supernova-Explosionen, die mithilfe von Simulationen auf Supercomputern untersucht werden. Im Jahr 2010 erhielt er den ARCHES-Preis des BMBF.

Kontakt: friedrich.roepke@h-its.org

Heller als komplette Galaxien können einzelne Sterne aufleuchten – um kurz darauf zu erlöschen. Doch was lässt solche „Supernovae“ entstehen? Heidelberger Astrophysiker simulieren den spektakulären Sternentod mithilfe des Computers und geben neue überraschende Antworten.

M

Man nennt sie die „Leuchttürme des Universums“ – die Supernovae, die für einige Tage oder Wochen hell am Himmel aufscheinen. Wie die Seefahrtszeichen senden sie ein Lichtsignal aus, das sie über weite Entfernungen sichtbar macht und uns ihre Position erkennen lässt. Der Lichtblitz einer Supernova gehört zu den hellsten Ereignissen im heutigen Universum – fast alle anderen astrophysikalischen Objekte werden hiervon in den Schatten gestellt. Eine Supernova ist für kurze Zeit so hell wie die gesamte Galaxie, in der sie sich befindet. Die gängige Erklärung der Astrophysiker für dieses beeindruckende Ereignis ist die Explosion des Sterns: Während er stirbt, leuchtet er so hell wie die hundert Milliarden Sterne in seiner unmittelbaren kosmischen Nachbarschaft.

Supernovae sind nicht nur faszinierende astronomische Ereignisse, sondern auch wichtige Objekte der Kosmologie, dem Teilgebiet der Physik, das verstehen will, wie das Weltall aufgebaut ist, woraus es besteht und wie es sich entwickelt. Um Antworten auf diese Fragen zu finden, gilt es, das Universum zu vermessen. Dabei geht es jedoch nicht allein darum, die Position astronomischer Objekte in ihrer Projektion am Himmel zu bestimmen. Die weitaus schwierigere Aufgabe ist es, ihre räumliche Verteilung und deren Entwicklung zu rekonstruieren.

Den Abstand eines Sterns von uns zu bestimmen, ist eine große Herausforderung. Viele Messmethoden funktionieren nur in unserer nahen kosmischen Umgebung, also in der Milchstraße und in Nachbargalaxien. Will man das Universum auf großen Skalen vermessen, sind extrem leuchtstarke Objekte nötig – eben jene Supernovae, die über große kosmologische Distanzen beobachtet werden können. Von besonderer Bedeutung sind dabei Supernovae des Typs Ia, denn im Unterschied zu allen anderen Supernova-Typen zeichnen sie sich neben ihrer Helligkeit zusätzlich durch eine weitere, nicht minder bemerkenswerte Eigenschaft aus – ihre ungewöhnliche Homogenität. Dies macht sie zu einem der wichtigsten Werkzeuge der Kosmologen.

Aus der Leuchtkraft auf die Entfernung schließen
Von der Beobachtung naher Typ-Ia-Supernovae wissen wir, dass ihre maximale Leuchtkraft nur wenig schwankt.

„Supernovae werden als gewaltige Explosionen von Sternen am Ende ihrer Entwicklung gedeutet.“

Sobald die Helligkeit eines Objekts bekannt ist, lässt sich seine sogenannte Leuchtkraftentfernung bestimmen. Dabei macht man sich den Umstand zunutze, dass Lichtquellen dunkler erscheinen, wenn sie aus größerem Abstand betrachtet werden. Aus der scheinbaren Verdunkelung einer Supernova im Vergleich zu ihrer intrinsischen Helligkeit kann man folglich direkt ableiten, wie weit sie entfernt ist. Das Lichtsignal, das Typ-Ia-Supernovae aussenden, ermöglicht es uns also, das Universum zu vermessen.

Es ist ein bemerkenswerter Zufall und glücklicher Umstand, dass eine Klasse extrem leuchtstarker Ereignisse aufgrund ihrer gleichmäßigen Helligkeit geeignet ist, mit ihnen Abstände zu vermessen. Wegen der endlichen Geschwindigkeit, mit der sich Licht ausbreitet, ist es nun aber so: Wenn wir weit entfernte astronomische Quellen beobachten, sehen wir nicht nur weit in den Raum hinaus, sondern auch weit zurück in die Vergangenheit. Das Universum dehnt sich aus, wie der amerikanische Astronom Edwin Hubble bereits in den 1920er-Jahren zeigen konnte. Somit wird die Wellenlänge eines Lichtsignals auf dem Weg zu uns gestreckt. Der Fachmann spricht von der „kosmologischen Rotverschiebung“, die durch das Verschieben der Linien in Spektren gut bestimmt werden kann. Misst man den Abstand eines entfernten Objekts und bestimmt gleichzeitig seine Rotverschiebung, wird es möglich, die Geschichte der Expansion des Universums zu rekonstruieren.

Diese Messungen erfolgten bereits in den 1990er-Jahren mit großer Präzision. Die Astronomen beobachteten entfernte Typ-Ia-Supernovae und kamen zu dem überraschenden Befund, dass sich das Universum in beschleunigter Weise ausdehnt. Diese Erkenntnis stellte das herrschende Weltbild der Physik grundsätzlich infrage und wurde im Jahr 2011 mit dem Nobelpreis für Physik bedacht. Als ursächlich für die beschleunigte Expansion gilt nach heutigem Kenntnisstand die „Dunkle Energie“ – deren physikalische Natur aber ist noch völlig unklar.

Die Frage nach dem physikalischen Mechanismus

Die bisherigen Studien zur Vermessung des Universums basieren auf der Annahme, genau zu wissen, wie hell Supernovae vom Typ Ia sind. In der Tat variieren sie in ihrer maximalen Leuchtkraft weit weniger als andere Supernovae-Typen. Dennoch gibt es Schwankungen, aufgrund derer es unmöglich ist, den Abstand wirklich präzise zu messen. Die Astronomen behelfen sich hier mit einem Befund, der aus der Beobachtung naher Supernovae-Ereignisse stammt: Hellere Ereignisse fallen in ihrer Leuchtkraft langsamer ab als dunklere. Diese Erkenntnis verwenden die Wissenschaftler, um ihre Abstandsmessungen zu kalibrieren.

Eine Erklärung für den unterschiedlichen Abfall in der Leuchtkraft steht bislang noch aus. Sie ist aber wichtig, um begründen zu können, dass die Beziehung, die zur Kalibrierung

„Für die Dauer einiger Tage kann eine Supernova so hell sein wie die gesamte Galaxie, in der sie sich befindet.“

eingesetzt wird, für alle Typ-Ia-Supernovae gilt – nicht nur für die beobachteten nahen, sondern auch für sehr weit entfernte Objekte. Immerhin beziehen die kosmologischen Abstandsmessungen Supernovae-Ereignisse ein, die sich abspielten, als das Universum nur halb so groß war wie heute. Es stellt sich also die Frage nach dem genauen physikalischen Mechanismus, der der astronomisch definierten Klasse von Typ-Ia-Supernovae zugrunde liegt. Mit der Physik der Typ-Ia-Supernovae beschäftigen wir uns bereits seit vielen Jahren; auch in unserer neuen im Januar 2015 im Heidelberger Institut für Theoretische Studien, kurz HITS, etablierten Gruppe „Physik stellarer Objekte“ gehen wir dieser Frage gemeinsam mit Wissenschaftlern des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg nach.

Zwei große stellare Energiequellen

Grundsätzlich ist die enorme Freisetzung von Energie, zu der es bei den zerstörerischen Supernovae-Ereignissen kommt, nur durch zwei große Energiequellen erklärbar: die gravitative Bindungsenergie beziehungsweise die nukleare Energie des stellaren Materials. Gravitative Bindungsenergie wird frei, wenn der Kern eines massereichen Sterns nach Verbrauch seines nuklearen Brennstoffs in sich zusammenfällt und zu einem kompakten Objekt wird: einem Neutronenstern oder einem Schwarzen Loch. Nukleare Energie wird frei, wenn Sternmaterial aus leichten Kernen im sogenannten thermonuklearen Brennen in schwere Elemente umgewandelt wird.

Alle Klassen von Supernovae werden dem ersten Mechanismus zugeschrieben – mit Ausnahme der Typ-Ia-Supernovae.

Beobachtungen deuten darauf hin, dass diese aus der Explosion Weißer Zwergsterne hervorgehen und somit ihre Energie aus thermonuklearem Brennen beziehen. Weiße Zwergsterne sind die vorläufigen Endstadien von Sternen mittlerer und geringer Masse. Bei ihnen zündet das Kohlenstoffbrennen nach der Fusion von Helium zu Kohlenstoff nicht, weil ihre Masse zu klein ist. Da die Energiequelle fehlt, verliert der Stern seine Stabilität, die durch thermischen Druck zustande kommt: Er stürzt zusammen, bis er etwa so groß wie ein Planet ist. Seine Masse aber ist immer noch vergleichbar mit der eines großen Sterns – somit wird die Dichte des Zwergsterns extrem hoch. Hier bewirkt ein quantenmechanischer Effekt – die sogenannte Entartung der Elektronen des stellaren Materials – eine Stabilisierung. Diese Stabilität ist nicht mehr abhängig von endlichen Energievorräten wie beim thermonuklearen Brennen. Deshalb sind Weiße Zwergsterne im Prinzip stabil bis in alle Ewigkeit.

Eine ebenso aktuelle wie fundamentale Frage der Supernovae-Physik ist: Wann und wie kann so ein Weißer Zwergstern trotz seiner Stabilität einen Zustand erreichen, in dem eine Explosion zündet und eine Typ-Ia-Supernova entsteht? Brennstoff ist ausreichend vorhanden. Die Fusion des kohlenstoffreichen Materials des Sterns zu Elementen der Eisengruppe – deren Kerne am stabilsten gebunden sind und bei denen die Möglichkeit der Energiegewinnung durch Fusion endet – kann prinzipiell eine Energiemenge freisetzen, die ausreichen würde, um die Sonne auf die Geschwindigkeit von 10.000 Kilometer pro Sekunde zu beschleunigen.

Das Rätsel der Weißen Zwerge

Bislang gibt es keine direkte Beobachtung eines explodierenden Weißen Zwergsterns, aus dem eine Typ-Ia-Supernova hervorgeht – dennoch können wir uns diesem Phänomen theoretisch nähern. Dies tun wir, indem wir mithilfe der weltweit derzeit leistungsstärksten Computer simulieren, unter welchen Voraussetzungen die Explosion eines Weißen Zwergsterns zustande kommen könnte und wie die thermonukleare Verbrennung im Detail abläuft.

