

AUSGABE 13
DEZEMBER 2018

RUPERTO CAROLA
FORSCHUNGSMAGAZIN



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

S
S
H
H
H



T
A
K

LIEBE LESERINNEN UND LESER DER RUPERTO CAROLA,

„Sommer ist die Zeit, in der es zu heiß ist, um das zu tun, wozu es im Winter zu kalt war.“ Dieses Zitat von Mark Twain möchte ich der aktuellen Ausgabe unseres Forschungsmagazins RUPERTO CAROLA voranstellen. Es ermöglicht eine leichte Annäherung an unser Schwerpunktthema HEISS & KALT, das – unumgänglich nach dem lang anhaltenden und heißen Sommer 2018 – mit dem Klimawandel eine der großen Herausforderungen unserer Zeit thematisiert. Gleich mehrere Beiträge dieser Ausgabe beschäftigen sich mit diesem drängenden Problem aus der Perspektive ganz unterschiedlicher Disziplinen. Das ist ein herausragendes Beispiel dafür, dass die großen Fragen der Menschheit gemeinsame Anstrengungen im interdisziplinären Verbund der Kompetenzen zwingend erfordern. Wir sind überzeugt davon, dass die große Bandbreite der Forschung an unserer Universität die Basis für die Gestaltung von Zukunft ist.

Das Thema HEISS & KALT begegnet Ihnen in unserem Magazin in vielen unterschiedlichen Zusammenhängen: in der Vulkanologie, in der „heißen Chemie“, bei der Altersdatierung von Eis, bei „heißen“ und „kalten“ Emotionen von Menschen mit Persönlichkeitsstörungen oder bei der Frage, wie Musik Kälte und Hitze ausdrücken kann. Forscherinnen und Forscher von der Pharmakologie über die Kultur- und die Literaturwissenschaft bis zur Physik und der Medizingeschichte spannen den Bogen von HEISS bis KALT.

Ich wünsche Ihnen bei der Lektüre viel Freude und anregende Einsichten.



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



KAPITEL

EXPERTEN IM GESPRÄCH

**HEISSES HERZ UND KÜHLER KOPF
ZWISCHEN KLIMAWANDEL UND NATIONALISMUS**
IM GESPRÄCH MIT THOMAS RAUSCH & BERND SCHNEIDMÜLLER

6

KLIMAÖKONOMIK

EXPERIMENTELLE NAGELPROBE
KLIMAWANDEL: INDIVIDUELL ERZEUGT – KOLLEKTIV ERLITTEN
TIMO GOESCHL

16

PUBLIC HEALTH

DAS VERFLIXTE PROBLEM
KLIMAWANDEL UND GESUNDHEIT
ALINA HERRMANN

24

PALÄOKLIMATOLOGIE

KLIMAKARUSSELL
HEISS-KALTE FERNBEZIEHUNGEN
STEFANIE KABOTH & ANDRÉ BAHR

34

KAPITEL

UMWELTPHYSIK

TATORT ANTARKTIS
WIE HALOGENVERBINDUNGEN DIE WELT VERÄNDERN
UDO FRIEB & JAN-MARCUS NASSE

46

TOXIKOLOGIE

EXOTISCHE ELEMENTE
RADIOAKTIVE TRANSURANE IM MENSCHLICHEN KÖRPER
PETRA PANAK & NICOLE ADAM

56

VULKANOLOGIE

ZWERGE UND MONSTER
AUS DER TIEFE DER ERDE
AXEL SCHMITT

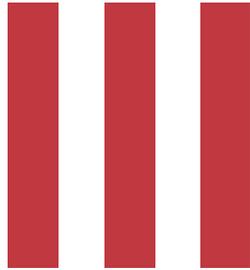
64

PHYSIK

ULTRAKALTE ATOME
DIE GESCHICHTE DES EISES
WERNER AESCHBACH & MARKUS OBERTHALER

72

KAPITEL



EVOLUTIONSFORSCHUNG
VOM WERDEN UND VERGEHEN
ARTENVIELFALT IM WECHSEL VON EIS- UND WARMZEITEN
MARCUS KOCH

82

PHARMAKOLOGIE
VON SCHMERZ ZU SCHMERZ
WIE WIR TEMPERATUREN WAHRNEHMEN
JAN SIEMENS & MUAD ABD EL HAY

90

PSYCHIATRIE
AUSSER KONTROLLE
GEFÜHLE BEI PERSÖNLICHKEITSSTÖRUNGEN
SABINE C. HERPERTZ

98

MEDIZINGESCHICHTE
VON FIEBER UND FROST
SCHWITZKUREN UND KÄLTETHERAPIEN
IM 19. JAHRHUNDERT
KAREN NOLTE

106

IMPRESSUM

115

KAPITEL



KULTURWISSENSCHAFT
DAS KULTURELLE GEDÄCHTNIS
„KALTE“ UND „HEISSE“ GESELLSCHAFTEN
JAN ASSMANN

118

OSTEUROPÄISCHE GESCHICHTE
KALTER KRIEG 2.0
DER KRIEG IN DER UKRAINE
TANJA PENTER

126

LITERATURWISSENSCHAFT & KUNSTGESCHICHTE
ZUFLUCHT IM SCHATTEN
DOMESTIZIERTE NATUR IN GÄRTEN
JULIA BOHNENGEL & MARTINA ENGELBRECHT

134

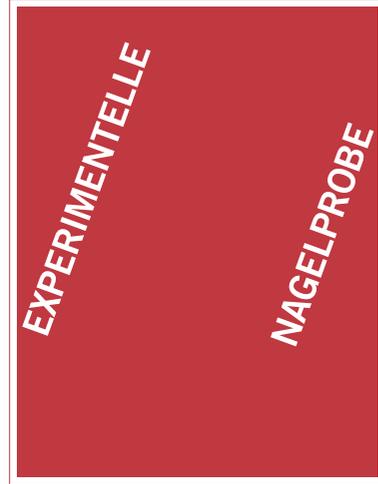
MUSIKWISSENSCHAFT
„DOCH FÜHL' ICH'S HIER WIE FEUER BRENNEN“
HITZE UND KÄLTE IN DER MUSIK VOR 1800
JOACHIM STEINHEUER

144



EXPERTEN IM GESPRÄCH
HEISSES HERZ UND KÜHLER KOPF
ZWISCHEN KLIMAWANDEL UND NATIONALISMUS
IM GESPRÄCH MIT THOMAS RAUSCH &
BERND SCHNEIDMÜLLER

6



KLIMAÖKONOMIK
EXPERIMENTELLE NAGELPROBE
KLIMAWANDEL: INDIVIDUELL ERZEUGT –
KOLLEKTIV ERLITTEN
TIMO GOESCHL

16



PUBLIC HEALTH
DAS VERFLIXTE PROBLEM
KLIMAWANDEL UND GESUNDHEIT
ALINA HERRMANN

24



PALÄOKLIMATOLOGIE
KLIMAKARUSSELL
HEISS-KALTE FERNBEZIEHUNGEN
STEFANIE KABOTH & ANDRÉ BAHR

34

KAPITEL



HEISSER
HERZ
UND

KÜHLER
KOPF

HEISSES HERZ UND KÜHLER KOPF

ZWISCHEN KLIMAWANDEL UND NATIONALISMUS

IM GESPRÄCH MIT THOMAS RAUSCH & BERND SCHNEIDMÜLLER

Die beiden Direktoren des Marsilius-Kollegs, der Pflanzenbiologe Thomas Rausch und der Historiker Bernd Schneidmüller, sprechen über drohende Warm- und Heißzeiten, wieder erstarkenden Nationalismus und die Frage, ob Wissenschaft ein heißes Herz oder eher einen kühlen Kopf braucht.

D

Der vergangene Sommer war nicht nur in Deutschland geprägt von einer Hitzewelle und großer Dürre, was die Diskussion über den Klimawandel angeheizt hat. Welchen Blick haben Sie als Wissenschaftler auf diesen außergewöhnlichen Sommer 2018?

Prof. Rausch: Als Pflanzenbiologe, der sich vor allem für Nutzpflanzen interessiert, sehe ich die Klimaerwärmung als große Herausforderung, zumal sie offenbar schneller kommt als gedacht. Wenn sich die Klimate weiter so verändern, wird es in vielen Bereichen der Erde, auch in Europa und den USA, zu großen Problemen beim Pflanzenanbau und in den Wäldern kommen. In Deutschland werden wir beispielsweise durch die extreme Trockenheit dieses Sommers unter Umständen eine ganze Generation junger Bäume verlieren – der ganze Aufwand an Aufforstungen der vergangenen Jahre kann durch eine Trockenperiode von zwei, drei Monaten zunichtegemacht werden. Solche Ereignisse bedeuten massive ökonomische Einbrüche, die ein

wirtschaftlich relativ starkes Land wie Deutschland noch wegstecken kann – aber andere Länder können das nicht, was sich dann unmittelbar auf die Ernährungssicherheit der Bevölkerung auswirkt. Wir brauchen also ganz neue Pflanzensorten, die mit extremen Klimabedingungen zurechtkommen. In der Wissenschaft gab es bisher die Hoffnung, dass wir Züchtungen bei Nutzpflanzen schneller vorantreiben können mit der Entwicklung der CRISPR/Cas-Technologie, einer molekularbiologischen Methode, mit der wir DNA gezielt schneiden und anschließend verändern können. Aber der Europäische Gerichtshof hat entschieden, dass Pflanzen, die mit dieser Methode gezüchtet werden, den Gesetzen der Gentechnik unterliegen und ihr Anbau entsprechend zu regulieren ist. Das ist ein schwerer Schlag für die Pflanzenzüchtung.

Prof. Schneidmüller: Als Historiker stelle ich zunächst fest, dass das Empfinden, was als heiß oder kalt gilt, in unterschiedlichen Kulturen sehr verschieden ausgeprägt ist. Wenn man die Menschheitsgeschichte anschaut, dann kommen wir aus der Kälte: Die frühen Spuren menschlicher Zivilisation finden wir in der Eiszeit, und die Überwindung der totalen Vereisung der Welt hat überhaupt erst unsere Welt der Menschen hervorgebracht. Wir wissen auch, dass die großen Hochkulturen immer in extrem heißen Klimazonen entstanden sind, dass also Hitze und Fortschritt eng zusammengehören. Bisher haben die Menschen solche Phasen von Wärme und Kälte als natürlich gegeben und nicht steuerbar hingegenommen und erlitten.

„Für Wissenschaft braucht man coolen Fleiß und heiße Begeisterungsfähigkeit – und das im Wechsel.“



Bernd Schneidmüller

Jetzt haben wir zum ersten Mal die Vorstellung eines Anthropozäns, des menschengemachten Klimawandels und eines neuen Erdzeitalters. Dadurch bekommt der Mensch eine Verantwortung, die er in früheren Jahrhunderten nicht empfunden hat – das ist ein ganz wesentlicher Wechsel in der Menschheitsgeschichte.

Gleichzeitig und in scheinbarem Widerspruch dazu war großer Fortschritt zuletzt nur in gemäßigten Klimazonen vorhanden: Die großen Hochkulturen entstanden zwar in sehr warmen und feuchten Regionen, beispielsweise im Nildelta, im Zweistromland oder im Jangtse-Becken – wichtig ist hier die Verbindung von Wärme und Wasser. Wir stellen in der Geschichte aber immer wieder fest, dass nach der Blütezeit dieser Hochkulturen plötzlich Randvölker aus gemäßigten Klimazonen politischen Einfluss gewinnen und auch das Ideal, dass Gemäßigtes das Richtige und für den Menschen Förderlichste und Produktivste sei, überall hintragen. Diese Lehre ist im frühen Mittelalter sehr ausgeprägt und hat den europäischen Aufstieg begleitet – die herrschenden Völker der Kolonialzeit kamen aus den gemäßigten Klimazonen. Und es ist interessant, dass nun die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus genau diesen Ländern wieder die gemäßigten Klimazonen als Zukunft anmahnen und anstreben. Die Sehnsucht nach dem Gemäßigten ist ein typisches Merkmal unserer europäisch-nordamerikanischen Welt.

In den Jahrhunderten zwischen 1000 und 1300 gab es eine starke Warmzeit. Lassen sich von den gesellschaftlichen Prozessen während dieser Zeit Rückschlüsse für Gegenwart und Zukunft unter einem Klimawandel ziehen?

Prof. Schneidmüller: Als Wissenschaftler sehe ich da nur Korrelationen, aber keine Kausalitäten. Die mittelalterliche Warmzeit war extrem kulturbefördernd, hat zu einem massiven Bevölkerungswachstum und Landesausbau und damit zu einer Verdichtung unseres Kontinents geführt. Es wurden nun auch Gegenden besiedelt, die bisher als wenig attraktiv galten. Dann kam es auf mehreren Ebenen zur großen Katastrophe des 14. Jahrhunderts: Es gab eine massive Klimaverschlechterung, die wir inzwischen auch gut naturwissenschaftlich nachweisen können; es gab die Pestkatastrophe, Judenverfolgungen, Geißlerzüge. Als Historiker kann ich somit konstatieren, dass Gesellschaften, die – ob selbst verursacht oder der Natur geschuldet – von Katastrophen heimgesucht werden, unkontrolliert reagieren. In der Regel kommt es zu Gewaltexzessen und sozialen Umbrüchen ungeahnten und vor allem unkontrollierbaren Ausmaßes. Da wir aber die Klimaentwicklung bisher nur abbilden, nicht aber in einer Kausalität darstellen können, kann ich aus dieser Beobachtung noch nichts für die Zukunft gewinnen – ich kann lediglich sagen, dass ein massiver Klimawandel in ganz besonderem Maße treibend wirkt für einen Umbruch gesellschaftlicher Strukturen und Wertesysteme.