Wir wissen beispielsweise, dass der Stern in einem engen binären System mit einem Begleiter wechselwirken muss, damit die Explosion zündet. Das gängige Modell besagt, dass Material von einem normalen Stern auf den Weißen Zwergstern hinüberströmt. Die Folge ist, dass die Masse des Weißen Zwergsterns stetig anwächst, bis sie sich schließlich der sogenannten Chandrasekhar-Grenze nähert. Bei noch höheren Massen können die entarteten Elektronen den Zwergstern nicht mehr stabilisieren. Nahe der Chandrasekhar-Grenze wächst die Dichte in seinem Zentrum gewaltig an, und letztendlich kommt es zur thermonuklearen Explosion.

Dieses Szenario wurde lange Zeit als Standard angesehen – auch deshalb, weil es die Homogenität der Beobachtungsgrößen von Typ-Ia-Supernovae erklären kann: Es ist immer die gleiche Menge an Brennstoff verfügbar, festgelegt durch die Chandrasekhar-Grenze auf rund 1,4 Sonnen-Massen. Mit aufwendigen dreidimensionalen Simulationen ist es der neuen Heidelberger Gruppe zusammen mit einem weltweiten Team von Mitarbeitern erstmals gelungen, systematisch und konsistent synthetische Beobachtungsgrößen vorherzusagen. Das erlaubt es nun, die theoretischen Modelle zu den Typ-Ia-Supernovae im direkten Vergleich mit astronomischen Daten zu überprüfen.

In den letzten Jahren sind zunehmend Zweifel an der Allgemeingültigkeit des Standardmodells aufgekommen. Systeme, in denen es tatsächlich möglich ist, einen Weißen Zwergstern zur Chandrasekhar-Masse zu bringen, sind in ihren Parametern sehr eingeschränkt. Sie sind deshalb wohl auch zu selten, um die beobachtete Anzahl von etwa einer Supernova vom Typ Ia pro Jahrhundert in einer milchstraßenähnlichen Galaxie – einem für kosmologische Verhältnisse recht häufigen Ereignis – zu erklären.

Bereits vor rund fünf Jahren konnte unsere Gruppe mithilfe komplexer Computersimulationen zeigen, dass es auch andere Erklärungsmöglichkeiten gibt, etwa Systeme aus zwei Weißen Zwergsternen in einem engen Binärsystem, die aufgrund der Abstrahlung von Gravitationswellen und durch Gezeitenkräfte miteinander verschmelzen. Auch dann kann eine thermonukleare Explosion zünden. Es stehen also mehrere Modelle bereit, die erklären können, wie es zu einer Typ-Ia-Supernova kommt. Die

„Zwei Drittel des Eisens im Universum – und damit auch des Eisens auf unserer Erde – wurde von Supernovae des Typs Ia gebildet.“

Grundlagenforschung zur Interpretation großer Datenmengen

Das Heidelberger Institut für Theoretische Studien (HITS gGmbH) wurde 2010 von SAP-Mitgründer Klaus Tschira und der Klaus Tschira Stiftung als private, gemeinnützige Forschungseinrichtung ins Leben gerufen. Das HITS betreibt Grundlagenforschung in den Naturwissenschaften, der Mathematik und der Informatik, dabei werden große Datenmengen verarbeitet, strukturiert und analysiert. Die Forschungsfelder reichen von der Molekularbiologie bis zur Astrophysik.

Die Gesellschafter der HITS gGmbH sind die HITS Stiftung, die Universität Heidelberg und das Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Das HITS arbeitet außerdem mit weiteren Universitäten und Forschungsinstituten sowie mit industriellen Partnern zusammen. Die größte Unterstützung erhält das HITS über die HITS Stiftung von der Klaus Tschira Stiftung, die wichtigsten externen Mittelgeber sind das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) und die Europäische Union.

www.h-its.org/de

COSMIC LIGHTHOUSES

BRIGHTER THAN A BILLION STARS

FRIEDRICH RÖPKE

Supernovae of Type Ia are the lighthouses of the universe. The bright signals emitted by these stars allow us to survey the history of cosmic expansion. This led to the discovery of the accelerated expansion of the universe – a finding that was rewarded with the 2011 Nobel Prize in Physics. The measurement of distances to Type Ia supernovae is based on our assumed knowledge of their intrinsic luminosity. Although these objects are more homogeneous in their peak brightness than other celestial bodies, some variation remains that must be calibrated out by empirical means to achieve a precise calculation of distance. This calls for a better understanding of the physical mechanism leading to Type Ia supernovae.

Supernovae of Type Ia are believed to be thermonuclear explosions of a class of extremely compact stars – so-called white dwarfs. Their brightness outshines that of an entire galaxy consisting of 100 billion stars. This is due to the decay of one of the prime nucleosynthesis products in the explosion, radioactive nickel. This decay heats up the ejecta cloud and thus generates the bright optical emission. It is still unclear, however, how white dwarf stars reach the state that triggers an explosion. Our research group at the Heidelberg Institute for Theoretical Studies performs comprehensive and detailed simulations of several possibilities on some of the world's fastest supercomputers. For the first time, we were able to derive synthetic observables from these models that permit a direct comparison with astronomical data. This provides new insight into the physical nature of Type Ia supernovae. ●

PROF. DR FRIEDRICH RÖPKE accepted the Chair of Theoretical Astrophysics at the Centre for Astronomy of Heidelberg University in March 2015. He also heads the new research group 'Physics of Stellar Objects' at the Heidelberg Institute for Theoretical Studies. From 2011 to 2013, he was Professor of Astrophysics at the University of Würzburg. Prior to that, he headed an Emmy Noether research group at the Max Planck Institute for Astrophysics in Garching, close to Munich. Prof. Röpke's research focuses on the theoretical description of processes in stars and supernovae explosions, which he investigates by means of simulations on supercomputers. In 2010 he received the ARCHES award of the German Ministry of Education and Research.

Contact: friedrich.roepke@h-its.org

“Supernovae are believed to be immense explosions of stars at the end of their life. For a few days, they shine as bright as the entire galaxy surrounding them.”

Aufgabe künftiger Forschungsarbeiten wird es sein, mit verbesserten Simulationen und Beobachtungen zu erforschen, welches der derzeitigen Szenarien die meisten Supernova-Ereignisse beschreiben kann beziehungsweise ob verschiedene Erklärungsmodelle zu diesem astronomischen Phänomen beitragen.

Das Licht der Leuchttürme

Und woher stammt nun das Licht, das Typ-Ia-Supernovae aussenden? Eine thermische Emission infolge der thermonuklearen Explosion scheidet als Erklärung aus: Die Explosionswolke fliegt mit sehr hoher Geschwindigkeit auseinander und kühlt zu schnell ab, um über Tage und Wochen für eine derart helle Erscheinung sorgen zu können. Die durch das detaillierte Beobachten des Lichtabfalls in Typ-Ia-Supernovae belegte Theorie geht von einem Effekt der Nukleosynthese in der thermonuklearen Explosion aus. Der Brennstoff besteht hauptsächlich aus Kohlenstoff und Sauerstoff, deren Hauptisotope im Kern die gleiche Anzahl von Protonen und Neutronen aufweisen. Dementsprechend wird während des nuklearen Brennens das stabilste Eisengruppen-Isotop mit gleicher Protonen- und Neutronenzahl bevorzugt gebildet. Es handelt sich dabei um das Nickelisotop ^{56}Ni . Allgemein benötigen schwerere Kerne für ihre Stabilität einen leichten Überschuss an Neutronen. Deshalb zerfällt ^{56}Ni über ^{56}Co zum stabilen ^{56}Fe , wobei Gammastrahlen und Positronen frei werden. Diese heizen das noch relativ dichte Material der Explosionswolke auf – und bedingen so die Emission

von optischer Strahlung. Um die Helligkeit der meisten Typ-Ia-Supernovae zu erklären, ist der Zerfall von etwa einer halben Sonnenmasse ^{56}Ni zu ^{56}Fe nötig.

Das ist auch der Grund dafür, warum Eisen auf der Erde ein relativ häufiges Element ist: Es ist das Zerfallsprodukt von radioaktivem Nickel, das in Supernova-Explosionen gebildet wird. Man nimmt an, dass etwa zwei Drittel des Eisens im Universum – und damit auch des Eisens auf unserer Erde – von Typ-Ia-Supernovae synthetisiert worden sind. Somit fungieren Supernovae nicht nur als kosmische Leuchttürme – sie tragen auch wesentlich zur chemischen Entwicklung von Galaxien bei. Diese ist ein weiteres hochaktuelles Forschungsgebiet der Astrophysik. In Heidelberg wird es derzeit von mehreren Gruppen im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 881 „The Milky Way System“ bearbeitet. ●

„Supernovae tragen wesentlich zur chemischen Entwicklung von Galaxien bei.“

Die Erforschung der Milchstraße

Der Sonderforschungsbereich „The Milky Way System“ (SFB 881) untersucht die Entwicklung unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße, sowie fundamentale Fragen der Galaxienbildung und -entwicklung. Mit den Arbeiten am SFB 881 ist zugleich das Ziel verbunden, Vorhersagen kosmologischer Modelle zur Galaxienentstehung im Detail zu überprüfen und die kleinskalige Verteilung Dunkler Materie zu untersuchen. Der 2011 eingerichtete Forschungsverbund ist am Zentrum für Astronomie der Ruperto Carola angesiedelt; beteiligt sind Wissenschaftler des Astronomischen Rechen-Instituts, des Instituts für Theoretische Astrophysik und der Landessternwarte Königstuhl der Universität. Als außeruniversitäre Forschungseinrichtungen wirken zudem das Max-Planck-Institut für Astronomie und das Heidelberger Institut für Theoretische Studien mit. Ende 2014 hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft die Förderung des SFBs für weitere vier Jahre verlängert und hierfür Mittel in Höhe von gut neun Millionen Euro bewilligt.

<http://sfb881.zah.uni-heidelberg.de>

CHARAKTER-

BAUTEN

CHARAKTERBAUTEN

DIE ÄSTHETIK VON LICHT & SCHATTEN

MICHAEL HESSE

Lichteinfall und Schattenwurf bestimmen, wie wir ein Gebäude wahrnehmen. Das wussten schon die Baumeister der Antike. Hinsichtlich ihrer Wirkung reflektiert aber wurden beide Phänomene erst mit der zunehmenden Psychologisierung der Künste im 18. Jahrhundert: Über den Wert eines Bauwerks entschieden von nun an weniger die objektiven Fakten als vielmehr dessen unmittelbare sinnliche Wirkung auf den Betrachter. Dies zeigt sich am Spiel mit Licht und Schatten in der Architektur selbst, vor allem aber an der Art und Weise, wie Gebäude in bildlichen Darstellungen inszeniert wurden.

A

„Architektur ist das kunstvolle, korrekte und großartige Zusammenspiel der Formen unter dem Licht.“

Le Corbusier, „Vers une architecture“, Paris 1923

Nachdenken und reden über Licht und Schatten sind essenziell für die Theorie und Praxis der Architektur. Plant ein Architekt einen Neubau, werden seine Überlegungen zu Licht und Schatten maßgeblichen Einfluss auf dessen Gestaltung haben. Bereits in der klassischen Architektur der frühen Neuzeit spielten beide Phänomene eine wichtige Rolle: hinsichtlich des Gebrauchswerts eines Gebäudes ebenso wie im Hinblick auf seine Schönheit. Die Bauwerke, die in dieser Zeit entstanden, knüpften dabei an die Formen der römischen Antike und die Lehre des antiken Architekturtheoretikers Vitruv an. Für die wissenschaftliche Interpretation historischer Bauten sind beide Phänomene folglich von großer Bedeutung. Lichteinfall und Schattenwurf bestimmten die Ausrichtung des Bauwerks auf dem Grundstück, die Lage und den Zuschnitt der Räume, die Größe und Gestalt der Wandöffnungen oder auch die korrekte Bildung der Einzelformen und des Bauschmucks. Mit größter Sorgfalt gestalteten Architekten etwa Gesimse und Profile und respektierten dabei, dass deren plastische, gliedernde Funktion wesentlich durch ihren Schattenwurf beeinflusst wird. Gelegentlich überprüften sie diesen Effekt sogar auf der Baustelle anhand von Musterachsen oder Eins-zu-eins-Modellen.

Eine neue Qualität bekam die Reflexion über Licht und Schatten im fortgeschrittenen 18. Jahrhundert – eine Zeit, in der die sinnliche Wirkung der künstlerischen Ausdrucksmittel zunehmend bestimmte, wie Gebäude gestaltet und wie sie in ästhetischen Diskursen rezipiert wurden. Weniger die objektive Regeltreue eines Gebäudes entschied nunmehr über dessen Wert, als vielmehr seine unmittelbare Wirkung auf den Betrachter. Die zunehmende Psychologisierung der Architektur zeigt sich an den Bauten und Entwürfen selbst, besonders aber an der neuen Art ihrer

Darstellung durch zweidimensionale Medien wie Zeichnung, Druckgrafik und Malerei.

Von funktionalen Plänen zu „Appetitrisen“

Maßstäbliche Detailpläne für Grund- und Aufrisse finden sich erstmals im frühen 13. Jahrhundert an nordfranzösischen Kathedralen. Zu den ältesten Architektorentwürfen im deutschsprachigen Raum gehören die großformatigen Fassadenrisse des Kölner Doms und des Straßburger Münsters, die gegen Ende des 13. Jahrhunderts entstanden. Bis in die frühe Neuzeit bestanden Architekturzeichnungen selbst bei ambitionierten Projekten aus abstrahierend-linearen Festlegungen der Bauteile und -formen. Sie orientierten sich ganz an der Baupraxis. In der Renaissance bildete sich an der Bauhütte von St. Peter in Rom die geläufige Kombination aus Grundriss, Orthogonalaufriss und Orthogonal-schnitt heraus.

Erst mit dem fortgeschrittenen 17. Jahrhundert wurde ein gesteigerter Kunstanspruch erkennbar. Farbige lavierte Flächen in den Präsentationszeichnungen verdeutlichten nun Materialien, Bauphasen oder Schnittflächen. Eine ansprechende Gestaltung, die über die bloße sorgfältige Reinzeichnung hinausging, sollte die Auftraggeber für den Entwurf einnehmen; aus dem Barock ist hierfür der Terminus „Appetitris“ belegt. Mit der Entstehung der modernen kunstinteressierten Öffentlichkeit im 18. Jahrhundert interessierten sich mehr und mehr auch die Kritiker und das wachsende Laienpublikum für architektonische Entwürfe. Vor allem aber die Akademisierung des Architekturbetriebs – 1671 wurde die europaweit vorbildliche französische „Académie royale d'architecture“ gegründet – förderte mit ihrem Wettbewerbs- und Preissystem eine immer aufwendigere Darstellung von tatsächlichen oder fiktiven Bauten.

Die Psychologisierung der Architektur

Am Wandel der Architekturzeichnung wird die Psychologisierung der Architektur im 18. Jahrhundert besonders deutlich. Bis dahin dominierten Darstellungen von hohem Abstraktionsgrad: Grundriss, Aufriss, Schnitt. Perspektivische Ansichten richteten sich meistens nach Mittelachsen. Licht und Schatten wurden eingesetzt, um Volumina zu verdeutlichen und einzelne Bauteile räumlich zu staffeln. Es handelte sich sozusagen um „sachliche“ Schatten, für die ein ebenso sachlicher Lichteinfall von links im 45-Grad-Winkel angenommen wurde. Adressaten der Architekturzeichnung waren vornehmlich Betrachter, die durch Profession oder Liebhaberei kompetent genug waren, aus solchen abstrakten Informationen eine räumliche Vorstellung zu gewinnen. Der eigentliche Bau entstand im Kopf.

Seit der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts jedoch wurde die Architekturdarstellung – ausgehend von Italien und Frankreich – immer mehr durch bildmäßige Gestaltungs-

mittel angereichert. Hier sind besonders die Entwürfe Giovanni Battista Piranesis (1720–1778) zu nennen sowie die der jungen Architekten, die sich mit einem königlichen Stipendium an der französischen Akademie in Rom fortbildeten. Diese zeigen Gebäude nicht länger objektiviert, sondern in Schrägsicht übereck. Oft nehmen sie einen tiefen, unterschichtigen Standpunkt an, während sie die dargestellten Bauten zugleich unverhältnismäßig vergrößern. Staffagefiguren erscheinen winzig, die Architektur desto monumentaler.

Einen besonderen Anteil an der angestrebten Wirkung hatten auch Licht und Schatten. Die Architekturdarstellung dieser Zeit greift Motive und Gestaltungsmittel der Landschaftsmalerei, aber auch der Entwürfe für perspektivische Bühnendekorationen auf. Neben Landschaftsformationen und Vegetation sehen wir düstere oder freundliche Wolkenballungen, heiteres Sonnenlicht oder den dramatischen Kontrast von scheinwerferartiger Beleuchtung und tief verschatteten Bereichen. In herausragender Qualität finden sich derartige Elemente etwa in Charles De Waillys (1730–1798) Entwürfen für die Schlösser im russischen Zarskoje Selo und im heutigen Kassel-Wilhelmshöhe.

Giovanni Battista Piranesi setzte in seinen Druckgrafiken zudem wirkungsvoll die Technik der Radierung ein. Der Verzicht auf scharfe lineare Konturen und das Helldunkel malerischer Schraffuren entrücken hier – zusätzlich zu Perspektive und Maßstabsprüngen – die Architektur der Lebenswirklichkeit. Dies macht die historische Distanz zu der noch in ihren Ruinen übermächtigen Antike unmittelbar sinnlich erfahrbar. Seine wohl bekanntesten Architekturdarstellungen, die „Carceri“, überarbeitete Piranesi wiederholt und schuf damit zunehmend düstere, undurchdringlichere Kerkerwelten. In ihnen glaubt der Betrachter immer wieder logisch-funktionale Formen zu erkennen, die aber niemals plausibel in übergeordneten Zusammenhängen aufgehen.

Das gesteigerte Interesse des 18. Jahrhunderts an Architektur im und als Bild zeigt sich auch in der Malerei. Subgattungen mit Architekturdarstellungen gewannen zunehmend an Bedeutung, darunter wirklichkeitsnahe Veduten von Bauwerken und Städten, Ruinenbilder und vor allem Architekturcapricci – launenhafte, nur den Bildgesetzen folgende Zusammenstellungen verschiedener Bauwerke aus Antike und neuerer Zeit in einem Werk. Prominente Vertreter dieser Gattung sind Giovanni Paolo Panini (1691–1765), Hubert Robert (1733–1808) und Joseph Michael Gandy (1771–1843).

Kritik an suggestiven Schaulaffekten

Die neuen bildmäßigen Schaulaffekte, die sich damals in Architekturzeichnungen etablierten, wurden durchaus von zeitgenössischen Fachleuten kritisiert. So bemängelte

„Bis ins
18. Jahrhundert
dominierten
Architekturdarstellungen
von hohem Abstraktionsgrad.
Der eigentliche
Bau entstand im
Kopf.“

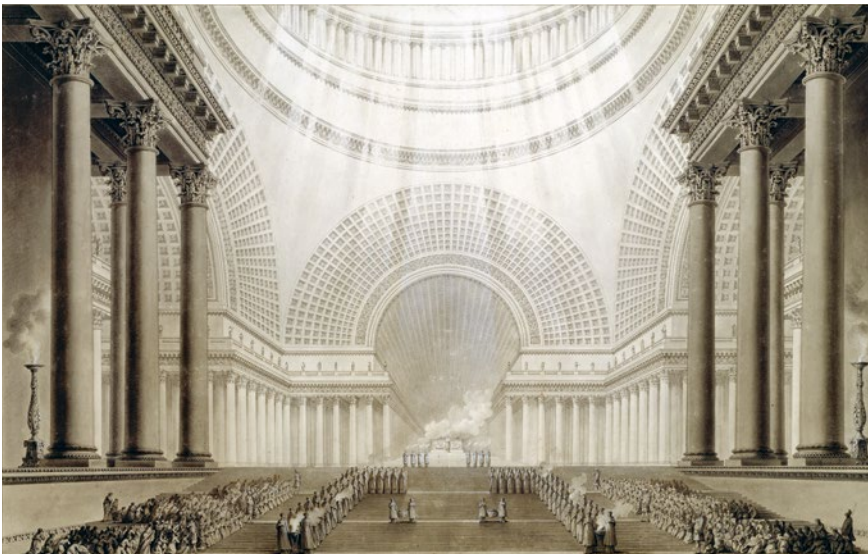


Abbildung 1 & 2
Étienne-Louis Boullée: Entwurf
einer Metropolitankirche, Innenan-
sicht an Karfreitag (oben) und an
Fronleichnam (unten), 1781, Paris,
Bibliothèque nationale de France

„Wer durch
schöne, die
Erwartungen
bedienende
Bilder
Publikum und
Jury zu
beeindrucken
weiß, ist
bei jedem
Wettbewerb im
Vorteil.“