Wenn wir eine massive Klimaveränderung haben werden, dann wissen wir, dass sich auf jeden Fall unsere gesellschaftlichen Systeme ebenso radikal verändern werden – wir wissen aber nicht wie, und auch nicht, ob das gut oder schlecht sein wird.

Prof. Rausch: Während der extremen Hitzewelle im Sommer gab es eine Veröffentlichung aus den Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), die für viel Aufsehen gesorgt hat. Darin warnen die Autoren, dass wir wegen der offenbar schnelleren Entwicklung des Klimawandels und wegen „tipping points“, also Kippunkten mit plötzlich umschlagenden und unumkehrbaren Entwicklungen, möglicherweise nicht nur vor einer Warmzeit, sondern langfristig sogar vor einer Heißzeit stehen. In diesem Artikel treffen Naturwissenschaftler genau die gleiche Aussage wie hier der Historiker: dass die Wahrscheinlichkeit für solche gesellschaftlichen Umbrüche und Verwerfungen ganz extrem steigt. Die Autoren sind in ihren Aussagen sehr direkt und fordern ein gesamtgesellschaftliches Umdenken auf allen Ebenen. Die Vision dieser Wissenschaftler, was passieren müsste, ihre klaren Aussagen, welche Stakeholder beteiligt sein müssen, wenn wir aus dieser Sackgasse wieder herauskommen wollen, das alles hätte übrigens auch aus dem Marsilius-Kolleg kommen können!

Welche Aufgabe schreiben Sie der Wissenschaft beim Thema Klimawandel zu?

Prof. Rausch: Wenn jetzt politisch nichts passiert, wird die Menschheit bereits in 20, 30 Jahren dafür bezahlen. Als Wissenschaftler ist es unsere Aufgabe, an die Öffentlichkeit zu gehen und dabei die Kommunikation so zu wählen, dass wir unsere Zielgruppen auch tatsächlich



Thomas Rausch

„Die nötigen Daten für Veränderungen sind zu einem großen Teil da, die technischen Lösungen auch – aber man muss sie auch umsetzen.“

„Wir müssen globale Themen regional auf die Spezifika der jeweiligen Länder herunterbrechen und regionenspezifische Lösungen erarbeiten.“

Thomas Rausch

erreichen – das müssen Wissenschaftler oft erst lernen. Ich beschäftige mich beispielsweise mit dem Thema Bioökonomie, dem Wechsel von einer erdölbasierten Wirtschaft zu einer Ökonomie auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Dieser Begriff ist in der Bevölkerung noch gar nicht angekommen, obwohl bereits sehr viele Nationen Strategien dafür entwickelt haben – bisher aber ohne großes Feedback in der Bevölkerung. Wir müssen uns nicht nur verständlich ausdrücken, sondern wir müssen auch Showcase-Fälle entwickeln, die direkt am Leben der Menschen ansetzen, und Beispiele zeigen, die sie umsetzen können.

Ist vor der Umsetzung von Lösungen nicht zunächst einmal ein plausibles Narrativ nötig? Brauchen wir nicht Wissenschaftler, die den Überblick und das Faktenwissen haben, aber zugleich auch den Mut, daraus ein allgemein verständliches Narrativ zu entwickeln?

Prof. Schneidmüller: Das Problem ist, dass es nicht ein plausibles Narrativ geben kann – es gibt eine Fülle plausibler Szenarien. Wenn jemand ein klares Narrativ mit einer klaren Lösungsstrategie hat, dann wird er eher als wunderbar wahrgenommen. Das plausible Narrativ löst sich auf in unterschiedliche Plausibilitätsstrukturen, und da setzt die Aufgabe von Wissenschaft ein: Mit einer entemotionalisierten Herangehensweise Menschen klarzumachen, welche Handlungsmöglichkeiten bestehen, und zu sagen, dass wir eine ganze Fülle solcher Schritte brauchen. Die Wissenschaft muss Psychologie, Gesellschaft, Natur und Technik zusammenfügen und klarmachen, dass viele kleine und



PROF. DR. THOMAS RAUSCH lehrt und forscht seit 1994 als Professor für Molekulare Physiologie der Pflanzen am Centre for Organismal Studies (COS) Heidelberg und ist seit 2014 Direktor des Marsilius-Kollegs. Zuvor war er von 2010 bis 2013 Prorektor für Forschung und Struktur der Universität Heidelberg. Er ist Mitbegründer des Heidelberger Instituts für Pflanzenwissenschaften, aus dem 2010 zusammen mit dem Heidelberger Institut für Zoologie das COS hervorging. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Molekulare Pflanzenbiologie, Stressbewältigungsstrategien von Pflanzen sowie gentechnische Aspekte des pflanzlichen Stoffwechsels.

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

große Schritte oder Versuche nötig sind und dass auch Fehler passieren werden, aber dass dieser Weg unumgänglich ist.

Prof. Rausch: Narrative wie auch Kommunikationsstrategien müssen regional unterschiedlich sein. Wir müssen globale Themen regional auf die Spezifika der jeweiligen Länder und Regionen herunterbrechen und regionenspezifische Lösungen erarbeiten. Für die Bioökonomie haben mittlerweile mehr als 60 Länder weltweit eine Strategie, auf staatlicher Ebene findet sehr viel Austausch statt. Kolumbien braucht auf alle Fälle ein ganz anderes Narrativ als Deutschland, auch der ehemalige Koka-Bauer muss das Gefühl haben, dass sein Verhalten sinnvoll ist und eine Veränderung bewirkt.

Verhaltensänderungen sind ja auch möglich, wie das Beispiel Mülltrennung zeigt. Schwierig wird es bei Verhaltensänderungen, die Verzicht bedeuten und damit wehtun – etwa das uns lieb gewordene, aber sehr klimaschädliche Fliegen.

Prof. Rausch: Große Veränderungen sind nicht ohne Investitionen zu initiieren. Ein Beispiel für Veränderungen aufgrund von Investitionen ist die massive Subventionierung der Atomkraft seit den 1950er-Jahren bis heute. Die Sorge, dass es irgendwann kein Öl mehr aus dem Nahen Osten gibt, hat diese Subventionierung zumindest sehr erleichtert. Wenn es das Szenario gibt, dass uns notwendig erscheinende Dinge plötzlich infrage stehen, dann ist auf einmal Geld da. Um zu einer Verhaltensänderung zu

DEAR READERS OF RUPERTO CAROLA,

“Summer is the time when it is too hot to do the job that it was too cold to do last winter.” This quote by Mark Twain seems to me the perfect introduction to the newest edition of our RUPERTO CAROLA research journal. It segues seamlessly into our central subject of HOT & COLD, which – not surprisingly after the long, hot summer of 2018 – deals with one of the great challenges of our time: climate change. Several articles in this edition study this urgent problem from the perspective of very different disciplines – an excellent example of how humankind’s biggest issues can only be addressed through cooperation across disciplines and the pooling of knowledge and competences. We firmly believe that the breadth of study at our University is the foundation upon which our future will be built.

As you peruse our journal, you will encounter the subject of HOT & COLD in many other contexts as well: in volcanology, “hot chemistry”, in the age dating of ice, in the “hot” and “cold” emotions that are typical of personality disorders and in the question of how heat and cold can be expressed through music. Researchers from such diverse fields as pharmacology, cultural studies, literature, physics and the history of medicine will take you on a journey exploring the many facets of HOT and COLD. I wish you an enjoyable and inspiring reading experience.

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

„Ein massiver Klimaumbruch wirkt in ganz besonderem Maße treibend für einen Umbruch gesellschaftlicher Strukturen und Wertesysteme.“

Bernd Schneidmüller

kommen, darf man ein Szenario aber nicht als Weltuntergang zeichnen, sondern als reales Entwicklungsszenario, das zwangsläufig bestimmte Folgen hat, die bis in unser Privatleben reichen. Bei solchen Strategien stehen wir allerdings immer noch ganz am Anfang.

Prof. Schneidmüller: Der Weg der Demokratisierung und der Partizipation vieler an ökonomischen Ressourcen ist unumkehrbar und wird auch unser zukünftiges Handeln bestimmen. Daher kann auch nicht plötzlich ein allgemeiner Verzicht proklamiert werden, weil wir die Demokratie und die wirtschaftliche Entwicklung als integrierte Fortschrittsgeschichte erlebt haben. Wir müssen unter apokalyptischen Vorzeichen umsteuern, und das erfordert neben einem sorgfältigen gesellschaftlichen Umdeuten auch eine stärkere Nutzung technologischer Möglichkeiten. Es ist vieles machbar, was vor 20, 30 Jahren noch undenkbar gewesen wäre. Wir haben ja auch schon große Herausforderungen in den Griff bekommen, denken wir etwa an das Ozonloch und den darauf folgenden Verzicht auf FCKW, da hat es teilweise geklappt.

Prof. Rausch: Die nötigen Daten sind zu einem großen Teil da, die technischen Lösungen auch – aber man muss sie auch umsetzen. Wir leben allerdings nicht in einer interessengruppenfreien Welt – und es gibt leider Interessen, die bestimmten Entwicklungen klar entgegenstehen. Beispielsweise hätte eine Reduzierung des weltweiten Fleischkonsums um 20 Prozent einen massiven Effekt

auf das Klima – aber als vor einiger Zeit die „Grünen“ den Vorschlag eines fleischfreien Tags in der Woche gemacht haben, wurde dies als Bevormundung zurückgewiesen. Eine solche Diskussion müsste aber verantwortlich von den großen Parteien in einem übergreifenden Sinne initiiert werden – und das findet nicht statt. Letztendlich kommen wir hier auch auf Wertefragen zurück, und die müssen wir proaktiv adressieren.

Herr Schneidmüller, zu Ihren Forschungsschwerpunkten gehört die europäische Nationenbildung. Zurzeit erleben wir in Europa ein Wiedererstarken des Nationalismus. Treten wir bei diesem Thema in eine neue „heiße Phase“ ein?

Prof. Schneidmüller: Die Nation ist ein typisches Produkt der europäischen Geschichte, ein Muster, bei dem man möglichst viele Menschen in einen Verantwortungsverband holt. Zunächst einmal ist Nationenbildung ganz wertfrei die Partizipation von Menschen, die sich zur Nation bekennen, die sie gut finden, darin leben wollen und auch Verantwortung für die Nation übernehmen wollen. Sie ist auch die Integration von Menschen in eine Idee und eine Form von Regieren. Das Problem in der europäischen Geschichte ist, dass diese Form in einen Nationalismus umkippt, der so emotionalisiert ist, dass er nicht mehr zu beherrschen ist. Ich erlebe im Moment die Renationalisierung Europas als eine Versicherung von Wurzeln in einer Lebenswelt, die unplanbar geworden ist. Wo das nun hinführt, ob zu einer Entemotionalisierung gesellschaftlichen Zusammenlebens

HOT HEART, COOL HEAD

BETWEEN CLIMATE CHANGE AND NATIONALISM

INTERVIEW WITH THOMAS RAUSCH & BERND SCHNEIDMÜLLER

The summer of 2018 – extraordinarily hot in many parts of the earth, and in some regions also extremely dry – has focused public attention once more on the subject of global warming and climate change. Scientists warn that, due to the unexpectedly fast changes in the climate and to so-called “tipping points”, at which developments alter abruptly and irreversibly, the earth may be approaching not just a regular interglacial warm period, but a new hot age, and that this development is already in progress. At the same time, Europe and other world regions are experiencing a resurgence of nationalist sentiment that many believed to be long in the past. What is the role of science amid these “hot” developments? How can science explain the changes and contribute to successful countermeasures? That is the subject of discussion between the two directors of the Marsilius Kolleg, plant biologist Thomas Rausch and historian Bernd Schneidmüller.

“As scientists, it is our task to address the public and to choose a form of communication that actually reaches our target groups”, says Thomas Rausch on the subject of climate change. He believes that global issues must be broken down regionally to the specifics of the individual countries and regions in order to arrive at targeted solutions. In his own field of research, Rausch sees a necessity to develop new types of crop plants that can withstand extreme climatic conditions. Bernd Schneidmüller views the renationalisation of Europe as the result of a longing for the security of roots in a world that has become unplannable. He holds that this unexpected revival of the nation state can be explained by the fact that this is the model Europe has “trained on” for the past 200 years and that so far, no plausible alternative form of thinking or government has presented itself. According to him, no one can know whether this renationalisation will de-emotionalise our social coexistence or lead to a new surge of emotion that includes xenophobia and hostility. ●

PROF. DR THOMAS RAUSCH has been professor of molecular physiology of plants at the Heidelberg Centre for Organismal Studies (COS) since 1994 and in 2014 became co-director of the Marsilius Kolleg. From 2010 to 2013, he held the position of Vice-President Research and Structure of Heidelberg University. Thomas Rausch co-founded the Heidelberg Institute for Plant Sciences, which merged with the Institute for Zoology in 2010 to form the COS. His research interests include molecular plant biology, stress management techniques of plants and genetic aspects of the plant metabolism.