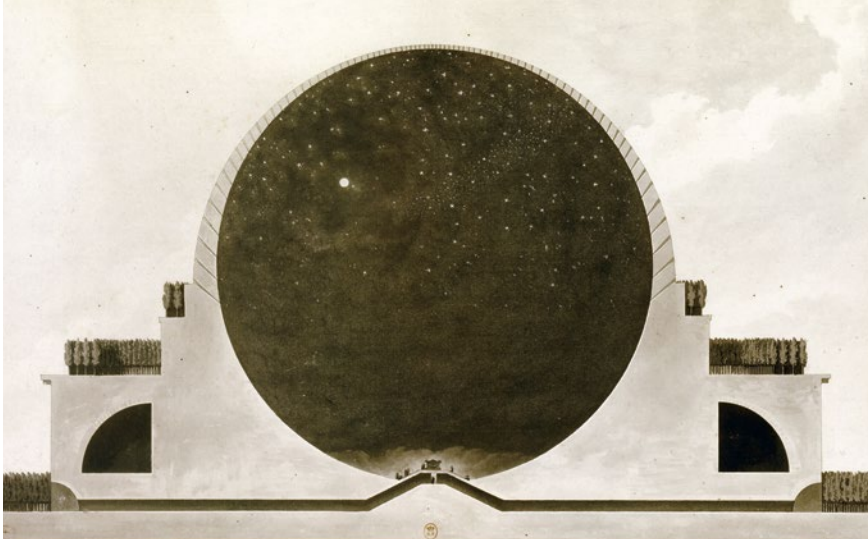


Abbildung 3
Etienne-Louis Boullée: Kenotaph
für Isaac Newton, 1784, Schnitt,
Situation bei Tag und dunklem
Innenraum, Paris, Bibliothèque
nationale de France

etwa Jacques-François Blondel (1704-1774), der prominenteste akademische Architekturlehrer der Epoche, dass die suggestive Darstellung der Bauten von der rationalen Prüfung des Entwurfs ablenke. Die Tendenz zu eben solchen suggestiven Architekturbildern verstärkte sich in den Akademiewettbewerben nach 1774, dem Todesjahr Blondels. Die Kritik Blondels ist durchaus zutreffend. Sie macht eine bis in die Gegenwart geltende Gesetzmäßigkeit bewusst: Wer durch schöne, die Erwartungen bedienende Bilder Publikum und Jury zu beeindrucken weiß, ist bei jedem Wettbewerb im Vorteil. Überhaupt nehmen die meisten Menschen Bauten und Entwürfe zunehmend nur noch als Bilder wahr – ein Effekt, den die neuen digitalen Präsentationsformen zusätzlich verstärken.

Der Wandel der Architekturzeichnung ist auch ein Symptom dafür, dass im 18. Jahrhundert die äußere Erscheinung eines Gebäudes, seine Physiognomie sozusagen, unter Berücksichtigung von Licht und Schatten an Bedeutung gewann. Bis dahin hatte die Architektur förmlich mit immanentem Vokabular bei eigener Syntax geredet. Die Gestalt von Gebäuden beruhte auf herkömmlichen Typen, Motiven und Formen – insbesondere den fünf klassischen Säulenordnungen (toskanisch, dorisch, ionisch, korinthisch und komposit) – und war damit einer rationalen Lektüre zugänglich. Aus der Baugestalt konnte zugleich auf die Funktion und den Status des Besitzers geschlossen werden. Nunmehr aber sollte Architektur – vor aller wissenden, rationalen Überprüfung – durch ihre bloße Erscheinung, durch ihren „Charakter“ ganz unmittelbar auf die Seele des Betrachters wirken: Paläste sollten durch Majestät beeindrucken, Landhäuser schon beim ersten Anblick heiter stimmen, Kirchen beim Eintretenden durch Dämmerlicht Andacht erwecken, Gefängnisse mittels schwerer Formen, roher Oberflächen und düsterer Schatten bereits durch ihr Äußeres abschrecken.

Wirkungsästhetik und Charakter

Der Architekt Germain Boffrand (1667-1754) vollzieht in seinem 1745 erschienenen „Livre d'architecture“ einen wichtigen Schritt zur neuen Wirkungsästhetik, indem er den einheitlichen Charakter jedes Gebäudes einfordert. Dass Architektur sich selbst aussprechen müsste, ohne einer weiteren Erklärung zu bedürfen, stellt 1785 auch der anonyme Autor der „Untersuchungen über den Charakter der Gebäude“ fest. Er unterscheidet verschiedene Charaktere wie „einfach“, „erhaben“, „prächtig“ oder „ländlich“. Diese würden allein durch die Baugestalt, das Zusammenspiel von Formen, lichten Partien und Schattenzonen, ja sogar durch die landschaftliche Situation bewirkt. Selbst ein Prisma oder ein Zylinder seien keineswegs tote Strukturen, sondern Gegenstände der Empfindung.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts war die Architekturzeichnung nicht länger an den Zweck gebunden, einen

baulichen Sachverhalt zu verdeutlichen oder einen realisierbaren Entwurf darzustellen. Sie genügte als autonomes Bild sich selbst. So war es kein Bauwerk, das den Gymnasiasten Karl Friedrich Schinkel (1781-1841) bewegte, die Schule aufzugeben und Baumeister zu werden; vielmehr war es der überwältigende Entwurf eines Monuments für König Friedrich II. von Preußen des jungen Architekturgenies Friedrich Gilly (1772-1800).

Exemplarisch ist besonders der Traktat des französischen Architekten Etienne-Louis Boullée (1728-1799), dessen Zeichnungen verschiedene Bauaufgaben in idealen Lösungen zeigen, begleitet von einem emphatisch formulierten Erläuterungstext. Über dem Traktat steht das bei einem Architekten unerwartete Motto: „ed io anche son pittore“ („auch ich bin Maler“) – ein Ausspruch, der dem italienischen Renaissance-Künstler Correggio zugeschrieben wird. Der Architekt Boullée mag hiermit auf seinen ursprünglichen Berufswunsch hinweisen, Maler zu werden. Wichtiger ist jedoch seine programmatische Einleitung, in der er ausführlich über Schatten und Licht in der Architektur spricht sowie über die Rolle des Architekten als Demiurg, als Weltenbaumeister. Denn wie der Maler könne der Architekt etwas erschaffen, darin ähnlich dem „Schöpfer, der Licht und Finsternis scheidet“, formuliert Boullée im Anklang an die biblische Schöpfungsgeschichte. Jedes Gebäude unterliege, wie die in einem Gemälde gezeigten Objekte, den Bedingungen des Lichts im jahreszeitlichen Wandel: Im milden Licht des Frühlings „weiche, schmiegsame Umriss, die ihre Form nur andeuten“, im Sommer „volle Entfaltung“,

„Architektur sollte – vor aller wissenden, rationalen Überprüfung – durch ihre bloße Erscheinung, durch ihren Charakter ganz unmittelbar auf die Seele des Betrachters wirken.“

Geschichte und Kultur Europas und der Neuen Welt

Das 2005 gegründete Zentrum für Europäische Geschichts- und Kulturwissenschaften (ZEGK) ist ein Zusammenschluss von fünf Heidelberger Instituten: dem Historischen Seminar, dem Institut für Fränkisch-Pfälzische Geschichte und Landeskunde, dem Institut für Europäische Kunstgeschichte, dem Institut für Religionswissenschaft sowie dem Musikwissenschaftlichen Seminar. Ziel der Wissenschaftler am Zentrum ist es, die Geschichte und die kulturellen Errungenschaften Europas und der Neuen Welt vom Frühmittelalter bis in die heutige Zeit zu erforschen. Durch ihre Allianz im ZEGK verstärken sie dabei ihre Kooperationen, nutzen Synergieeffekte und gewinnen in Lehre und Forschung an interdisziplinärer Kompetenz. Das gemeinsame Zentrum trägt zudem dazu bei, den geisteswissenschaftlichen Schwerpunkt historischer Kulturwissenschaften in Heidelberg zu akzentuieren und seine Potenziale ins Bewusstsein zu rücken.

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

„Die meisten Menschen nehmen Bauten und Entwürfe zunehmend nur noch als Bilder wahr – ein Effekt, den die neuen digitalen Präsentationsformen verstärken.“

„volle Leuchtkraft“, „strahlend“, „großartig“, im Herbst „fröhlich heiterer Reichtum“, im Winter „Dunkelheit“, „Die himmlische Fackel ist erloschen“, „Die Formen sind im Versinken und ihre Umrisse kantig und hart“.

Dass Boullée für verschiedene Bauaufgaben wie Kirchen, Freizeitparks oder Paläste den jeweils angemessenen Charakter fordert, ist in einer Schrift vom Jahrhundertende nichts Besonderes. Für Grabmonumente jedoch schreibt er sich eine außergewöhnliche Erfindung zu, nämlich eine „Architektur der Schatten“. Indem man Licht absorbierende Materialien einsetze, könne das „dunkle Bild“ einer solchen Architektur geformt werden, „deren Umrisse durch noch schwärzere Schatten hervorgehoben“ würden.

Ebenso reflektiert Boullée, wie Licht in Innenräumen durch den Wechsel der Tageszeiten und durch verschiedene Beleuchtungssituationen unterschiedliche Stimmungen erzeugt. Seine „Metropolitankirche“ zeigt er in Ansichten, im Grundriss und in Schnitten. Dem Innenraum aber widmet er, bei identischer Ausschnittwahl, zwei eindrucksvolle Bilder, die denselben baulichen Sachverhalt in gänzlich gegensätzlichen Stimmungen wiedergeben. Auf dem einen Bild herrscht nächtliche Finsternis, nur eine Lichtquelle am Altar setzt schlaglichtartige Akzente auf den ansonsten tiefdunklen Kolonnaden – diese Darstellung vergegenwärtigt die düstere Stimmung am Karfreitagabend. Auf dem anderen Bild hingegen dringen die Strahlen des hellen Sonnenlichts aus der Höhe der Kuppel in den Altarraum. Die heitere Stimmung entspricht dem Jubel und der Freude des Fronleichnamsfestes (siehe Abbildungen 1 & 2 auf Seite 121).

Architektur allein als Bild

Die Mehrzahl der in Boullées Traktat gezeigten Gebäude waren mit Material und Technik der Zeit um 1800 nicht zu realisieren. Die Bilder sind keine Planungsunterlage für potenziell zu errichtende Gebäude, die Architektur existiert allein als Bild. So auch Boullées berühmte Hommage „à Newton“, sein Entwurf eines Kenotaphs – eines Scheingrabs – für den britischen Naturforscher. Boullée gestaltete dieses Kenotaph als ein erhabenes Abbild des Universums, das alle vorstellbaren Dimensionen überbietet. Sein Entwurf zeigt ein Kugelmonument, das in einem ringförmigen Unterbau nach Art von Mausoleen römischer Kaiser eingesenkt ist. Ameisenkleine Menschen streben zum Eingang, um Newtons zu gedenken.

Bei den beiden Außenansichten des Newton-Kenotaphs geht es wiederum um Lichtstimmungen, einmal bei Tag unter hellem, diffusem Sonnenlicht und einmal bei Nacht im fahlen Mondschein. Ebenso wird der Innenraum zweimal vorgestellt: Bei Nacht erhellt ihn eine riesige Lampe in Form einer Armillarsphäre, einer Weltmaschine, die der Darstellung von Himmelskörpern dient – auch dies ein Verweis auf Newtons Leistung, der den Weltenbau und



PROF. DR. MICHAEL HESSE wurde 1992 an das Institut für Europäische Kunstgeschichte der Universität Heidelberg berufen, das zusammen mit benachbarten Disziplinen das Zentrum für Europäische Geschichts- und Kulturwissenschaften (ZEGK) bildet. Seine Schwerpunkte in Forschung und Lehre sind Architektur, Städtebau und Architekturtheorie des 17. und 18. Jahrhunderts und der Gegenwart, zudem die bildende Kunst des Klassizismus und die Kunst der Höfe im deutschen Südwesten. In mehreren Veröffentlichungen reflektiert er insbesondere das Verhältnis von Moderne oder Postmoderne zur klassischen Tradition.

Kontakt: m.hesse@zegk.uni-heidelberg.de

CHARACTER BUILDINGS

THE AESTHETICS OF LIGHT & SHADOW

MICHAEL HESSE

Buildings are both facts and objects of perception: On the one hand they are physical structures, on the other hand they provoke a highly subjective visual experience – and in that, they are significantly defined by light and shadow. The impact of these two elements on the appeal of a building was already well known in the classical architecture of the early modern age. Sometimes the effect of structural elements such as profiles or cornices was even tested using full-scale models on the building site. In spite of this, architectural drawings from this time are austere and rationalist: they show planes, elevations and sections where the incidence of light is only marked by 45-degree shadows. Drawings and prints were primarily addressed to professionals or connoisseurs.

But during the eighteenth century – under the influence of the psychologisation of the arts – architecture and architectural design underwent a fundamental change. Now, a building was believed to express itself by what was called its character. Country houses, churches or prisons had to evoke serenity, devotion or fright at first sight. The natural elements of light and shadow became important aspects for the aesthetic effect of a building. Elements of landscape painting and stage decoration such as dramatic clouds and bright spots were used to enhance the architectural design. In his treatise, French architect Louis-Etienne Boullée (1728–1799) even shows the interior of his cathedral from the same point of view, but with two different atmospheric effects caused by light and shadow: The gloomy mood of the Holy Friday evening contrasts sharply with the luminous effect of the nave at the Feast of Corpus Christi. ●

PROF. DR MICHAEL HESSE joined Heidelberg University's Institute for European Art History in 1992; together with its sister disciplines, this institute forms the Centre for European Historical and Cultural Studies (ZEGK). Prof. Hesse's particular research and teaching interests are the architecture, urban planning and architectural theory of the 17th and 18th centuries and the present, in addition to the fine arts of the neoclassical era and the art at princely courts in the south-west of Germany. In several of his publications, he discusses the relationship between the modern or post-modern era and the classical tradition.

Contact: m.hesse@zegk.uni-heidelberg.de

“Buildings are not only physical structures, they also represent a highly subjective visual experience. In that, they are significantly defined by the effects of light and shadow.”

das Licht erklärt hat; bei Tag bleibt das Innere dunkel. Jedoch ist die Wölbung von vielen Kanälen durchbrochen, durch die Tageslicht eindringt und sternartige Lichtpunkte entstehen, sodass sich der Besucher vom gestirnten Himmel umgeben sieht (siehe Abbildung 3 auf Seite 122). Dabei schummelt der Meister offensichtlich, indem er die Lichtkanäle, entgegen der tatsächlichen Konstellation der Gestirne, im Querschnitt als regelmäßige Abfolge von Schlitzfenstern in der Wölbung darstellt.

Boullées Zeitgenosse, Sir John Soane (1753–1837), der bedeutendste britische Architekt um 1800, versicherte sich gleich der regelmäßigen Dienste eines ausgebildeten Malers, um seine Entwürfe den Bauherren und der Öffentlichkeit angemessen zu präsentieren und seine Sicht auf das eigene Lebenswerk für die Nachwelt festzuhalten. Der bereits erwähnte Joseph Michael Gandy überführte Soanes Architektur mit höchster Suggestivkraft in Gouachen und Ölgemälde. In seinen realen Bauten, besonders den Innenräumen, war Soane ein Meister der Lichtregie und der pittoresken Verunkelung räumlicher Zusammenhänge. Gandy inszenierte Soanes Schöpfungen demgemäß oft im Zusammenspiel von dargestelltem natürlichem Licht einfall und künstlicher Beleuchtung. Eindrucksvoll zeigt dies insbesondere ein großes Gemälde, das eine Art Gesamtschau von Soanes Werk darstellt und in dem Gandy Modelle und Zeichnungen aller Bauten und Entwürfe des Architekten arrangiert – selbstverständlich nicht bei neutraler Beleuchtung, sondern bei tiefer Dunkelheit, aber dramatisch verlebendigt durch den Lichtstrahl eines gewaltigen, innerbildlichen Scheinwerfers (siehe Abbildung 4 rechts). ●



Abbildung 4
Joseph Michael Gandy: Öffentliche
und private Bauten von Sir John
Soane aus den Jahren 1780 bis
1815, 1818, London, Sir John
Soane's Museum

**ART
ODER**

**ARTE-
FAKT?**

ART ODER ARTEFAKT?

IM AUGEN DES BETRACHTERS

GERD U. AUFFARTH

Das menschliche Sehen ist weitaus mehr als nur das Lesen von Zahlen und Buchstaben auf dem Display eines Smartphones. Das Auge kann eine Vielzahl visueller Informationen aufnehmen – und unser Gehirn kreiert daraus Welten, die selbst das beste „3D-Kino“ nicht zu erschaffen vermag. 80 Prozent aller Informationen der Außenwelt gelangen über das Auge in unser Gehirn. Doch oftmals wird unser Sehen von Erkrankungen getrübt. Die Operation des „Grauen Stars“ etwa ist weltweit der häufigste chirurgische Eingriff. Neue Verfahren, die Laserstrahlen mit modernen bildgebenden Methoden kombinieren, machen diesen Eingriff präziser – und versprechen, nahezu jeden Sehfehler zu korrigieren.

D

Das Betrachten von Dingen mit beiden Augen ermöglicht uns eine echte räumliche Tiefenwahrnehmung. Ein Maler, der eine dreidimensionale Welt in einem zweidimensionalen Bild erschaffen will, erreicht die Tiefenwahrnehmung durch das geschickte Darstellen von Licht und Schatten. Ein Meister darin war der italienische Maler Giovanni Francesco Barbieri (1591-1666). Seine Licht- und Schatten-Maltechnik („Chiaroscuro“, nach italienisch hell-dunkel) stammt aus den Schulen in Bologna und Venedig. Berühmt sind seine Altarbilder und seine Deckenfresken in der Villa Ludovisi und im Dom von Piacenza. In diesen Bildern gelang es Barbieri immer wieder, eine starke Illusion von Räumlichkeit zu erzeugen.

Das Erstaunliche daran: Barbieri – auch „il guercino“, der Schieler, genannt – war gar nicht zu einem beidäugigen räumlichen Sehen imstande. Sein rechtes Auge schielte und war schwachsichtig von der Kindheit des Malers an. Er malte also „einäugig“. Dennoch erzeugte Barbieri durch genauestes Beobachten und den akribischen Einsatz von Licht und Schatten in seinen Werken eine äußerst beeindruckende Pseudoräumlichkeit. „Il guercino“ konnte seinen Sehfehler mit seiner Gabe zur genauen Beobachtung überwinden. Andere Maler hatten deutlich stärkere Probleme mit Erkrankungen der Augen – vor allem, was das Farbensehen angeht.

Licht und Farbe

Der Mensch als „Trichromat“ verfügt mit drei Farbrezeptoren (Zapfentypen) über ein relativ gut entwickeltes Farbsehvermögen. Mit unseren Farbrezeptoren nehmen wir einen Teil des elektromagnetischen Spektrums als Licht und Licht einer bestimmten Wellenlänge als Spektralfarbe wahr. Der Spektralbereich ist verhältnismäßig schmal: Sein kurzwelliges Ende liegt bei circa 380, die langwellige Grenze bei etwa 780 Nanometer. Andere Säugetiere, etwa Hunde und Katzen, sind „Dichromaten“ – sie haben nur zwei Zapfentypen. Im Wasser lebende Säugetiere wie die Wale sind „Monochromaten“. Vögel oder Reptilien hingegen können teilweise sogar den Ultraviolettbereich wahrnehmen und verfügen über vier Zapfentypen.

Zurück zu den Malern, denen das Farbensehen gleichsam systembedingt sehr wichtig sein muss. Der französische Maler Claude Monet (1840-1926) gilt als Vater des Impressionismus. Monet wollte, wie andere impressionistische Künstler auch, vor allem den Einfluss des Lichts in seinen Bildern wiedergeben und weniger ein Abbild des Gegenstandes erstellen. Über Jahrzehnte hinweg malte Monet dasselbe Motiv immer wieder, beispielsweise seine berühmten Seerosen oder die japanische Brücke. An diesen Bildern lässt sich nicht nur studieren, wie ein Künstler ein Motiv zu verschiedenen Zeitpunkten seines Lebens darstellt – auch wie sich Monets Sehkraft veränderte, zeigt sich an den Bildern deutlich.

Im Jahr 1883 zog Monet in sein Haus nach Giverny, in dessen Garten sich die japanische Brücke über den Teich mit Seerosen spannte. 1908 bemerkte der fast 70-Jährige erstmals, dass er Schwierigkeiten beim Auswählen der Farben hatte. Die durch den Altersprozess des Menschen bedingte gelbliche Verfärbung der Augenlinse reduzierte bei Monet die Durchlässigkeit des Lichts, insbesondere die des kurzwelligen blauen Lichts. Dies geht einher mit einer veränderten Wahrnehmung der Farben.

Monet erschienen Rottöne schmutzig, Rosatöne fad, ähnliche Farbtöne konnte er kaum noch unterscheiden. Seine späteren Werke zeigen zudem weniger Details, die Formen „verschwimmen“. Im Jahr 1912 diagnostizierte ein Arzt bei Monet den Grauen Star (Katarakt) an beiden Augen. Die dadurch bedingte Veränderung der Augenlinse reduzierte die Kontrastempfindlichkeit und Lichtdurchlässigkeit – Monet empfand seine Malerei als „immer dunkler“. Aufgrund der Trübung seiner Augenlinse streute das Licht so sehr, dass Monet wegen der starken Blendung über Mittag nicht mehr malen konnte.