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

PROF. DR BERND SCHNEIDMÜLLER joined Heidelberg University in 2003 as professor of medieval history and has been co-director of the Marsilius Kolleg since 2014. He also heads the Department of History and the Institute for Franconian and Palatine History of Heidelberg University. His research focuses on the comparative history of medieval Europe, order configurations and the dynamics of rituals, as well as regional history. He has helped to conceptualise numerous large historical exhibitions, among them “Die Päpste und die Einheit der lateinischen Welt” (The Popes and the Unity of the Latin World) in 2017. Professor Schneidmüller has been a member of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities since 2005.

Contact: bernd.schneidmueller@zegk.uni-heidelberg.de

“The great civilisations of the past all developed in extremely hot climate zones – heat and progress are closely interrelated.”

Bernd Schneidmüller

“Global issues must be broken down regionally to the specifics of the individual countries and regions if we are to arrive at targeted solutions.”

Thomas Rausch

oder zu einem neuen Ausbruch von Emotionalität auch im Sinne von Xenophobie oder Feindseligkeit, das weiß ich nicht. Vor 20 Jahren hatten wir gedacht, dass die Nationen in Europa überwunden würden – es war nicht absehbar, dass wir plötzlich diese Renationalisierung erleben würden.

Prof. Rausch: Ich denke bei Europa eher an Regionen als an Nationen – man hat ja auch einmal vom „Europa der Regionen“ gesprochen. Was ist damit passiert?

Marsilius-Kolleg: Brücken zwischen Disziplinen bauen

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

Etwa zwölf Fellows der Universität Heidelberg werden jedes Jahr an das Marsilius-Kolleg berufen, um sich fundamentalen Fragestellungen aus interdisziplinärer Perspektive zu widmen. Aus ihren Diskussionen gehen die sogenannten Marsilius-Projekte hervor, die die einjährige Zusammenarbeit der Fellows in längerfristige fächerübergreifende Forschungsverbände überführen. Das Marsilius-Kolleg errichtet auf diese Weise ein forschungsbasiertes Netzwerk zwischen den Lebens- und Naturwissenschaften einerseits und den Sozial-, Rechts-, Geistes- und Kulturwissenschaften andererseits. Bisher wurden fünf Projekte erfolgreich abgeschlossen: „Menschenbild und Menschenwürde“, „Perspectives of Ageing in the Process of Social and Cultural Change“, „The Global Governance of Climate Engineering“, „Ethische und rechtliche Aspekte der Totalsequenzierung des menschlichen Genoms“ sowie „Gleichheit und Ungleichheit bei der Leberallokation“.

www.marsilius-kolleg.uni-heidelberg.de



PROF. DR. BERND SCHNEIDMÜLLER forscht und lehrt seit 2003 als Professor für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Heidelberg und ist seit 2014 Direktor des Marsilius-Kollegs. Zudem ist er Direktor des Historischen Seminars und des Instituts für Fränkisch-Pfälzische Geschichte und Landeskunde der Universität Heidelberg. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die vergleichende Geschichte Europas im Mittelalter, Ordnungskonfigurationen und Ritualdynamik sowie landesgeschichtliche Forschungen. Er hat zahlreiche große historische Ausstellungen mitkonzipiert, zuletzt „Die Päpste und die Einheit der lateinischen Welt“ (2017). Seit 2005 ist Prof. Schneidmüller Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften.

Kontakt: bernd.schneidmueller@zegk.uni-heidelberg.de

Das ist ja auch eine Rückversicherung, warum greift das nicht stärker?

Prof. Schneidmüller: Offensichtlich bietet die Region nicht hinreichend Vergewisserung. Sie kann zwar Lebenswelt und Heimat sein, aber in einem staatlichen Gefüge ist zurzeit die Nation unser Handlungsfeld. Dass die Nation jetzt ein Revival erlebt, ist für einen Historiker zunächst überraschend – aber er kann es auch erklären: Es ist eine Lebensform, in der wir in Europa 200 Jahre trainiert wurden; wir haben die Katastrophen erlebt und auch die Möglichkeiten. Das Wesentliche ist, dass wir noch keine andere Denk- und Herrschaftsform haben, die sich als Alternative anbietet. Nationen waren schon immer integrationsfähig. Die Frage ist nur, wie sehr. Es ist interessant, dass Themen, die ich für erledigt gehalten hatte, in einer Phase der Verunsicherung und Selbstvergewisserung wieder „heiß“ werden. Die Nation hat versucht, die Menschen zu integrieren. Das hat auch die Europäische Union versucht – aber ihr ist es noch nicht in Gänze gelungen. Den Prozess der Internationalisierung halte ich in einer globalisierten Welt allerdings für unumkehrbar. Daher sehe ich die Nation eher als Durchgangsstation – aber diese kann noch ziemlich lange dauern.

Eine letzte Frage: Braucht man für Wissenschaft eher einen kühlen Kopf oder eher ein heißes Herz?

Prof. Schneidmüller: Man braucht coolen Fleiß und heiße Begeisterungsfähigkeit – und das im Wechsel. Wenn man immer nur begeistert ist von neuen Ideen, kommt man nicht zur empirischen Ausgestaltung und Absicherung und nicht zur Publikation. Im Gegenzug braucht auch der kühle Kopf Freude und Überzeugungsfähigkeit – Überzeugungskraft erwächst aus heißer Begeisterung. Es geht um Prozesse des Gesteuerten und Ungesteuerten, des Geplanten und Ungeplanten – jeder, der Wissenschaft betreibt, weiß, dass die interessantesten Dinge ungeplant erwachsen sind, als Zufallsprodukte der Wissenschaftsgeschichte. Wichtig ist, den manchmal erforderlichen Rückzug in den Elfenbeinturm in eine möglichst offene und heiße Diskussionskultur einzubetten – und unsere Universität bietet den Freiraum, das zu ermöglichen und zu fördern. ●

Das Interview führten Marietta Fuhrmann-Koch & Mirjam Mohr

EXPERIMENTELLE

NAGELPROBE

EXPERIMENTELLE NAGELPROBE

KLIMAWANDEL: INDIVIDUELL ERZEUGT – KOLLEKTIV ERLITTEN

TIMO GOESCHL

Im Zeichen eines sich zunehmend aufheizenden Planeten steht die Menschheit vor einem zentralen Entscheidungsproblem: Der Wahl zwischen einer Verbesserung der materiellen Lebensverhältnisse heute und einer Verschlechterung der klimatischen Bedingungen für die Grundstein für die zukünftiger Gesellschaften. Diese Frage legte den Grundstein für die Klimaökonomik, die unter anderem zu folgendem Resultat kam: Angesichts der Höhe der Schäden durch Klimawandel und deren internationaler Verteilung wäre es nicht nur verantwortungsvoll, sondern auch global wohlfahrtssteigernd, wenn Menschen in den wirtschaftlich begünstigten Regionen der Erde ihren individuellen Beitrag zur globalen Kohlenstoffbilanz einschränkten. Welche Rolle spielt dabei freiwilliger Klimaschutz? Und wie groß ist die entsprechende Bereitschaft in der Bevölkerung?

D

Der Beginn der ökonomischen Forschung über den Klimawandel lässt sich ziemlich präzise datieren: Im Mai 1977 erschien im „American Economic Review“ ein Artikel von William Nordhaus mit dem unspektakulären Titel „Wirtschaftswachstum und Klima: Das Kohlendioxid-Problem“. Auf etwa sechs Seiten brachte Nordhaus bereits vor vierzig Jahren das zentrale Entscheidungsproblem für die menschlichen Gesellschaften des fossilen Zeitalters auf den Punkt: Im Mittelpunkt des Klimaproblems stehe die Wahl zwischen einer Verbesserung der materiellen Lebensgrundlage heute und einer Verschlechterung der klimatischen Bedingungen für die Lebensgrundlage zukünftiger Gesellschaften. Angesichts der globalen Natur des Klimasystems und aufgrund der tiefen Verwobenheit zwischen unserer Wirtschaftsweise und der Erzeugung von Treibhausgasen treffen wir diese Wahl tagtäglich und aufgeteilt auf Milliarden von Einzelentscheidungen. Ob ein Auto gestartet, eine Klimaanlage eingeschaltet oder ein Stück Rindfleisch verzehrt wird: Klimawandel wird individuell erzeugt und kollektiv erlitten. Gerade diese Spannung zwischen den Skalen, zwischen hunderteckigen kleinen Entscheidungen auf individueller Ebene einerseits und einem Klimaproblem auf planetarer Ebene andererseits, ist eine der konzeptionellen Herausforderungen in der Klimapolitik.

Nordhaus' Artikel hat den Grundstein für die heutige Klimaökonomik gelegt. Eines ihrer Resultate ist: Angesichts der Höhe der Schäden durch Klimawandel und deren internationaler Verteilung wäre es nicht nur verantwortungsvoll, sondern auch global wohlfahrtssteigernd, wenn Menschen in den wirtschaftlich begünstigten Regionen der Erde ihren individuellen Beitrag zur globalen Kohlenstoffbilanz einschränkten. Tatsächlich unternimmt ein gewisser Anteil der Bevölkerung auch Anstrengungen, die mit ihren Entscheidungen verbundenen Treibhausgasemissionen zu verringern. Insbesondere gehen solche Anstrengungen auch oft über das Maß hinaus, das Bürgern über Gesetze, Steuern und Regulationen bereits auferlegt ist. Beispiele für solche Anstrengungen sind der freiwillige Verzicht auf Fleischkonsum und Beiträge für Aufforstungsprojekte als Ausgleich für Interkontinentalflüge. Das Entscheidungsproblem zu lösen, indem man freiwillig solche materiellen Opfer zugunsten geringerer Klimaschäden in der Zukunft erbringt, bezeichnet die Literatur als „freiwilligen Klimaschutz“ oder „Voluntary Climate Action“ (VCA).

Wie groß ist das VCA-Potenzial in der Bevölkerung?

Können freiwillige Aktionen einen bedeutenden Beitrag zur Lösung des Klimaproblems leisten? Ist das Potenzial für VCA in der Bevölkerung groß genug? Vertreter der These, dass dieses Potenzial ausreichend vorhanden ist, weisen zu Recht darauf hin, dass überschaubare freiwillige Anstrengungen der Allgemeinheit nicht notwendigerweise

auf eine mangelnde Bereitschaft schließen lassen. Vielmehr, so die These, sei ein nur kleines aktuelles Volumen an VCA auf fehlendes Know-how und fehlende Gelegenheiten zurückzuführen, das beträchtliche Reservoir von VCA in der Bevölkerung zu mobilisieren. Angeraten seien daher politische Maßnahmen, die Anleitungen zu VCA geben und Gelegenheiten schaffen, solchen freiwilligen Klimaschutz unkompliziert umzusetzen.

Die These vom VCA-Reservoir in der Bevölkerung ist intellektuell spannend. Denn einerseits machen die klassischen ökonomischen Modelle der sogenannten privaten Bereitstellung öffentlicher Güter – wie eben VCA – vor allem für globale Probleme sehr pessimistische Voraussagen. Andererseits ist es gerade die empirische Wirtschaftsforschung, die beispielsweise im karitativen Sektor immer wieder statistisch belegbare Anhaltspunkte für Phänomene findet, die auch ein Reservoir an VCA begründen könnten. Die Stichhaltigkeit der These ist daher nicht nur politisch relevant, sondern auch bedeutend für die Weiterentwicklung des intellektuellen Unterbaus der Klimaökonomik. Mit dieser intellektuellen Spannung und einem überzeugenden methodischen Ansatz hat auch ein Team experimenteller Umweltökonominnen am Forschungszentrum für Umweltökonomik (FZU) der Universität Heidelberg vor einigen Jahren erfolgreich einen Antrag bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) auf Förderung eines entsprechenden Forschungsprojekts begründet.

Der Zusammenhang zwischen VCA und der Höhe der Kosten

Wie lässt sich VCA valide messen? Um das zentrale Entscheidungsproblem der Klimaökonomik nachzubilden, bedient sich die vorgeschlagene Methodik der Forscher am FZU der Werkzeuge ökonomischer Internet-Experimente. In den Experimenten wird einer für das Internet repräsentativen Stichprobe der deutschen Bevölkerung von mehreren Tausend Bürgern eine einfache und vor allem wirkmächtige Gelegenheit gegeben, ein materielles Opfer – in Form von Verzicht auf eine Geldzahlung – zu erbringen, um freiwilligen Klimaschutz auszuüben. Dabei ist für die Forscher einerseits von Wichtigkeit, ob die Bundesbürger diese zugängliche und effektive Gelegenheit nutzen – schließlich genießt Deutschland international hohes Ansehen als ein Land mit einer umweltpolitisch gut motivierbaren Bevölkerung. Andererseits ist es von ebenso großem Interesse, welchen Unterschied dabei die Höhe des Opfers macht, das die Bürger für freiwilligen Klimaschutz erbringen müssen. Diese Frage ist in ökonomischer und klimapolitischer Hinsicht ganz zentral: Wie viel hilft es dem freiwilligen Klimaschutz, wenn er billig umzusetzen ist? Mit welcher Dämpfung von VCA ist zu rechnen, sollte Klimaschutz nur zu hohen Opfern zu erreichen sein? Die Forschung zu Vermeidungskosten geht von möglichen Kosten bis zu 100 Euro pro Tonne

vermiedener Kohlendioxidemissionen aus. Schrumpft VCA unter solchen Bedingungen auf eine kaum wahrnehmbare Größe zusammen? Oder ist die Bereitschaft zu VCA auch bei hohen Kosten ungebrochen?

Um der Beziehung zwischen VCA und materiellem Opfer auf die Spur zu kommen, muss das Entscheidungsproblem konkretisiert werden. Dabei griff das FZU-Team auf eine Umsetzung zurück, die in Heidelberg erstmals 2008 entwickelt wurde und seither in den Experimenten zahlreicher Forscher zu Klimaschutz Anwendung gefunden hat. Die Teilnehmer müssen sich zwischen zwei möglichen Optionen entscheiden: Entweder bekommen sie Geld ausgezahlt – oder sie verzichten auf das Geld und veranlassen stattdessen zertifizierte und überprüfbare Reduktionen von Treibhausgasemissionen im Ausmaß von einer Tonne Kohlendioxid. Möglich macht diese Konkretisierung das europäische Emissionshandelssystem: Beim EU-Handel mit Emissionsrechten müssen sich Unternehmen mit dem Erwerb von Emissionszertifikaten das Recht erkaufen, Kohlendioxid auszustoßen. Ein einzelnes Zertifikat berechtigt dabei zum Ausstoß einer Tonne Kohlendioxid. Die EU legt fest, wie viel Kohlendioxid jährlich in die Atmosphäre abgegeben werden darf, wobei die Ausgabemenge der Zertifikate jährlich verringert wird, um die Schadstoffbelastung zu senken. Über einen Zuteilungsplan wird festgelegt, welche Unternehmen wie viele Emissionszertifikate erhalten. Unternehmen mit einem geringeren Kohlendioxidausstoß können ihre überschüssigen Emissionszertifikate verkaufen.

Diese Regelung erlaubt somit dem Experimentator eines Forschungsprojekts, einzelne per Seriennummer identifizierbare Emissionszertifikate nicht nur zu erwerben, sondern auch nachvollziehbar zu löschen und damit dem Emissionsdeckel in der Europäischen Union zu entziehen. Während bei dem Experiment die Menge des VCA damit auf eine Tonne Kohlendioxid fixiert ist, variieren die monetären Auszahlungen beträchtlich: Alternativ zum VCA werden den Teilnehmern direkte Zahlungen zwischen zwei Euro und 100 Euro geboten, wobei die konkrete Höhe des Betrags nach dem Zufallsprinzip ausgewählt wird. Damit ist für manchen Bürger das materielle Opfer klein, für andere aber recht beträchtlich.

Für alle Teilnehmer gibt es eine feste, auf einer Auslosung basierende Wahrscheinlichkeit von im Regelfall 1:50, dass ihre getroffene Entscheidung auch tatsächlich durchgeführt wird. Werden sie ausgelost, bekommen jene, die das Geld gewählt haben, den Betrag ausbezahlt, und jene, die sich für VCA entschieden haben, bekommen einen Nachweis über die Löschung eines Zertifikats. Das heißt, die Bürger treffen echte Entscheidungen mit echten Konsequenzen. Eine Reihe von Kontrollfragen sowie Angaben über demographische und andere Eigenschaften der Teilnehmer sorgen dafür, dass

„Ob ein Auto gestartet, eine Klimaanlage eingeschaltet oder ein Stück Rindfleisch verzehrt wird: Klimawandel wird individuell erzeugt und kollektiv erlitten.“

die Wissenschaftler die Bestimmungsgründe der Entscheidungen einer weiteren Analyse unterziehen können.

Ein „unelastisches“ Angebot von VCA in der Bevölkerung

Wie entscheidet sich nun eine repräsentative Stichprobe von Bundesbürgern, wenn sie mit einer einfachen und unmittelbaren Gelegenheit zu VCA konfrontiert ist, dafür aber ein materielles Opfer erbringen muss? An der zentralen Studie des FZU-Forschungsprojektes nahmen knapp 2.500 Bürger teil – und tatsächlich entschieden sich nur 16 Prozent dieser Teilnehmer für den freiwilligen Klimaschutz. 84 Prozent wählten hingegen die Auszahlung eines Geldbetrags, dessen Quelle die Fördermittel der DFG waren. Das heißt zunächst, dass, erst einmal unabhängig von der Höhe des zu erbringenden Opfers, kein großes Reservoir von VCA in der Bevölkerung vorhanden ist. Doch dieses Ergebnis allein sagt noch wenig darüber aus, ob möglicherweise bei geringen Kosten ein großer Anteil der Teilnehmer zu VCA bereit ist. Der gegen die These sprechende Durchschnitt ließe sich ja beispielsweise dadurch erklären, dass ab einem gewissen Opfer überhaupt kein freiwilliger Klimaschutz mehr zustande kommt, bei einem kleinen Opfer aber sehr viel.

„Jene Bürger, die an freiwilligem Klimaschutz kein Interesse haben, können sich auch bei unmittelbarer Gelegenheit, vollem Know-how und geringen Kosten nicht dazu durchringen.“

Forschungszentrum für Umweltökonomik

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

www.uni-heidelberg.de/fakultaeten/wiso/awi/professuren/umwelt/fzu.html

Betrachtet man nun den Zusammenhang zwischen dem monetären Opfer, das Teilnehmer für VCA erbringen müssen, und der Häufigkeit von VCA, so zeigt sich schnell, dass sich bei einem höheren Opfer zwar ein geringerer Anteil der Teilnehmer für VCA entscheidet. Doch der Unterschied an den Enden der Skala ist kleiner als erwartet: Auch wenn VCA den Bürger nur zwei oder vier Euro kostet, so entscheiden sich noch immer etwa zwei Drittel der Teilnehmer für das Geld und ein Drittel für VCA. Bei einem Opfer von 100 Euro ist es etwas weniger als ein Sechstel, das die Gelegenheit für freiwilligen Klimaschutz wahrnimmt. Die Höhe des Opfers spielt also eine Rolle, die auch statistisch hochgradig signifikant ist – aber diese Rolle ist verhältnismäßig gering. Jene Bürger, die an freiwilligem Klimaschutz kein Interesse haben, können sich auch bei unmittelbarer Gelegenheit, vollem Know-how und geringen Kosten nicht dazu durchringen. Und der kleine, aber nicht vernachlässigbare Anteil der Bevölkerung, der zu freiwilligem Klimaschutz motiviert ist, nimmt die Gelegenheit dazu fast unabhängig davon wahr, ob die Kosten am unteren oder am oberen Ende der technologisch vermuteten Größen liegen. Der Ökonom drückt das Phänomen, dass ein Preis (hier also das monetäre Opfer) nur einen geringen Einfluss auf die Menge (hier von VCA) hat, durch sogenannte Elastizitäten aus. Das Angebot von VCA in der Bevölkerung ist also nach vorliegender Evidenz „unelastisch“. Aus der

EXPERIMENTAL LITMUS TEST

CLIMATE CHANGE – AN INDIVIDUAL CHOICE WITH GLOBAL REPERCUSSIONS

TIMO GOESCHL

Since the mid-1970s, economists have been considering the “carbon dioxide problem”. In a fossil-fuel economy, it boils down to this simple decision: do I realise a small improvement to my material well-being today? Or do I forego this benefit in the interests of not adding to the global atmospheric carbon stock that induces climate change? This decision is taken billions of times a day, when people shop, travel, etc. Economics offers competing conjectures on the outcome of these myriad decisions, ranging from highly pessimistic theoretical results to mildly optimistic empirical evidence indicating that sometimes people do choose to help fight climate change. If they do so voluntarily, economists refer to this behaviour as “voluntary climate action” (VCA). And there are policy-makers and commentators who believe that there is considerable demand for VCA, only held up by a lack of know-how and opportunity.

Environmental economists at Heidelberg have pioneered experimental designs that enable a rigorous examination of the presence, scale and nature of postulated VCA in the population. Using a representative sample of German Internet users, the team from the Research Center for Environmental Economics offered several thousand Germans a simple choice between cash, randomised across subjects between €2 and €100, and the reduction of carbon dioxide emissions by one metric ton, implemented in a traceable and verifiable way. Of the total number of participants, 16% opted for VCA, the rest for the cash. Participants responded to differences in the monetary sacrifice that VCA requires, but only in a small way.

This means that the majority not motivated to engage in VCA are not induced by a small sacrifice, and the minority of VCA contributors are not deterred by a large sacrifice. What makes people VCA contributors is awareness of climate change and their contribution to it, education, and awareness of others also engaging in VCA. ●

“There is still a great deal of untapped potential in society to encourage voluntary climate protection in the population.”

PROF. TIMO GOESCHL, PH.D., joined Heidelberg University in 2005 as professor of economics and director of the Research Center for Environmental Economics. A recipient of multiple awards, the Austrian researcher studied at Innsbruck (Austria) and Notre Dame (USA) and received his Ph.D. in economics from the University of Cambridge (UK) while completing a Marie Curie Fellowship. He was a post-doctoral fellow at University College London (UK), then a university lecturer at Cambridge and held a position as assistant professor at the University of Wisconsin-Madison (USA). Timo Goeschl co-founded the Heidelberg Center for the Environment, is co-editor of leading journals in environmental economics, a research associate at the ZEW-Mannheim, and on the scientific board of the RWI – Leibniz Institute of Economic Research.

Contact: goeschl@eco.uni-heidelberg.de

„Gesellschaftlich gibt es noch viel Potenzial, um die Bevölkerung zu mehr freiwilligem Klimaschutz anzuspornen.“

Elastizität kann der Ökonom auch sofort Aussagen über die Sinnhaftigkeit mancher politischen Maßnahmen treffen. Zum Beispiel impliziert ein unelastisches Angebot von VCA, dass es eine Verschwendung von Steuergeldern wäre, VCA steuerlich zu subventionieren: Das Mehr an VCA rechtfertigt nicht den Einsatz von Steuergeldern, die stattdessen selbst in Klimaschutzmaßnahmen investiert werden könnten und damit einen größeren Effekt entfalten würden.

Ernüchternde Resultate

Unsere experimentellen Resultate führen unter Zuhörern und Lesern, gerade solchen im Ausland, oft zu Ernüch-



PROF. TIMO GOESCHL, PH.D., ist seit 2005 Direktor des Forschungszentrums für Umweltökonomik (FZU) und Ordinarius am Alfred-Weber-Institut für Wirtschaftswissenschaften der Universität Heidelberg. Der mehrfach ausgezeichnete österreichische Forscher studierte an der Universität Innsbruck (Österreich) und der University of Notre Dame (USA) und promovierte an der University of Cambridge (Großbritannien) als Marie Curie Fellow. Einem Postdoc-Fellowship am University College London (Großbritannien) folgten eine Dozentur an der University of Cambridge und eine Assistenzprofessur an der Universität Wisconsin-Madison (USA). Timo Goeschl ist unter anderem Mitbegründer des Heidelberg Center for the Environment (HCE), Co-Editor führender umweltökonomischer Zeitschriften, Research Associate des Zentrums für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW) und wissenschaftlicher Beirat des RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung.

Kontakt: goeschl@eco.uni-heidelberg.de

terung. Viele haben mehr VCA von einer repräsentativen Stichprobe von deutschen Bürgern erwartet, denen eine einfache, schnelle und verlässliche Gelegenheit geboten wird, etwas zum Klimaschutz beizutragen. In diesem Sinne bestätigen die Ergebnisse die eher pessimistische Sicht, die in der theoretischen Literatur postuliert wurde. Doch lässt sich auch Positives aus großflächigen Feld-Experimenten zu freiwilligem Klimaschutz gewinnen?

Zum einen dürfen die Bereitschaft zu freiwilligem Klimaschutz und die Unterstützung für ambitionierte Klimapolitik nicht miteinander verwechselt werden. Das Verhalten unserer Teilnehmer in der Entscheidungssituation sagt nur begrenzt etwas über ihre Unterstützung einer Maßnahme aus, die alle Bürger dazu verpflichten würde, etwas zur Verringerung des Klimawandels beizutragen. Zum anderen geht aus den Befunden aus diesen und weiteren Experimenten sehr deutlich hervor, dass freiwilliger Klimaschutz unterstützt werden kann: Da wäre einerseits die Wahrnehmung von und das Bewusstsein über Klimawandel und den eigenen Beitrag dazu, die einen starken positiven Effekt auf VCA haben. Darüber hinaus ist höhere Bildung mit höherem VCA verbunden. Und zu guter Letzt spielen auch sogenannte Peer Effects eine Rolle: Wer wahrnimmt, dass andere freiwillig etwas unternehmen, ist auch selbst eher bereit, freiwillig etwas zum Klimaschutz beizutragen. Das heißt, dass es gesellschaftlich noch viel Potenzial gibt, um die Bevölkerung zu mehr freiwilligem Klimaschutz anzuspornen. Eine wissenschaftliche Begleitung solcher Initiativen verspricht nicht nur Gewinn für die Wissenschaft, sondern auch für das Klima und nicht zuletzt für die vom globalen Phänomen des Klimawandels Betroffenen. Und individuell betroffen sind wir alle. ●

Vernetzte Umweltwissenschaften

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

www.hce.uni-heidelberg.de

DAS VERFLIXTE

PROBLEMM

DAS VERFLIXTE PROBLEM

KLIMAWANDEL UND GESUNDHEIT

ALINA HERRMANN

Das scheinbar abstrakte Problem Klimawandel wird während Hitzeperioden wie im Sommer 2018 plötzlich greifbar – wenn die extreme Hitze zur Belastung für den Körper wird. Dass Hitze und Hitzewellen sich stark auf die Sterblichkeit vor allem älterer Menschen auswirken, ist ausführlich untersucht und belegt. Der bisher noch deutlich weniger erforschten Frage, wie hitzebedingte Gesundheitsschäden und Todesfälle verhindert werden könnten, gehen Heidelberger Gesundheitswissenschaftler nach.