Monet kaschierte seine Probleme teilweise damit, dass er die „richtigen“ Farben für seine Motive anhand der Beschriftung der Farbtuben auswählte und die Farben auf der Palette immer an der gleichen Stelle auftrug. Die zwischen den Jahren 1918 und 1922 entstandenen Gemälde seines Seerosenteichs offenbaren die dramatischen Veränderungen in Monets Sehkraft deutlich. Im Jahr 1922 schrieb er verzweifelt, nichts Schönes mehr schaffen zu können – einige seiner Bilder habe er sogar vernichtet. Nun sei er fast blind und müsse mit dem Malen gänzlich aufhören.

Monets Arzt hatte schon im Jahr 1912 zur Operation geraten. Doch Monet fürchtete sich vor dem Eingriff. Erst im Januar 1923 – mit 83 Jahren – unterzog sich der Maler der Star-Operation am rechten Auge. Danach erschienen ihm die Farben „seltsam“. So geht es vielen Star-Operierten: Sie empfinden die Farben nach der Operation anders als zuvor. Von der Farbgebung in seinen früheren Gemälden war Monet so entsetzt, dass er viele seiner Bilder mit kräftigen Farben übermalte.

Aufgrund der Trübung filtert die Augenlinse vor allem den Blaulichtanteil des einfallenden Lichtes heraus. Die Farbgestaltung der Bilder zeichnet sich dann häufig durch viele gelbe und braune Töne aus. Der Vergleich der Bilder, die Monet von der japanischen Brücke im Jahr 1899 und im Jahr 1922 malte, zeigt dies sehr anschaulich: Sein Spätwerk ist fast nur noch in Gelbtönen und sehr abstrahiert gemalt. Dies zeigt sich auch bei den späten Bildern des englischen Malers William Turner (1775-1851), der ebenfalls am Grauen Star litt – darunter auch einem Bild des Heidelberger Schlosses, das er im Jahr 1844 erstellte. Die Beschreibung der Sehprobleme, die Monet und Turner

zu schaffen machten, ist typisch für alle Patienten mit Grauem Star: Die Schärfe verschwimmt und verschleiert, Farben sehen anders aus, Kontraste sind schwer wahrzunehmen und die Augen werden sehr blendempfindlich.

Die häufigste Operation der Welt

90 Prozent der Katarakte sind altersbedingt und zeigen sich zumeist ab dem 65sten bis 70sten Lebensjahr; zehn Prozent der Linsentrübungen sind angeboren oder durch Medikamente, Operationen, Verletzungen oder andere Augenerkrankungen bedingt. Bei uns in der Heidelberger Universitäts-Augenklinik erfolgen jährlich etwa 2.000 bis 3.000 Kataraktoperationen am sogenannten Altersstar, etwa 300 unserer Patienten sind jünger als 50 Jahre, rund 30 Kataraktoperationen pro Jahr führen wir bei Säuglingen mit angeborenem Grauen Star durch. Insgesamt zählt man alljährlich in Deutschland etwa 800.000 Kataraktoperationen; weltweit ist die Kataraktoperation der häufigste chirurgische Eingriff in der Medizin.

Die ersten „Starstecher“ gab es bereits vor 3.600 Jahren in Indien und im arabischen Kulturkreis. Damit ist die Star-Operation nicht nur das häufigste, sondern auch eines der ältesten chirurgischen Verfahren der Menschheit. Heutzutage ist die Operation des Grauen Stars ein sehr technisierter Eingriff und erfolgt bei starker Vergrößerung mit einem OP-Mikroskop. Die meisten Schritte erfolgen dabei manuell, und der Erfolg ist abhängig von der Erfahrung, dem Geschick und der Verfassung des Chirurgen. Um die harte und getrübe Augenlinse entfernen zu können, muss sie zunächst mit Ultraschall zerkleinert werden. Dazu öffnet der Chirurg die Linsenkapsel mit einem etwa zwei Millimeter großen Schnitt und führt eine kleine Nadel in die Kapsel ein, die im Ultraschallbereich mit 30.000 bis 45.000 Hertz vibriert. Auf diese Weise wird die harte Linse zertrümmert und anschließend über ein Saug- und Spülsystem abgesaugt. Am Schluss bleibt nur die Hülle der Linse, der Kapselsack, übrig, in den sodann die Kunstlinse eingesetzt wird.

Bildgeführte Mikro-Chirurgie

Seit Kurzem verhelfen sogenannte Femtosekunden-Laser dazu, wichtige Schritte der Operation präziser und sicherer durchzuführen – etwa das Eröffnen der fragilen Linsenkapsel und das Entfernen des nicht selten steinharten Linsenkerns. Mit dem Femtosekunden-Laser lässt sich der Linsenkern vorfragmentieren. Er ist danach so stark zerkleinert, dass die Reste nur noch abgesaugt werden müssen – oder zumindest soweit vorgebrochen, dass der Linsenkern mit dem herkömmlichen System schnell abgetragen werden kann. Zudem wird das umgebende Augengewebe geschont, da beim Schneiden mit dem Femto-Laser keine Wärme erzeugt wird. Der Laserpuls bearbeitet die getrübe Linse im Bereich von Femtosekunden rasend schnell – in 0,000000000000001 Sekunden, das entspricht zehn milliardstel Sekunden.

„80 Prozent
aller Informationen der
Außenwelt gelangen
über das Auge
in unser Gehirn.“



PROF. DR. GERD U. AUFFARTH wurde im Jahr 2011 auf den Lehrstuhl für Augenheilkunde der Medizinischen Fakultät der Universität Heidelberg berufen. Von 1992 bis 1994 war er als Stipendiat der Max-Kade-Stiftung am Center for Research on Ocular Therapeutics and Biodevices, Storm Eye Institute, Medical University of South Carolina, Charleston, in den USA tätig. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die Implantat- und Biomaterial-Forschung sowie die Entwicklung der Lasertechnologie. Für seine wissenschaftlichen Leistungen erhielt er unter anderem den Theodor-Axenfeld-Preis der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft (2001) und den Löhn-Preis für herausragende Projekte im Technologietransfer der Steinbeis-Stiftung (2009). Seit 2012 ist er Präsident der Deutschsprachigen Gesellschaft für Intraokularlinsen-Implantation und Refraktive Chirurgie sowie Vorstandsmitglied der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft.

Kontakt: gerd.auffarth@med.uni-heidelberg.de

Darüber hinaus wird der Femto-Laser zusammen mit einem hochpräzisen bildgebenden Verfahren, der „Optical Coherence Tomography“ (OCT) eingesetzt, die im Auflösungsbereich von Mikrometern Strukturen des vorderen Augenabschnittes darstellen kann, also die Horn- und Regenbogenhaut sowie die Linse. Aufgrund dieser Informationen lässt sich der Laser deutlich genauer und sicherer als bei manuellen Verfahren führen. Der Hauptvorteil der „Femtosekunden-Laser-assistierten Kataraktchirurgie“ aber ist das perfekte Öffnen der Linsenkapsel: Das ist wichtig, um die Kunstlinse optimal positionieren und fixieren zu können. Die erste von einem Femtosekunden-Laser assistierte Kataraktoperation erfolgte in Deutschland im Jahr 2011 in der Universitäts-Augenklinik in Heidelberg. Umfangreiche Vorarbeiten im Labor und vorklinische Studien waren dem Eingriff vorausgegangen.

Diverse Kunstlinsen-Implantate

Neben den Standard-Einstärkenlinsen können in der modernen Kataraktchirurgie auch andere Implantate eingesetzt werden. Mit sogenannten torischen Intraokularlinsen etwa lässt sich heutzutage während der Star-Operation zusätzlich eine vorbestehende Verkrümmung der Hornhaut ausgleichen. Darüber hinaus gibt es viele unterschiedliche „Multifokallinsen“. Sie ermöglichen ein Sehen ohne Brille in der Ferne und in der Nähe. Neuerdings verfügbar sind auch „Trifokallinsen“, die neben der Ferne und Nähe auch den Zwischenbereich korrigieren, zum Beispiel den Abstand zum Computerbildschirm. All diese Linsentypen gibt es in Kombination mit torischen Optiken, sodass sich heutzutage fast jeder Sehfehler unter Umständen komplett korrigieren lässt. Die Universitäts-Augenklinik Heidelberg war weltweit die erste Klinik, die eine „Multifokal-Torische Intraokularlinse“ mitentwickelt und im Jahr 2006 erstmals einem Patienten eingesetzt hat.

Von Nachteil ist, dass die multifokalen Optiken letztlich mehrere Foci erzeugen, auf die sich unterschiedliche Mengen des einfallenden Lichtes verteilen. Infolgedessen wird das Licht „gesplittet“. Daraus resultiert ein Licht- und Kontrastverlust, unter Umständen kommt es auch zu Blenderscheinungen. Das Ausmaß dieser Nebenwirkungen konnte zwischenzeitlich stark gesenkt werden, sie sind aber immer noch ein einschränkender Faktor.

Die akkommodierende Kunstlinse

Seit Jahren bemühen sich Forscher und Entwicklungsabteilungen der Industrie darum, eine Kunstlinse zu entwickeln, die wie die menschliche Linse „akkommodieren“ kann. Die bisherigen Versuche jedoch sind gescheitert, oder es ließen sich bestenfalls passable klinische Ergebnisse durch „pseudoakkommodative“ Effekte erzielen. Bei der natürlichen Akkommodation der menschlichen Linse verändert sich die Krümmung der Linsenoberfläche, sodass sich die Brechkraft des Auges dynamisch anpassen kann. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für deutliches Sehen.

„Weltweit ist die Operation des Grauen Stars der häufigste Eingriff in der Medizin.“

ART OR ARTEFACT?

IN THE EYE OF THE BEHOLDER

GERD U. AUFFARTH

Eighty percent of the information our brain processes is based on visual input. One severe dysfunction of visual perception, and the most common cause of blindness worldwide, is known as a cataract. A number of famous painters, among them Claude Monet (1840–1926), also suffered from this condition. His paintings of water-lily ponds, created between 1918 and 1922, clearly show the dramatic changes in Monet's eyesight. Cataract formation in the human crystalline lens leads to colour deviation because the blue light wave length is filtered out by the opacified lens. The operative treatment of this condition is the most frequent and one of the oldest surgical procedures in medicine.

Modern cataract surgery uses ultrasound to destroy the opacified and hard crystalline lens. New approaches also include the femtosecond laser technology – a highly precise and safe method that is used to open the lens capsule and prefragment the cataract, with guidance provided by imaging technology (OCT – optical coherence tomography). After the removal of the cataract, the optical lens must be replaced by an artificial implant. In Germany, the femtosecond laser technology was first used at the Heidelberg University Eye Clinic in 2011. At present, our research focuses on developing implants that can mimic the natural accommodation of the young human lens. Natural accommodation means that the curvature of the lens surface varies, allowing the eye to dynamically adjust its refraction. This is a fundamental prerequisite for clear sight. Initial tests of the new implant show very promising results. ●

PROF. DR GERD U. AUFFARTH has held the Chair of Ophthalmology at the Medical Faculty of Heidelberg University since 2011. From 1992 to 1994, he was a Max Kade Fellow at the Center for Research on Ocular Therapeutics and Biodevices, Storm Eye Institute, Medical University of South Carolina, Charleston, USA. Prof. Auffarth's research interests include implant and biomaterial research and the improvement of laser technology. He has received the Theodor Axenfeld Award of the German Ophthalmology Association (2001) and the Löhn Award for outstanding technology transfer projects of the Steinbeis Foundation (2009) in recognition of his scientific work. In 2012 he became president of the German-Speaking Society for Intraocular Lens Implantation and Refractive Surgery (DGII) and joined the board of the German Ophthalmology Association (DOG).

Contact: gerd.auffarth@
med.uni-heidelberg.de

“Today’s new procedures and implants allow us to correct virtually any optical eye defect with near perfect success.”

Die Theorien hierzu wurden um das Jahr 1858 von dem deutschen Physiologen und Physiker Hermann von Helmholtz (1821-1894) in Heidelberg entwickelt. Sie sind heute aktueller denn je.

In einer klinischen Studie untersuchen wir derzeit eine Kunstlinse, die mit flüssigem Silikonöl gefüllt ist und ihre Oberflächenkrümmung verändern, also akkomodieren kann. Die Linse lässt sich mit einem speziellen System in den Kapselsack einbringen, wobei die Schnittgröße derzeit noch bei etwa vier Millimetern liegt. Über zirkulär angelegte schlauchartige Elemente kann nun die Silikonflüssigkeit in die Optik gedrückt werden. Die Vorderfläche der Linse wölbt sich daraufhin und die Krümmungsradien verändern sich. Auf diese Weise lässt sich eine echte Änderung der Brechkraft erreichen. Unsere ersten Ergebnisse mit dem neuen Implantat sind sehr vielversprechend. Aber wie für jede Forschung gilt auch für die Forschung in der Augenheilkunde: Licht und Schatten liegen dicht beieinander. ●

**„Neue Verfahren
erlauben
es heute, fast jeden
Sehfehler unter
Umständen komplett
zu korrigieren.“**

ES WERDE

LICHT!

ES WERDE LICHT!

LEUCHTEN VOM ALTERTUM BIS IN DIE NEUZEIT

REINHARD STUPPERICH

Heute ist es selbstverständlich: Wird es draußen dunkel, schalten wir das Licht ein. Von der Antike bis in die Neuzeit jedoch war künstliches Licht ein Luxusgut, das sich nur sehr wenige leisten konnten. In der Heidelberger Klassischen Archäologie erschließen wir die Entwicklungsgeschichte künstlicher Leuchtmittel und zeigen wichtige kulturelle und technische Strömungen auf.

G

„Goldene Jünglinge standen auf schöngebauten Altären ringsumher, und hielten in Händen brennende Fackeln, um den Gästen im Saale beim nächtlichen Schmause zu leuchten.“

So beschreibt Homer in der Odyssee 6,100-102 die Beleuchtungsausstattung im Palast des Phäakenkönigs Alkinoos beim Gastmahl für Odysseus. Der Handwerker Gott Hephaistos hatte die imposanten Leuchter eigenhändig für den mythischen König erschaffen. Reiche Römer fühlten sich von Homers Beschreibung angespornt, Alkinoos zu übertrumpfen. Wie Funde aus den antiken Städten Pompeji und Herculaneum zeigen, ließen sie hierzu sogenannte Lampenhalter konstruieren – lebensgroße Sportlerstatuen mit lampenbesetzten Ranken in den Händen. Für luxuriöse Gastmähler war künstliche Beleuchtung zu jener Zeit von großer Bedeutung. Aber auch viele Tätigkeiten in Haus und Beruf erforderten Licht, sollten sie nach Sonnenuntergang oder unter Tage, etwa im Bergbau, ausgeübt werden. Für die damalige Technik war dies eine große Herausforderung.

Archäologische Funde zeigen, welche unterschiedlichen Lösungen man bereits in vorchristlicher Zeit für die Beleuchtungsproblematik fand. Die Erforschung derartiger künstlicher Leuchtmittel vom Altertum bis in die frühe Neuzeit wird in Fachkreisen als „Lychnologie“ bezeichnet – ein Begriff, der auf das frühe 19. Jahrhundert zurückgeht und von dem ersten Heidelberger Archäologen Friedrich Creuzer geprägt wurde. Auch heute noch ist Heidelberg ein wichtiger Standort lychnologischer Forschung. Das Archäologische Institut der Universität Heidelberg besitzt in seinen Sammlungen einen gut publizierten Querschnitt durch antike Lampenformen. Fragen alter Beleuchtungstechnologien werden hier nicht nur aus theoretischem Blickwinkel bearbeitet – unter Mitarbeit von Studierenden

entstanden in den vergangenen Jahren auch mehrere Ausstellungen zu diesem Thema, die zum Teil über Heidelberg hinaus gezeigt wurden.

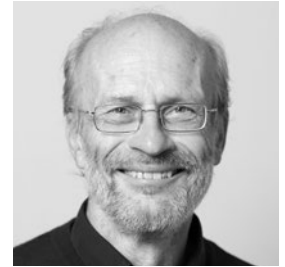
Entwicklungslinien verlängern

Bei unseren Arbeiten offenbart sich immer wieder, wie bedeutsam die übergreifende Betrachtung von Antike und Neuzeit in interdisziplinärer Zusammenarbeit ist. Durch die Forschung zur antiken Kulturgeschichte und zu deren Auswirkungen erlangen wir wichtige Einsichten in die neuzeitliche Kultur- und Technikgeschichte. Manche Entwicklungslinien etwa der Erfindungsgeschichte verlängern sich so gar um Jahrtausende. Dem Begriff der Renaissance – der „Wiedergeburt“ der Antike – wird damit unter unerwarteten Aspekten seine Bedeutung wiedergegeben.

Aus interdisziplinärer Perspektive sind es besonders religionsgeschichtliche Fragestellungen, die in Zusammenhang mit der Erforschung von Lampen und Leuchtmitteln stehen. Denn im religiösen Kult spielte die künstliche Beleuchtung oftmals eine wichtige Rolle. Dies gilt für viele klassische Kulte, insbesondere für Mysterienkulte, ebenso wie für Kulte im Hellenismus und zur römischen Kaiserzeit. Auch in der frühen Kirche oder im Islam war helle Beleuchtung von großer Bedeutung. Und in späterer Zeit finden sich etwa besondere Effekte wie das sich selbst entzündende Osterlicht in der Grabeskirche in Jerusalem oder einfache Technologien wie das „ewige Licht“ in Synagogen und katholischen Kirchen. Letzteres hat einen antiken Vorläufer, wie ich bei der Beschäftigung mit dem Tempel Erechtheion auf der Athener Akropolis sehen konnte. Die Dauerlampe dort kombinierte die Techniken des Schwimmers auf einer Ölschicht über Wasser mit einem Asbestdocht, dem Nachfluss durch kommunizierende Röhren und einem Rauchabzug sowie einem großen Tank – alles versteckt hinter einer hochkünstlerischen Verkleidung.

Erhellende Einblicke in die menschliche Kultur

Die frühe Geschichte der künstlichen Beleuchtung von der Antike bis zur Neuzeit haben wir 2009 in einer Ausstellung unter dem Titel LICHT! im Universitätsmuseum aufgearbeitet. In dieser Ausstellung zeigten wir einen Überblick über die unterschiedlichen Gattungen der Lichterzeugung in verschiedenen sozialen Kontexten bis in das mittlere 19. Jahrhundert. Einfache wie luxuriöse Lampen, die wir dabei präsentierten, liefern erhellende Einblicke in ein zentrales Thema menschlicher Kultur. Beispiel hierfür sind etwa die römischen Lampen der Heidelberger Sammlung, die Hinweise auf eine Energie- oder genauer Ölkrise im 3. Jahrhundert nach Christus geben. So sind die kleinen Öffnungen der Tonlampen grob erweitert, um sie auf diese Weise mit billigem, wenn auch stinkendem Talg anstatt mit dem teuer importierten Olivenöl befüllen zu können.



PROF. DR. REINHARD STUPPERICH arbeitet seit 2001 am Institut für Klassische Archäologie der Universität Heidelberg, dessen geschäftsführender Direktor er zudem ist. Zuvor forschte und lehrte er ein gutes Jahrzehnt an der Universität Mannheim sowie – bis zu seiner Habilitation im Jahr 1989 – an der Universität Münster. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören griechische Plastik und Urbanistik sowie provincialrömische Archäologie und Antikenrezeption. Er leitet den Survey zur Vermessung der Stadt Troizen/Griechenland und die Heidelberger Lehrgrabung im römischen Vicus von Eisenberg/Pfalz. Zudem gibt er unter anderem die Zeitschrift „Thetis“ und die Monographienserie „Peleus“ heraus. Im Jahr 2000 wurde Reinhard Stupperich vom griechischen Staatspräsidenten das Goldene Kreuz des Phoenix-Ordens für seine Verdienste um die Aufarbeitung der griechischen Geschichte verliehen.

Kontakt: reinhard.stupperich@zaw.uni-heidelberg.de

Die Entwicklung antiker Lampen kennen wir inzwischen recht gut. Somit können wir die bei Ausgrabungen gemachten Funde aufgrund ihrer typologischen Unterschiede relativ genau datieren und einer Herstellungsregion zuweisen. Als Datierungshilfen dienen uns dabei auch die zahlreichen Lampen, die in öffentlichen Bauten wie Thermen oder Basiliken sowie in Kastellen und Privathäusern überliefert worden sind. Am besten erhalten geblieben sind in der Regel Lampen, die als Grabbeigaben dienten. Besonders aufschlussreich sind auch Bildlampen, die unterschiedlichste Motive vom Mythos bis hin zu Alltagsszenen zeigen. Der vorherrschende Lampentyp des 1. bis 3. Jahrhunderts nach Christus – und damit am häufigsten vorzufinden – war jedoch die schmucklose Firlampe, die zahlreich produziert wurde und mit einem Stempel des Herstellers versehen war.