A

Anfang August 2018: Noch ist nicht abzusehen, wie lange die extreme sommerliche Hitzewelle Deutschland noch im Griff haben wird. Doch eines ist schon jetzt klar: Der Klimawandel macht sich auch in Deutschland immer stärker bemerkbar. Wie in vielen Bereichen des menschlichen Lebens braucht es manchmal extreme Ereignisse, um schleichende Entwicklungen sichtbar zu machen. Auch beim Klimawandel sind es Extremwetterereignisse wie die Hitzewelle 2018 oder die Überflutungen nach Starkregenfällen im baden-württembergischen Braunsbach im Frühjahr 2016, die die Menschen plötzlich am eigenen Leib spüren lassen, dass der Klimawandel kein wissenschaftliches Konzept, sondern konkrete Realität ist.

Unter Sozialwissenschaftlern ist der Klimawandel auch als „wicked problem“ bekannt, frei übersetzt als „verflixtes Problem“. Zum einen ist die Bedrohung komplex, umfasst einen großen Zeithorizont und ist damit wenig

„Bei Hitze sterben ältere Menschen eher selten am klassischen Hitzschlag, sondern vor allem an Herzinfarkten, Schlaganfällen und der Verschlimmerung chronischer Lungenerkrankungen.“

greifbar: Wer hat schon eine Vorstellung davon, was eine durchschnittliche Erwärmung um vier Grad bis zum Ende des Jahrhunderts bedeutet? Wen wird das wie betreffen? Zum anderen gibt es keine einfachen Lösungen für dieses „verflixte Problem“: Lösungsansätze müssen sektorenübergreifend gedacht werden und betreffen alle Bereiche unseres Lebens – wie wir wirtschaften, wie wir wohnen, wie wir reisen, wie wir uns ernähren. Für den Einzelnen ist es schwer, die komplexen Auswirkungen des Klimawandels zu begreifen, und vielleicht noch schwerer, Verantwortung für das Allgemeinwohl zu übernehmen und zur Minderung des Klimawandels beizutragen.

Gesundheit macht abstraktes Phänomen Klimawandel greifbar

Im Vergleich zum abstrakten Klimawandel ist aber die eigene Gesundheit etwas, das uns Menschen in unserer konkreten Lebenswelt betrifft. Somit können insbesondere gesundheitliche Auswirkungen des Klimawandels dieses auf den ersten Blick abstrakte Phänomen greifbar werden lassen. Allergiker haben schon jetzt kaum noch eine pollenfreie Zeit. Starkregenfälle können Trinkwasser verunreinigen, und Schäden aufgrund von Überflutungen führen

nachgewiesenermaßen zu mehr psychischen Erkrankungen wie Depressionen und posttraumatischen Belastungsstörungen. Auch erste kleinere Ausbrüche von Dengue- oder Chikungunya-Fieber wurden in den vergangenen Jahren in Europa verzeichnet, unter anderem, weil die Tigermücke sich auf unserem Kontinent etabliert hat – übrigens auch in Baden-Württemberg. Zudem gab es wohl niemanden, der die anhaltende Hitze 2018 ganz ignorieren konnte – zu matt erwachten viele nach den tropischen Sommernächten im Juli und August, nur um den nächsten Tag mit erneuten Rekordtemperaturen bis 38 Grad zu begrüßen.

Doch hohe Temperaturen sind nicht nur lästig und ermüdend. Im „Jahrhundert-Sommer“ 2003 gab es in ganz Europa bis zu 70.000 hitzebedingte Todesfälle. Auch in der relativ kurzen Hitzewelle 2015 kam es allein in Baden-Württemberg zu etwa 2.000 zusätzlichen Todesfällen aufgrund der Hitze, wie das Landesamt für Gesundheit im Jahr 2018 bekannt gab. Dabei sind insbesondere alte Menschen betroffen. Wie ein wissenschaftlicher Übersichtsartikel unserer Arbeitsgruppe „Klimawandel und Gesundheit“ am Institut für Global Health zeigte, sind die Todesursachen bei erhöhten Temperaturen bei älteren

Menschen eher selten der klassische Hitzschlag, sondern vor allem Herzinfarkte, Schlaganfälle und die Verschlimmerung chronischer Lungenerkrankungen. Außerdem steigt die Krankheitslast, zum Beispiel durch Kreislauf-, Atemwegs- und Infektionserkrankungen sowie Diabetes.

Während es bereits sehr viele Studien dazu gibt, dass Hitze und Hitzewellen sich stark auf die Sterblichkeit älterer Menschen auswirken, gibt es erst vergleichsweise wenig Forschung dazu, wie dies verhindert werden könnte. Der Leitfaden zu Hitzeaktionsplänen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) nennt Maßnahmen, die von langfristiger Stadtplanung mit Berücksichtigung von Frischluftschneisen bis hin zur Einbeziehung von Pflegepersonal und Ärzten in Krankenhäusern und der ambulanten Gesundheitsversorgung reichen. Bei der Versorgung älterer Menschen wird insbesondere die Rolle von Hausärzten hervorgehoben. Bisher gab es jedoch keine Studie, die die Rolle der Hausärzte in der Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden ausführlich untersuchte. Daher haben wir am Institut für Global Health eine qualitative Studie durchgeführt, in der wir Hausärzte in der Rhein-Neckar-Region zu ihrer Wahrnehmung hitzebedingter Gesundheitsschäden befragten und sie in die Entwicklung praktikabler Präventionsmaßnahmen für die Hausarztpraxen einbezogen.

Global Health an der Universität Heidelberg

Das Heidelberger Institut für Global Health (ehemals „Public Health“ oder Abteilung „Tropenhygiene und Öffentliches Gesundheitswesen“) wurde 1962 gegründet und ist Teil der Medizinischen Fakultät Heidelberg der Universität und des Universitätsklinikums Heidelberg. Ziel der Wissenschaftler am Institut ist es, durch Forschung und Lehre zur besseren Gesundheit in Entwicklungs- und Schwellenländern sowie in Deutschland beizutragen. Hierzu arbeiten sie zusammen mit Partnern in aller Welt unter anderem an Studien zu HIV-Behandlung, Malaria-Kontrolle und Impfeffekten, zur Verbesserung der Gesundheitsgrundversorgung in Afrika und zum Einfluss der Gesundheit auf die ökonomische, menschliche und soziale Entwicklung. Das Institut hat sich besonders auf die Evaluation von Maßnahmen spezialisiert, die die Bevölkerungsgesundheit verbessern sollen.

Das Institut beschäftigt rund 60 Mitarbeiter, die aus 30 verschiedenen Ländern und diversen Fachgebieten stammen, unter anderem Medizin, Epidemiologie, Ökonomie, Statistik, Medizininformatik, Soziologie, Anthropologie, Geographie und Biologie. Geleitet wird es von Prof. Dr. Dr. Till Bärnighausen.

www.klinikum.uni-heidelberg.de/HIGH

Risikowahrnehmung und Präventionsmaßnahmen

Befragt haben wir 24 Hausärzte mittels qualitativer Experteninterviews, die sich besonders dazu eignen, persönliche Wahrnehmungen zu untersuchen und unter Einbindung von Akteuren Interventionsmaßnahmen zu entwickeln. Zunächst untersuchten wir deren Risikowahrnehmung, denn die erfolgreiche Umsetzung von Gesundheitsinterventionen setzt voraus, dass die beteiligten Akteure einen Handlungsbedarf in dem betroffenen Feld sehen. Die Hausärzte in unserer Studie nahmen wahr, dass Hitzewellen das Wohlbefinden und die Gesundheit älterer Menschen beeinträchtigten. Jedoch hatten die meisten von ihnen nicht den Eindruck, dass die Sterblichkeit ihrer eigenen Patienten in Hitzeperioden steigt. Einige führten dies auf ihre spezifische Patientenklientel zurück, beispielsweise in Wohngebieten mit wohlhabenden Patienten: Dort seien die pflegerische Versorgung und die Bausubstanz so gut, dass die Menschen nach Beobachtung ihrer Ärzte gut mit der Hitze zurechtkämen. Tatsächlich zeigen Untersuchungen, etwa aus London oder Philadelphia, dass die Sterblichkeitsraten in Hitzewellen je nach Stadtteil sehr unterschiedlich sind. Hohe Sterberaten werden beispielsweise in Stadtteilen mit großer Flächenverdichtung (städtische Wärmeinseln) und niedrigem sozioökonomischen Status verzeichnet.

„Im ‚Jahrhundert-Sommer‘ 2003 gab es in ganz Europa bis zu 70.000 hitzebedingte Todesfälle.“

In ihrer Risikobewertung betonten die Hausärzte die wichtige Rolle der guten pflegerischen Versorgung älterer Patienten zu Hause und im Pflegeheim. Für die Zukunft sahen viele eine Zunahme der Relevanz von hitzebedingten Gesundheitsschäden, wobei sie dies oft nicht oder nicht ausschließlich mit der prognostizierten Zunahme von Hitzewellen begründeten, sondern mit der Befürchtung zunehmender Versorgungsprobleme in unserer alternden Gesellschaft. Ein Hausarzt aus einem ländlichen Gebiet drückte dies so aus:

„Also jetzt nicht allein wegen der Hitze, aber einfach, weil die Altersversorgung, auch im pflegerischen Bereich, immer mehr in den Fokus rückt. Die Leute werden einfach immer älter. Das ist eine große Personalfrage.“

Auch die WHO weist darauf hin, dass der Klimawandel besondere Herausforderungen an Gesundheitssysteme stellt. Für Deutschland bedeutet das zum Beispiel, dass die nun in Angriff genommene Stärkung der Pflege essenziell ist, um auch in Belastungssituationen wie Hitzewellen eine ausreichende pflegerische Versorgung sicherzustellen.

Forschungsbedarf für Medikamentenanpassung

Neben der Risikowahrnehmung diskutierten wir auch mögliche Präventionsmaßnahmen zum Hitzeschutz älterer Menschen und untersuchten deren Umsetzbarkeit. Unter Berücksichtigung der Literaturempfehlungen und der Beiträge der Hausärzte definierten wir vier Handlungsfelder:

- (i) Kommunikation von Risiken und Präventionsmaßnahmen
- (ii) Anpassung von Medikation
- (iii) Proaktive Kontaktaufnahme
- (iv) Anpassung von Praxisabläufen

Als sinnvoll und praktikabel bewerteten Hausärzte beispielsweise das Verteilen von Informationsflyern mit Tipps zum Hitzeschutz an ältere Menschen und pflegende Angehörige (i). Auch die Anpassung der Sprechzeiten mit Angeboten von besonders frühen und späten Sprechzeiten im Sommer wurde als sinnvoll erachtet (iv). Mehr Forschungsbedarf für die Wissenschaft und Informationsbedarf für Ärzte wurde insbesondere bei der Medikamentenanpassung festgestellt (ii): Denn obwohl viele Medikamente mit besonderen Risiken in Hitzeperioden assoziiert sind, gibt es bisher keine Leitlinien zu deren Anpassung. Besonders aufwendige und zeitintensive Maßnahmen wie die regelmäßige Kontaktierung von Risikopatienten in Hitzewellen durch den Hausarzt oder eine speziell ausgebildete Versorgungsassistentin wurden unter aktuellen Personalbedingungen als unrealistisch betrachtet (iii).

Zusammenfassend sollten Hausärzte für das Thema hitzebedingter Gesundheitsschäden sensibilisiert und bei der Umsetzung praktikabler Maßnahmen unterstützt werden.

„Was Klim auch Ges

gut für das
a ist, ist
gut für die
undheit.“

Besonders wichtig ist zudem, dass die Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden in Programme zur strukturierten Gesundheitsversorgung älterer Menschen integriert wird. Mit der Schulung von Personal und dem Aufbau ausreichender personeller Kapazitäten kann dies zu einem stärkeren und dem Klimawandel gegenüber widerstandsfähigen Gesundheitssystem beitragen.

Reduktion von Treibhausgasen durch Verhaltensänderungen

Die globale Perspektive sollte nicht aus dem Blick geraten: Während man annimmt, dass Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in Deutschland und Europa dazu beitragen können, die Sterblichkeit in Hitzeperioden zu verringern, prognostiziert der Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), dass bestimmte Regionen in Asien wegen zu starker Hitze trotz Anpassung unbewohnbar werden, wenn die ehrgeizigen Ziele des Pariser Klimaabkommens nicht eingehalten werden.

Im Pariser Abkommen der internationalen Klimakonferenz COP 21 hat sich die internationale Gemeinschaft 2015 darauf geeinigt, die Klimaerwärmung auf einen Anstieg um zwei Grad im Vergleich zu vorindustriellen Zeiten zu begrenzen. Insbesondere auf Druck der kleinen Inselstaaten, die aufgrund steigender Meeresspiegel selbst beim Erreichen dieses Ziels in ihrer schieren Existenz gefährdet wären, verpflichtete man sich sogar zu Anstrengungen, die Erderwärmung auf 1,5 Grad zu begrenzen. Zum Erreichen des 1,5-Grad-Ziels müssen allerdings so schnell wie möglich weniger Treibhausgase ausgestoßen werden. Da technische Lösungen wie die Dekarbonisierung des Verkehrs kurzfristig nicht absehbar sind, empfehlen Experten zunehmend die Reduktion von Treibhausgasen durch Verhaltensänderungen.

Gesundheitsargument als Schlüssel

Gesundheit kann auch hier ein Schlüssel sein, um das „verflixte Problem“ Klimawandel greifbarer zu machen. Denn für viele Klimaschutzmaßnahmen gilt: Was gut für das Klima ist, ist auch gut für die Gesundheit. Beispielsweise errechneten britische Wissenschaftler, dass die Halbierung der Treibhausgasemissionen in der britischen Landwirtschaft zu einer 17-prozentigen Reduktion der vorzeitigen Todesfälle aufgrund koronarer Herzkrankheit führen könnte. Ebenso würde es auf Bevölkerungsebene bereits zu deutlichen Einsparungen im Gesundheitssystem kommen, wenn Menschen öfter das Fahrrad anstelle des Autos nutzen – das würde sich schon bei wenigen Strecken auswirken. Während die Erderwärmung nur vermindert wird, wenn viele und nicht nur einzelne Menschen weniger Fleisch essen oder mehr Fahrrad fahren, profitiert dagegen die Gesundheit des Einzelnen direkt von einer entsprechenden Verhaltensänderung, unabhängig



ALINA HERRMANN befindet sich in der Facharztausbildung zur Allgemeinmedizinerin und ist Gastwissenschaftlerin in der Arbeitsgruppe „Klimawandel und Gesundheit“ am Institut für Global Health der Medizinischen Fakultät Heidelberg und des Universitätsklinikums Heidelberg. Nach ihrem Medizinstudium an der Universität Heidelberg wurde sie zur Rolle der Hausärzte in der Prävention hitzebedingter Gesundheitsschäden älterer Menschen promoviert. Dabei war sie auch Mitglied im Doktorandenkolleg des Netzwerks Altersforschung (NAR). Die Ergebnisse ihrer Promotion fließen in die Empfehlungen des Bundesgesundheitsministeriums zu Hitzeaktionsplänen ein. Von 2016 bis 2018 war Alina Herrmann am Heidelberger Institut für Global Health Projektkoordinatorin des europäischen Forschungsprojekts HOPE (HOUSEhold Preferences for reducing greenhouse gas emissions in four European high-income countries). Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte interdisziplinäre Projekt untersuchte unter anderem die Rolle von Gesundheitsargumenten bei der Bereitschaft von Haushalten, aktiv Klimaschutz zu betreiben.

Kontakt: alina.herrmann@uni-heidelberg.de

vom Verhalten anderer. Aus psychologischer Sicht kann dies für viele Menschen ein größerer, da konkreter Motivator zur Verhaltensänderung sein.

Um zu untersuchen, ob das Gesundheitsargument die Bereitschaft zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen erhöht, führten wir eine experimentelle Studie in vier exemplarischen Städten in Deutschland (Mannheim), Frankreich (Aix-en-Provence), Norwegen (Bergen) und Schweden (Umeå) durch. Allen 308 Teilnehmern wurden bis zu 65 Maßnahmen zur Treibhausgasreduktion ihres Haushaltes in den Sektoren Ernährung, Mobilität, Wohnen und anderer Konsum vorgelegt und ihre Bereitschaft zu einer Umsetzung der jeweiligen Maßnahme abgefragt. Die Hälfte der Haushalte erhielt Informationen darüber, ob die Maßnahmen sich positiv auf ihre Gesundheit auswirkten, die andere Hälfte erhielt keine solchen Gesundheitsinformationen. Zwölf der 65 Maßnahmen hatten nach konservativer Analyse der bestehenden Literatur einen nachgewiesenen Gesundheitseffekt: Beispiele

Netzwerk Altersforschung – Wie kann gutes Altern gelingen?

Im Netzwerk Altersforschung (NAR), das 2007 seine Arbeit aufnahm, gehen Mediziner, Sozial-, Geistes- und Naturwissenschaftler sowie Sportwissenschaftler der Universität Heidelberg gemeinsam mit Kollegen von Partnereinrichtungen in Heidelberg und Mannheim interdisziplinär einer übergreifenden Forschungsfrage nach: Wie kann gutes Altern gelingen? Zu den Kooperationspartnern gehören neben den Medizinischen Fakultäten Heidelberg und Mannheim der Universität Heidelberg das Deutsche Krebsforschungszentrum, das Zentralinstitut für Seelische Gesundheit und die Universität Mannheim.

Die Forschung umfasst die drei großen Bereiche Biologische Grundlagenforschung und medizinische Altersforschung, Geistes-, sozial- und verhaltenswissenschaftliche Altersforschung sowie Medizinische und sozioökonomische Interventionspunkte. Ein wichtiges Anliegen ist die Nachwuchsförderung, um interdisziplinär zukünftige Experten für Wissenschaft und Praxis auszubilden, wofür unter anderem die Graduiertenkollegs „Demenz“ und „Menschen mit Demenz im Akutkrankenhaus“ eingerichtet wurden. Zudem präsentieren die NAR-Mitglieder ihre Arbeit regelmäßig im Rahmen von Kongressen, Symposien und Kolloquien sowie in Veranstaltungen für die breite Öffentlichkeit wie dem NAR-Seminar zu Themen wie „Humor im Alter“ oder „Ernährung und Bewegung“.

www.nar.uni-heidelberg.de

A WICKED PROBLEM

CLIMATE CHANGE AND HEALTH

ALINA HERRMANN

In the social sciences, climate change is known as a “wicked problem” – a complex issue that calls for multi-level solutions, which makes it difficult to tackle. While people find it hard to relate to an abstract concept like climate change, they can usually relate easily to health. The heat wave that hit Germany in July and August of 2018 was particularly hard to ignore. While young people can generally cope with high temperatures, the elderly are much more likely to suffer severe health problems or die during heat waves. Thus, the impact of such extreme weather events on our health can make climate change more tangible.

While there is a vast body of literature describing the negative health impacts of heat, less research has been done on how to protect the elderly during hot spells. The Heidelberg Institute of Global Health therefore interviewed general practitioners in order to develop feasible prevention measures for GP’s offices. The survey suggests that greater awareness of the effects of heat, structured information about potential health issues and appropriate precautions and additional measures such as consultation hours offered in the early morning and late afternoon could all help to alleviate the situation.

Health can also be a driver for a more climate-friendly lifestyle: choices like riding a bike or eating less meat offer benefits to both our health and the climate. Results from another study at our institute suggest that information about added health benefits can support individual climate action. But information alone is not enough: we also need strong cross-sector policies to implement an effective change towards a healthy and climate-friendly lifestyle.

Climate change has been called the biggest health threat and the biggest health opportunity of the 21st century. Framing climate change in health terms can make it more tangible for people and help create the urgency that is needed to effectively promote a healthy and climate-friendly society. ●

ALINA HERRMANN is a medical graduate specialising in general medicine and a visiting scientist in the “Climate Change and Health” research group at the Heidelberg Institute of Global Health of the Medical Faculty Heidelberg and Heidelberg University Hospital. Following her medical studies at Heidelberg University, she earned her doctorate with a study on the role of general practitioners in preventing heat-related health problems in the elderly. During this time, she was also a member of the research training group of the Network Aging Research (NAR). The findings of her doctoral thesis will become part of the recommendations of the German Federal Ministry of Health on heat action plans. From 2016 to 2018, Alina Herrmann coordinated the European research project HOPE (HOusehold Preferences for reducing greenhouse gas emissions in four European high-income countries) at the Heidelberg Institute of Global Health. Among other things, the interdisciplinary project funded by the German Ministry of Education and Research investigated how health-related arguments affect the willingness of households to take an active part in climate protection.

Contact: alina.herrmann@uni-heidelberg.de

“Climate change creates particular challenges for health care systems.”

für erwiesenermaßen positive Gesundheitseffekte sind die Reduktion von Herz-Kreislauf-Erkrankungen sowie bestimmter Krebsarten durch einen geringeren Fleischkonsum oder der Rückgang von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Diabetes durch den Umstieg vom Auto auf das Fahrrad oder öffentliche Verkehrsmittel – auch die täglichen Wege zur Haltestelle reduzieren Herz-Kreislauf-Risiken bereits deutlich. Ebenso gehen Herz-Kreislauf-Erkrankungen bei einer guten Dämmung des Hauses zurück, da sich Lärm und Temperaturschwankungen verringern. Nachdem alle Studienteilnehmer die Maßnahmen quantitativ auf einer Skala bewertet hatten, wurden zusätzlich mit einem Teil der Haushalte qualitative Interviews geführt, in denen die Beweggründe für ihre Einschätzung näher untersucht wurden.

Haushalte, die Gesundheitsinformationen erhielten, zeigten in der quantitativen Bewertung eine größere Bereitschaft, Maßnahmen im Bereich Ernährung und Wohnen umzusetzen. Während Gesundheitsinformationen die Bewertung im Bereich Mobilität nicht signifikant änderten, zeigten die qualitativen Ergebnisse, dass Haushalte den Gesundheitsaspekt zwar durchaus als Motivator für eine vermehrte Nutzung aktiver Mobilitätsformen wie beispielsweise Fahrradfahren wahrnehmen. Allerdings gab es insbesondere im Bereich Mobilität auch viele Hinderungsgründe wie Zeitmangel, Festhalten an Gewohnheiten, organisatorische Aspekte im Familienleben oder schlecht ausgebaute Infrastruktur.

Information und Intervention

Diese Erkenntnisse unterstreichen, dass Lösungen für das „verflochtene Problem“ Klimawandel komplex sind: Unsere Daten zeigen einerseits, dass Informationen über gesundheitliche Vorteile die Bereitschaft von Haushalten erhöhen, klimafreundliche Verhaltensweisen umzusetzen. Andererseits weisen sie darauf hin, dass ehrgeizige intersektorale politische Maßnahmen notwendig sind, um tatsächlich klima- und gesundheitsfreundliche Lebensstile zu fördern. In der Public-Health-Literatur setzt sich schon länger die Sichtweise durch, dass Informationsmaßnahmen alleine nicht ausreichen, um auf Bevölkerungsebene Verhaltensänderungen zu erzielen, sondern dass komplexe Interventionen unter Einbeziehung regulierender Maßnahmen nötig sind. Paradebeispiel hierfür ist das Rauchen: Neben Aufklärungskampagnen tragen vor allem Erhöhungen der Tabaksteuer oder Rauchverbote im öffentlichen Raum zur Reduktion des Nikotinkonsums und der damit verbundenen Gesundheitsschäden bei. Dies ist ein Erkenntnis, die sich wohl gut auf die sozialwissenschaftliche Klimaforschung übertragen lässt. Beispiele für regulierende Maßnahmen, die sowohl der Gesundheit als auch dem Klima zugutekämen, sind die Verbesserung der Infrastruktur des Rad- und öffentlichen Personennahverkehrs, Richtlinien zum Anteil tierischer Produkte in Kantinen oder eine CO₂-Steuer.

„Informationen über gesundheitliche Vorteile erhöhen die Bereitschaft, klimafreundliche Verhaltensweisen umzusetzen.“

In Anbetracht der beträchtlichen Synergien zwischen Klima- und Gesundheitsschutz sollten Akteure aus dem Klima- und dem Gesundheitsbereich zusammen an politisch überzeugenden Lösungen arbeiten – und jeder Einzelne kann für sich jeden Tag Entscheidungen fällen, die gut sind für das Klima und für die eigene Gesundheit. ●

KLIMA

KARUSSELL

KLIMAKARUSSELL

HEISS-KALTE FERNBEZIEHUNGEN

STEFANIE KABOTH & ANDRÉ BAHR

Für langfristige Prognosen, wie sich Temperaturen und Niederschlagsmengen weltweit entwickeln werden, kann ein Blick in die Vergangenheit hilfreich sein. Am Institut für Geowissenschaften setzen daher Forscherinnen und Forscher die heutige Klimaentwicklung in einen langfristigen zeitlichen und räumlichen Kontext: Auf verschiedenen Zeitskalen von Jahrzehnten bis zu Jahrmillionen beobachten sie die Wechselwirkungen zwischen dem Klima in den polaren und tropischen Breiten. Dabei stellten sie fest, dass Tropen und Polargebiete eine unerwartet enge heiß-kalte Klima-Fernbeziehung führen.