Licht – ein luxuriöses Gut

Auch später in Mittelalter und Neuzeit wurden meist die gleichen einfachen Beleuchtungsmethoden verwendet wie in der Antike. Dass man sich unabhängig von den Tageszeiten mit allerhand Gerätschaften künstlich Licht verschaffen konnte, war bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts ein Luxus. Aufgrund ihrer Materialkosten waren viele dieser Geräte für weite Teile der Bevölkerung nicht erschwinglich und sichtbare Zeichen des höheren sozialen Status. Das gilt bereits für die antiken Lampen – angefangen bei den Leuchterfiguren im Palast des Königs Alkinoos – und ist vielfach sozialhistorisch ausgewertet worden. Auffällig ist etwa, dass günstige Tonlampen und selbst Kerzenständer im Mittelalter häufig nach dem Vorbild teurer Metalllampen gestaltet wurden. Besonders deutlich sieht man dies bei sogenannten Statuettenlampen – Lampen, die Figuren nachempfunden sind. Die schönsten derartigen Leuchter stammen aus Kirchen oder auch Burgen.

Im religiösen Kultbereich entwickelten sich in Mittelalter und Neuzeit allerhand aufwendige Sonderformen von Rad- und Kronleuchtern bis hin zu Kandelabern. Die Formgebung und Typik der Leuchten entsprechen dabei wie in der Antike gemeinhin ihrem Zweck – auch bei Glaslampen, „ewigen Lampen“ und Glasleuchtern. So lassen sich etwa an der Menora, einem siebenarmigen Leuchter und einem der wichtigsten Symbole des Judentums, oder an der Chanukka-Lampe, ebenfalls einem Gegenstand der jüdischen Tradition, gut ihre religiösen Funktionen nachvollziehen. Mit Zunahme der Beleuchtungsmittel in bürgerlichen Kreisen kam es schließlich zu einem deutlichen Aufschwung der Produktion von Lampen und Leuchtern in allen erdenklichen Formen. Hinzu kamen auch Lampen mit speziellen Funktionen, etwa für Kranke, die man nachts nicht ohne Licht lassen wollte, oder zur Zeitmessung.

Brennstoffe und Techniken

Die traditionell verwendeten Brennstoffe reichten von Kienspan und Talg aus Tierfett über Wachs, für das man im 19. Jahrhundert Ersatzstoffe entwickelte, bis hin zu Öl aus Oliven und anderen Pflanzen. Die Mahltechniken hierfür blieben bis in das 19. Jahrhundert weitgehend die gleichen wie schon zur Römerzeit. Erst Mitte des 19. Jahrhunderts setzte die Herstellung des dünnflüssigeren Mineralöls oder Petroleums ein. Kurz zuvor hatte man zudem mit der Gasproduktion aus Steinkohle begonnen, auf die man im frühen 19. Jahrhundert vor allem die Straßenbeleuchtung umstellte.

Eine zentrale Herausforderung war seit jeher das Entzünden der Flamme – die Voraussetzung für das Kochen und Heizen ebenso wie für die künstliche Beleuchtung. Die verschiedenen Techniken, die hierzu entwickelt wurden, reichten vom „Feuerbohren“ – dem Erzeugen einer Flamme durch Reibung von Holz auf Holz – über das „Feuerschlagen“ mit Stein oder Stahl bis hin zum Zunderschwamm, der beispielsweise mit Schwefel getränkt wurde. Mit dieser Methode funktioniert auch noch das bis heute bekannte tragbare Luntfeuerzeug, das im frühen 19. Jahrhundert entwickelt wurde. Eine einschneidende Erfindung stellt im Jahr 1780 das erste elektrische Feuerzeug dar – das sogenannte Fürstenberger Feuerzeug –, bei dem Wasserstoff durch einen elektrischen Funken entzündet wurde. 1823 entwickelte der Chemiker Johann Wolfgang Döbereiner (1780–1849) dieses Feuerzeug weiter: In seiner Version zündete nunmehr die Reaktion von Schwefelsäure mit Zink zu Wasserstoff und Sauerstoff als „Knallgas“. Und im Jahr 1826 entdeckte schließlich der Apotheker John Walker (1781–1859) in London, dass mit einer Mischung aus Antimonsulfid und Kaliumchlorat versehene Zündhölzer durch Reiben selbst entflammen.

Rückgriffe auf antike Techniken haben die Weiterentwicklung der Beleuchtungstechnik seit dem Humanismus zunehmend beschleunigt. Diese Regel gilt auch noch im 18. Jahrhundert. Ein ganz besonderer Beitrag wurde durch den damaligen pfalz-bayerischen Minister und Oberkommandierenden der Armee, Benjamin Thompson, Graf Rumford, geleistet, der in Mannheim und dann in München bahnbrechende Experimente zur Energie- und Lichtforschung betrieb. So widerlegte er experimentell die damals anerkannte Erklärung der Wärme, nach der ein „Phlogiston“ genannter „Wärmestoff“ existiere, und machte viele weitere Entdeckungen und praktische Erfindungen. So wurden von ihm und anderen in immer kürzeren Abständen neue effizientere und sparsamere Betriebsarten von Lampen entwickelt, zuerst bei den Öllampen, später Petroleum-, Gas- und Elektrolampen; auch bei diesen verzichtete man nicht auf die künstlerische Ausgestaltung, die das „Gebrauchsobjekt“ Lampe zu einem Repräsentationsgegenstand machte.

„Dass man sich unabhängig von den Tageszeiten mit allerhand Gerätschaften künstlich Licht machen konnte, war lange ein Luxus.“

Frühe archäologische Forschungsarbeit

Antike Leuchten können uns nicht nur Aufschluss geben über das Leben zu früheren Zeiten – auch bei Betrachtungen zur Technikgeschichte der Neuzeit sind sie von großer Bedeutung. Dies zeigt etwa unsere Forschung zur Antikenrezeption in der Ära des Kurfürsten Carl Theodor (1724–1799). Carl Theodor hatte im Jahr 1763 die Akademie der Wissenschaften in Mannheim gegründet, zu der auch das kurpfälzische Antiquarium gehörte. Teil dieses Antiquariums war eine Sammlung mit frühen Fundstücken römischer Lampen und Leuchter, die wir kürzlich im Rahmen einer Heidelberger Magisterarbeit neu erschlossen haben. Erstmals stellten wir diese Lampen 2008 in unserer Ausstellung „Apollo Palatinus“ in Stendal zur Schau. Inzwischen werden sie auch in den Reiss-Engelhorn-Museen in Mannheim gezeigt.

Im Zentrum unserer Forschungen zu Carl Theodors Sammlung steht insbesondere die herausragende archäologische Forschungsarbeit der Mannheimer Akademie zu jener Zeit. Die Archäologen werteten Lampen damals als besonders aussagekräftige Zeugnisse für die antike Kultur, da man sie auch in Gräbern und römischen Katakomben gefunden hatte. Grabbeigaben galten generell als wichtige Überlieferungen einer Kultur. Als eines der frühen archäologischen Museen in Deutschland enthielt das kurpfälzische Antiquarium bereits im 18. Jahrhundert eine große Anzahl antiker Lampen. Diese stammten zum einen aus der bedeutenden Sammlung römischer Bodenfunde des Nijmegener Pfarrers Johannes Smetius (1590–1651), die der Pfälzer Kurfürst Johann Wilhelm (1658–1716) im Jahr 1703 aufgekauft hatte. Zum anderen kamen die Lampen aus Ausgrabungen und Sammeltätigkeit der Akademie selbst. So hatten die Mitglieder der Akademie neben einigen römischen sogar griechische Lampen von ihren Reisen aus Unteritalien mitgebracht.

Die meisten Funde aus der Sammlung Carl Theodors stammen aber sicher aus dem Rheingebiet: Viele der Leuchten – von frühen sogenannten Vogellampen und Reliefbildlampen bis hin zu den einfachen Firmalampen mit und ohne Inschrift – passen zu einer Herkunft aus den Gräberfeldern der Militärlager von Nijmegen. Insgesamt zeigt sich uns hier der Beginn einer sorgfältigen Bodendenkmalpflege eines erleuchteten Zeitalters. Mit dem Einmarsch der französischen Revolutionstruppen in die Pfalz, dem Tod des Kurfürsten und dem Ende der Aufklärung brach dieses vorbildliche Engagement jedoch ab. ●

„Antike Leuchten geben uns nicht nur Aufschluss über das Leben zu früheren Zeiten – auch bei Betrachtungen zur Technikgeschichte der Neuzeit sind sie von großer Bedeutung.“

LET THERE BE LIGHT!

LAMPS FROM ANTIQUITY TO THE MODERN AGE

REINHARD STUPPERICH

It's something that we take for granted: When it gets dark outside, we switch on the light. In the period between antiquity and the modern age, however, artificial light was a luxury that only very few could afford. At the Heidelberg Institute for Classical Archaeology, we investigate the evolution of artificial illuminants and describe important cultural and technical developments in this field. In ancient times, artificial lighting was a considerable challenge for which people found a whole range of different solutions. However, our work is not limited to the theory of conventional lighting technologies – with the help of students from the institute, we have created four different exhibitions over the past few years in order to introduce this subject to the wider public.

Our study of ancient lighting techniques also illustrates how important it is to include both antiquity and the modern era in our investigations. Research on ancient cultural history and its effects provides us with important insights into modern cultural history and the history of technology. We have found that some lines of development, e.g. in the history of invention, are thousands of years older than we originally assumed. This gives fresh meaning to the term 'renaissance' – the 'rebirth' of antiquity – albeit in an unexpected context. Our work also has bearing on interdisciplinary research, such as research on the history of religion: Artificial lighting frequently played an important role in rituals of worship, a fact that gave rise to a number of sophisticated technological variations. ●

PROF. DR REINHARD

STUPPERICH is Managing Director of Heidelberg University's Institute for Classical Archaeology, which he joined in 2001. Prior to that he held positions at the University of Münster, where he earned his PhD in 1989, and later at the University of Mannheim, where he taught and conducted research for more than ten years. Prof. Stupperich's research interests include Greek statuary art and town planning, Roman provincial archaeology and the reception of antiquity. He directs the survey mapping the town of Troezen in Greece and the Heidelberg training excavation in the Roman vicus of Eisenberg, Germany. He is also editor of the archaeological journal 'Thetis' and the monographic series 'Peleus'. In 2000, the Greek president presented Reinhard Stupperich with the Gold Cross of the Order of the Phoenix for his contribution to research on Greek history.

Contact: reinhard.stupperich@zaw.uni-heidelberg.de

“Including both antiquity and the modern age in our investigations provides us with important insights into modern cultural history and the history of technology. Some lines of development are even thousands of years older than we originally assumed.”



ALT & JUNG
AUSGABE 1
OKTOBER 2012



HIMMEL & HÖLLE
AUSGABE 2
APRIL 2013



ORDNUNG & CHAOS
AUSGABE 3
NOVEMBER 2013



KRIEG & FRIEDEN
AUSGABE 4
MAI 2014



DRAUSSEN & DRINNEN
AUSGABE 5
NOVEMBER 2014



GESUND & KRANK
AUSGABE 6
JUNI 2015



SCHATTEN & LICHT
AUSGABE 7
DEZEMBER 2015