D

Der Rekordsommer 2018 hat es ganz aktuell wieder gezeigt: Das Klima der Erde wird wärmer. Dass wir in den nächsten Jahrzehnten mit einer Zunahme klimatischer Extremereignisse rechnen müssen, ist inzwischen weitestgehend wissenschaftlicher Konsens, allerdings unterscheiden sich die langfristigen Klimaprognosen sowohl in der Stärke der zu erwartenden Temperatur- und Niederschlagsveränderungen als auch in deren räumlicher Ausprägung. Wie wir in den vergangenen Monaten auch in Deutschland feststellen mussten, ist aus sozioökonomischer Perspektive weltweit die Wasserverfügbarkeit ein besonders kritischer Faktor. Ein spezielles Augenmerk in puncto Wassermangel gilt naturgemäß (halb)wüstenartigen Arealen wie dem Nahen Osten, aber auch jenen dicht besiedelten Gebieten, die vom jährlich wiederkehrenden Monsunregen abhängig sind.

Auch wenn Klimamodelle im Laufe der Zeit immer leistungsfähiger geworden sind, so zeigen sie aufgrund der Komplexität des globalen Klimasystems immer noch deutliche Limitierungen in der langfristigen Prognose der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung. Eine komplementäre Möglichkeit, die heutige Klimaentwicklung in einen langfristigen zeitlichen und räumlichen Kontext zu setzen, bietet die Paläoklimatologie, das Studium der Klimaveränderungen während der erdgeschichtlichen Vergangenheit. Aktuelle Forschungen am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg beschäftigen sich dabei unter anderem mit den Wechselwirkungen zwischen dem Klima in den polaren und tropischen Breiten auf verschiedensten Zeitskalen – von Jahrzehnten bis hin zu Jahrtausenden. Auch wenn viele Fragen hinsichtlich der dem Klimasystem zugrunde liegenden Mechanismen noch offen sind, zeigen unsere jüngsten Ergebnisse doch deutlich, dass die Tropen und die Polargebiete dabei eine unerwartet enge heiß-kalte klimatische Fernbeziehung führen.

Warmes Klima, kalt serviert

Ein typisches Beispiel für diese enge klimatische Fernbeziehung sind Niederschlagsschwankungen in Ostbrasilien, einer sehr trockenen Gegend, in der es nur für eine kurze Zeit während des Südsommers regnet. Wenn wie in den vergangenen Jahren die sommerlichen Regenmengen nur sehr gering ausfallen, hat dies enorme ökonomische Folgen – nicht nur für die Landwirtschaft, sondern auch für die



DR. STEFANIE KABOTH ist seit 2018 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Geowissenschaften. Sie erforscht marin-terrestrische Kopplungen während vergangener Kalt- und Warmzeiten. Vor ihrem Wechsel nach Heidelberg war sie an den Universitäten von Utrecht (Niederlande), Cambridge (Großbritannien), Montreal (Kanada) und Taipeh (Taiwan) tätig.

Kontakt: Stefanie.Kaboth@geow.uni-heidelberg.de

regionale Energieversorgung, die massiv von Wasserkraft abhängt. Ein Blick in die jüngere Erdgeschichte zeigt allerdings, dass Ostbrasilien nicht immer so trocken war wie heute. Vor rund 17.000 Jahren, also gegen Ende der letzten Eiszeit, herrschten zum Beispiel für rund 1.000 Jahre feuchte Bedingungen, die eine reichhaltige subtropische Baumvegetation in einer heute savannenartigen Landschaft gedeihen ließ.

Was war die Ursache für dieses regenreiche Intermezzo? Um dieser Frage nachzugehen, bietet sich die Untersuchung von Sedimentkernen aus dem Atlantischen Ozean vor Brasilien an. Solche Proben haben wir im Rahmen einer vierwöchigen Schiffsexpedition in den westlichen tropischen Atlantik im Frühjahr 2016 an der Küste Ostbrasilien vor Flussmündungen genommen. Landnahe Sedimentkerne archivieren zum einen die Umweltbedingungen auf dem angrenzenden Kontinent, die sich beispielsweise über den Polleneintrag von Land rekonstruieren lassen. Zum anderen kann man an selben Sedimentkernen die Intensität und Temperatur von Ozeanströmungen rekonstruieren, etwa indem man die chemische Zusammensetzung der in ihnen enthaltenen marinen Mikrofossilien analysiert.

Die direkte Verbindung ozeanischer und terrestrischer Informationen am gleichen Probenmaterial ist in diesem Zusammenhang von entscheidender Bedeutung, da Veränderungen von Ozeanströmungen im Verdacht stehen, das Klima in Ostbrasilien maßgeblich zu beeinflussen. Dieser vermutete Zusammenhang ergibt sich aus einer engen Kopplung atmosphärischer und ozeanischer Prozesse: Die Regenzeit in Ostbrasilien beginnt, sobald dieses Gebiet von den Ausläufern der sogenannten Innertropischen Konvergenzzone (ITCZ / Intertropical Convergence Zone) erreicht wird. Wir wissen nun, dass vor etwa 17.000 Jahren, also während der Feuchtphase in Ostbrasilien, die globale Ozeanzirkulation massiv abgeschwächt war. Als Folge davon kam der heutige starke Wärmetransport nach Norden fast zum Erliegen, und gleichzeitig erwärmte sich der Südatlantik immer mehr. Da sich die ITCZ stets in Richtung der wärmeren Hemisphäre verschiebt, lag sie vor 17.000 Jahren viel weiter südlich als heute. Die Folge waren heftigere und ausdauernde Niederschläge über Ostbrasilien, die wir in unseren Klimaarchiven wiederfinden. Die letztendliche Ursache für die vorübergehende Abschwächung der Ozeanzirkulation liegt wahrscheinlich in den arktischen Breiten: Hier kam es zu jener Zeit zu massiven Abbrüchen eiszeitlicher Gletscher rund um den Nordatlantik, was zu einem großräumigen Auftreten von Eisbergen im Nordatlantik führte. Das dabei entstandene Schmelzwasser hat wohl entscheidend zur Abschwächung der Ozeanzirkulation beigetragen: Die globale ozeanische Wärmepumpe ist auf das Absinken kalter salzhaltiger Wassermassen im arktischen Nordatlantik angewiesen.

ON THE CLIMATIC MERRY-GO-ROUND

HOT-COLD LONG-DISTANCE RELATIONSHIPS

STEFANIE KABOTH & ANDRÉ BAHR

In light of annual reports about new record-breaking temperatures and droughts around the globe, one might feel that the climate is spinning out of control. It is largely scientific consensus that the next few decades will see a rise in extreme climate behaviour. However, long-term climate forecasts remain ambiguous both with regard to the magnitude of the expected temperature and precipitation changes as well as their geographical extent. A major source of uncertainty is the poor knowledge of the interplay between the warm low latitudes and the cold high latitudes. An exploration of this climatic “merry-go-round” between the tropics and polar regions throughout the geological past provides insights into different climatic background conditions and is a fundamental part of ongoing research at the Institute of Earth Sciences of Heidelberg University.

Our latest results show that the tropics and polar regions are entangled in a hot-cold long-distance relationship on time scales ranging from decades to millions of years. Within this relationship, high-latitude and low-latitude climates communicate by means of ocean currents and wind systems that span the globe. This teleconnection explains, for example, how droughts in eastern Brazil are driven by changes in the Arctic climate over the past 5,000 years. On the other side of this merry-go-round, the North African monsoon controls the pooling of warm water in the North Atlantic, which provided the moisture required for snow and glacier formation in the cold high latitudes during past ice ages. Hence, a glance into the climatic past allows us to gain insights into the mechanisms that drive our climate today and in the future. ●

DR STEFANIE KABOTH joined the Institute of Earth Sciences in 2018 as a research assistant. She investigates marine-terrestrial relationships in past ice ages and interglacial periods. Before her transfer to Heidelberg, she worked at the universities of Utrecht (Netherlands), Cambridge (UK), Montreal (Canada) and Taipei (Taiwan).

Contact: Stefanie.Kaboth@
geow.uni-heidelberg.de

DR ANDRÉ BAHR has been a member of the Institute of Earth Sciences since October 2014. One focal point of his research is to gain a better understanding of the interaction between the tropical and polar components of the global climate system, based on data from recent earth history. After earning his PhD at the University of Bremen, André Bahr worked at the GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel from 2008 to 2009 and held a research position at Goethe-Universität Frankfurt from 2010 to 2014.

Contact: andre.bahr@
geow.uni-heidelberg.de

“The supply of warm water to the European Atlantic coast largely determined the extent of glaciation in western Europe.”

Süßwasser ist aber weniger dicht als Meerwasser und kann deshalb diesen Absinkprozess effektiv unterbinden.

Der hier geschilderte direkte Einfluss von Umweltveränderungen in den polaren Breiten auf das Klimageschehen in den Tropen ist ein Musterbeispiel für die enge Verknüpfung ozeanischer und atmosphärischer Prozesse. Eine der Fragen, denen wir am Institut für Geowissenschaften aktuell nachgehen, ist, ob sich ähnliche ozeanforcierte Rückkopplungen zwischen tropischen und polaren Regionen auch für die vergangenen 5.000 Jahre nachweisen lassen. Da die Umweltveränderungen in den polaren Breiten über diesen Zeitraum wesentlich geringer waren als während der letzten Eiszeit, wäre der Nachweis vergleichbarer Wechselwirkungen ein deutlicher Hinweis auf eine enorme Sensitivität des südamerikanischen Klimas gegenüber zukünftigen Umweltveränderungen, die insbesondere die arktischen Regionen erfassen werden.

Erste Ergebnisse unserer Forschungen zeigen tatsächlich, dass es seit etwa 3.000 Jahren zu einem kontinuierlichen Rückgang der Niederschläge in Ostbrasilien kam, geprägt von abrupten Schwankungen zwischen Trocken- und Feuchtphasen. Dabei scheinen die Trockenphasen mit einer Zunahme des arktischen Meereises und einer Abschwächung der Ozeanzirkulation einherzugehen. Unsere neuen Daten zeigen damit deutlich, dass sich arktische Umwelt-



DR. ANDRÉ BAHR ist seit Oktober 2014 am Institut für Geowissenschaften tätig. Ein wesentliches Ziel seiner Forschung ist ein verbessertes Verständnis der Interaktion zwischen den tropischen und polaren Komponenten des globalen Klimasystems anhand von Daten aus der jüngeren Erdgeschichte. Nach seiner Promotion an der Universität Bremen war André Bahr von 2008 bis 2009 am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel tätig; von 2010 bis 2014 forschte er an der Goethe-Universität Frankfurt.

Kontakt: andre.bahr@geow.uni-heidelberg.de

veränderungen auch in Zukunft auf tropische Gebiete wie Ostbrasilien auswirken können – ein Befund, der im Zusammenhang mit der Einschätzung der Auswirkungen zukünftiger Klimaveränderungen auf Ostbrasilien und andere tropische Gebiete von größter Relevanz ist.

Kaltes Klima, warm serviert

Während ein Einfluss der Arktis auf das Klimageschehen der Tropen und Subtropen schon seit längerem vermutet wurde, zeigen erst jüngere Arbeiten, dass auch die warmen niederen Breiten das Klima im hohen Norden massiv beeinflussen – insbesondere während des Wachstums großer eiszeitlicher Eisschilde. Diese Kehrseite des sich stets drehenden Klimakarussells ist oftmals nicht intuitiv verständlich. Wie können tropische Klimaveränderungen Gletscherwachstum in den hohen Breiten beeinflussen? Die Antwort liegt sprichwörtlich in der Luft: Feuchtigkeit. Neben dem steten Wärmetransport von den Tropen in den hohen Norden über Ozeanströmungen und Winde findet nämlich ein ebenso bedeutender Feuchtigkeitstransport statt. Dies liegt zum einen daran, dass warme Luft mehr Wassermoleküle aufnehmen kann als kalte Luft, zum anderen aber auch daran, dass von einem warmen Ozean mehr Feuchtigkeit verdunstet als von einer kühlen Meeresoberfläche. Im Nordatlantik, an der Türschwelle Europas, ist für den Wärmeaustausch zwischen niederen und hohen Breiten der Golfstrom von besonderer Bedeutung. Dieser

„Der direkte Einfluss von Umweltveränderungen in den polaren Breiten auf das Klimageschehen in den Tropen zeigt die enge Verknüpfung ozeanischer und atmosphärischer Prozesse.“

„Die Zufuhr warmen Meerwassers an die europäische Atlantikküste steuerte maßgeblich das Ausmaß der Vergletscherung in Westeuropa.“

ist nichts anderes als der nördliche Ausläufer des globalen ozeanischen Förderbands, das warmes Oberflächenwasser in das Meeresgebiet zwischen Grönland, Island und Norwegen transportiert. Die Abkühlung der warmen und feuchten Luft initiiert Schnee- und damit auch Gletscherbildung in Nordeuropa und der Arktis. Aus dieser Beziehung lässt sich für uns Paläoklimatologen ableiten, dass in der geologischen Vergangenheit die Verfügbarkeit warmen Wassers im Nordatlantik möglicherweise entscheidend dafür war, ob und wie hoch sich die Eisschilde der vergangenen Eiszeiten aufbauten.

Auf den ersten Blick mag es paradox klingen, dass große Mengen warmen Wassers essenziell zum Aufbau von Eisschilden sein sollen. Die Signifikanz genau dieses Wechselspiels zwischen Klimaveränderungen im subtropischen Raum und Vergletscherung in Zentral- und Nordeuropa haben wir kürzlich untersucht. Unsere Studie baut auf der Beobachtung auf, dass die eiszeitlichen Vergletscherungen der jüngeren Erdgeschichte, welche die Landschaften Nord- und Mitteleuropas maßgeblich prägten, in ihrer räumlichen Ausdehnung sehr unterschiedlich ausfielen. So kamen die Gletscher der letzten Eiszeit vor rund 20.000 Jahren bereits an der Elbe zum Stehen, während sie in der vorletzten Eiszeit – also vor knapp 165.000 Jahren – bis an die deutschen Mittelgebirge vordrangen. Anhand von Bohrkernen aus dem östlichen Nordatlantik konnten wir nun nachweisen, dass die Zufuhr warmen Meerwassers an die europäische Atlantikküste maßgeblich das Ausmaß der Vergletscherung in Westeuropa steuerte. Grund dafür ist, dass die erhöhte

Schiffsexpedition zur Klimadynamik

Mit einer vierwöchigen Expedition in den westlichen tropischen Atlantik mit dem Forschungsschiff METEOR hat ein internationales Team unter Leitung von Geowissenschaftlern der Universität Heidelberg im Frühjahr 2016 historische Niederschlagsveränderungen in Brasilien rekonstruiert. Die Forscher gewannen im Rahmen dieser Expedition Wasser- und Sedimentproben im Ausstrombereich von Flüssen entlang der brasilianischen Küste zwischen Rio de Janeiro und Fortaleza. Das vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung und der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Projekt SAMBA (South American Hydrological Balance and Paleoceanography during the Late Pleistocene and Holocene) fand unter enger Einbindung von Projektpartnern an den Universitäten São Paulo und Rio de Janeiro (Brasilien) statt. Zu dem internationalen Team gehörten auch Mitglieder des Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR), der Universität Frankfurt am Main sowie von Institutionen aus England, Italien und Kolumbien.

KÜNSTLICHE GLETSCHER

Gletscherrückgang sowie abnehmende Schneevorkommen bedrohen die von Schmelzwasser abhängige Landwirtschaft in weiten Teilen des südasiatischen Hochgebirges. Wie mit der Errichtung von Eisreservoirs – sogenannten künstlichen Gletschern – saisonale Wasserengpässe überwunden werden können, haben Forscher um den Geographen Prof. Dr. Marcus Nüsser vom Südasien-Institut in einer Langzeitstudie untersucht. Darin bewerten sie die verschiedenen Typen von Reservoirs sowie deren sozioökonomische Auswirkungen und gehen der Frage nach, ob künstliche Gletscher eine geeignete Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel sind. Beteiligt an diesem Projekt waren auch Mitglieder des Heidelberg Center for the Environment (HCE).

(red) In der nordindischen Hochgebirgswüste Ladakh wurden in den vergangenen 30 Jahren mithilfe von Fördermitteln verschiedene Typen von Eisreservoirs errichtet. Diese künstlichen Gletscher werden zwischen November und März aus Schmelzwasserabflüssen gespeist, die in Form von Eis an topographisch und mikroklimatisch geeigneten Stellen gespeichert werden. Sie sind als kaskadenartige Mauern oder Kegel angelegt und sichern in den trockenen Frühjahrsmonaten die Wasserzufuhr für den Feldbau, der in dieser Region vollständig von Schnee- und Gletscherschmelzwasser abhängig ist.

In der Studie legt das Team um Marcus Nüsser eine Bestandsaufnahme und Typologie der künstlichen Gletscher vor. Ihre Auswertung von Satellitenbildern und Messungen zeigt, dass das Speichervolumen der Eisreservoirs von 1.010 bis 3.220 Kubikmetern Wasser reicht. „Damit können

im Optimalfall die Feldfluren im Abstand von mehreren Tagen bis zu dreimal vollständig bewässert werden“, so Prof. Nüsser. „Das Speichervolumen ist jedoch nicht verlässlich, da es von den klimatischen Bedingungen in der Region abhängt, die von Jahr zu Jahr variieren.“

Die ermittelten Werte konnten die Forscher auf die Gesamtheit der Eisspeicher in der Region Ladakh hochrechnen und so zeigen, dass die verschiedenen Typen der Eisreservoirs unterschiedlich effizient sind. Als besonders wirkungsvoll erwiesen sich Reservoirs in Form mehrerer kaskadenartig angeordneter Becken. „Darüber hinaus ist für die Bewertung neben den klimatischen Bedingungen auch das Verhältnis von Fördermitteln zu Wirksamkeit entscheidend“, erklärt Prof. Nüsser. Auswertungen von Interviews mit lokalen Kleinbauern zeigen zudem, dass der Einsatz der künstlichen Gletscher als vorteilhaft wahrgenommen wird, da sich Ernteausfallrisiken verringern und die Möglichkeiten zum Anbau von Nutzpflanzen steigen. Damit sind die künstlichen Gletscher „als bemerkenswerte Anpassungsmaßnahme an die spezifischen Umweltbedingungen dieser Hochgebirgswüste zu verstehen“.

Die Eisreservoirs wurden in den vergangenen Jahren über die lokale Anwendung hinaus auch als generelle Antwort auf die negativen Auswirkungen des Klimawandels, insbesondere des Gletscherrückgangs, diskutiert. Nach den Untersuchungen der Heidelberger Forscher ist der Nutzen dieser Strategie jedoch fraglich: Klimatische Variabilität und Naturgefahren – vor allem Flutkatastrophen, Rutschungen und Lawinen – sowie eine unzureichende Berücksichtigung lokaler sozioökonomischer Bedingungen schränken die Wirksamkeit ein. „Der Begriff ‚künstliche Gletscher‘ erscheint zudem irreführend, da diese Eisreservoirs keinesfalls die natürlichen Gletscher ersetzen können“, so Prof. Nüsser. ●

ARTIFICIAL GLACIERS

Receding glaciers and dwindling snowfalls pose a threat to meltwater-dependent agriculture in large parts of the high mountain regions of South Asia. A research team led by geographer Prof. Dr Marcus Nüsser of South Asia Institute conducted a long-term study to determine how creating ice reservoirs, commonly called artificial glaciers, might help counteract seasonal water scarcity. The researchers assess the different types of ice reservoirs and their socioeconomic impact in an attempt to identify whether artificial glaciers are an effective adaptation to climate change. Members from the Heidelberg Center for the Environment (HCE) also contributed to the study.

Over the past thirty years, funding has been provided to build various types of ice reservoirs in the high-altitude desert of Ladakh in Northern India. These artificial glaciers are fed by meltwater runoff between November and March and stored as ice at locations with the suitable topography and microclimate. The glaciers, structured as cascading walls or stupas, supply water for agriculture in the dry early months of spring in this region, which is completely dependent on snow and glacier meltwater.

In their recently published study, Marcus Nüsser's team provide an inventory and typology of the artificial glaciers in Ladakh. The researchers were able to demonstrate that the different types of ice reservoirs are not equally efficient. Reservoirs made up of multiple sequential cascading basins are most effective. "In addition to climatic conditions, the ratio of subsidies to effectiveness is also decisive for the evaluation," explains Prof. Nüsser. Based on interviews with local smallholders, the artificial glaciers are also considered beneficial because they reduce the risk of crop failure and increase the possibility of growing cash crops. The artificial glaciers can therefore "be understood as a site-specific adaptation strategy to environmental conditions in the high-altitude desert of Northern India". ●

„Das Wechselspiel zwischen den warmen niederen und kalten hohen Breiten ist eine fundamentale Stellschraube für die klimatische Evolution unserer Erde.“

Zufuhr warmen Meerwassers während eiszeitlicher Klimabedingungen den Temperaturkontrast zum kalten europäischen Kontinent erhöht. Die über dem warmen Ozean verstärkt entstehende Feuchtigkeit wurde dann mit den Westwinden nach Kontinentaleuropa transportiert und trug dort dank der niedrigen Temperaturen als Schnee zum Wachstum der sich voranschubenden Eismassen bei.

Der von uns postulierte Mechanismus für den intensiveren Transport warmen Meerwassers aus Süden an die europäischen Küsten besteht in einem verstärkten Ausstrom salzigen Mittelmeerwassers durch die Straße von Gibraltar in den Atlantik. Sobald dieses den Atlantik erreicht, sinkt es wegen seines hohen Salzgehalts, der zu einer großen Dichte führt, ab; dabei entsteht eine Sogwirkung, durch die warmes Oberflächenwasser aus dem subtropischen Atlantik in Richtung Portugal gepumpt wird. Je mehr Mittelmeerwasser in den Atlantik fließt, umso ausgeprägter ist diese Sogwirkung. Die Stärke des Mittelmeerausstroms hängt wiederum von der Intensität des afrikanischen Monsuns ab. Dies ergibt sich aus der Herkunft des Wassers,

das in den Atlantik strömt: Es entsteht zum größten Teil im östlichen Mittelmeer, wo trockene und heiße Bedingungen zu einer hohen Verdunstungsrate und damit einem hohen Salzgehalt im Oberflächenwasser führen. Im Winter kühlen diese Wassermassen ab, werden dichter und fließen in größerer Tiefe Richtung Westen ab, wo sie das Mittelmeer durch die Straße von Gibraltar verlassen. Wenn allerdings starker Monsunniederschlag in Nordostafrika zu einem erhöhten Süßwassereinstrom ins Mittelmeer führt, wird die Bildung dieses dichten, salzigen Wassers unterbunden und somit auch der Mittelmeerausstrom abgeschwächt. Umgekehrt forcieren sehr trockene Verhältnisse im östlichen Mittelmeer, wie sie aktuelle Klimamodelle vorhersagen, das Entstehen salzigen Oberflächenwassers und sorgen somit für einen verstärkten Ausstrom aus dem Mittelmeer. Für das Gletscherwachstum in Nord- und Mitteleuropa bedeutet dies folglich, dass die Eisschilde in Phasen schwacher Monsunregenfälle besonders weit nach Süden vordringen konnten.

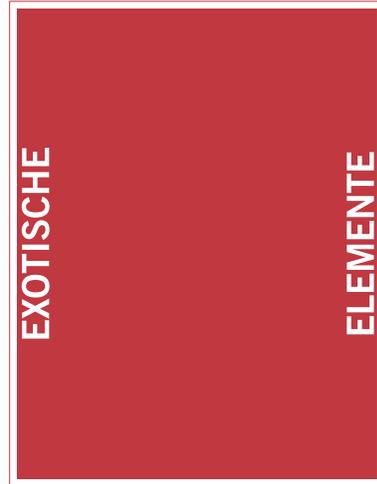
Wenn wir die Intensität des Mittelmeerausstroms über die vergangenen fünf Millionen Jahre betrachten, stellen wir fest, dass er mit großer Regelmäßigkeit alle etwa 21.000 Jahre zwischen starken und schwachen Phasen schwankte. Dieser Rhythmus ist so etwas wie der „tropische Herzschlag“ unseres Klimasystems und erklärt sich aus dem starken Einfluss des Nordafrikanischen Monsuns auf den Mittelmeerausstrom: Monsunregenfälle sind immer dann heftig, wenn die Sonneneinstrahlung im Sommer besonders intensiv ist – der Kontinent heizt sich in diesen Phasen extrem stark auf, wodurch der Feuchtigkeitstransport in die Monsungebiete massiv zunimmt. Die Kreiselbewegung der Erdachse bewirkt nun, dass die sommerliche Sonneneinstrahlung und damit der Monsunniederschlag im Mittel alle 21.000 Jahre einen Höhepunkt erreichen. Durch den Mittelmeerausstrom wird dieser tropische Rhythmus in den Nordatlantik und damit in unsere Breiten weitergegeben. Auf diese Weise lässt sich nicht nur erklären, warum die eiszeitlichen Gletscher bei ihren Vorstößen nach Süden an unterschiedlichen geographischen Wegmarken zum Stehen kamen, sondern auch, warum jener tropische Herzschlag in vielen Klimaarchiven aus den polaren Regionen wiederzufinden ist.

Wir sehen also, dass das Wechselspiel zwischen den warmen niederen und kalten hohen Breiten eine fundamentale Stellschraube für die klimatische Evolution unserer Erde ist. Die Erforschung dieses tropisch-polaren Klimakarussells in der geologischen Vergangenheit erlaubt uns, Einblicke in die grundlegenden Mechanismen zu gewinnen, die unser Klima steuern. Die jüngsten paläoklimatologischen Forschungen zeigen deutlich, wie sensibel das Klima gegenüber äußeren Störungen reagiert, helfen damit aber auch, die Auswirkungen des Klimawandels zuverlässiger vorhersagen zu können. ●



UMWELTPHYSIK
TATORT ANTARKTIS
WIE HALOGENVERBINDUNGEN
DIE WELT VERÄNDERN
UDO FRIEB & JAN-MARCUS NASSE

46



TOXIKOLOGIE
EXOTISCHE ELEMENTE
RADIOAKTIVE TRANSURANE IM
MENSCHLICHEN KÖRPER
PETRA PANAK & NICOLE ADAM

56



VULKANOLOGIE
ZWERGE UND MONSTER
AUS DER TIEFE DER ERDE
AXEL SCHMITT

64



PHYSIK
ULTRAKALTE ATOME
DIE GESCHICHTE DES EISES
WERNER AESCHBACH & MARKUS OBERTHALER

72

KAPITEL



TATORT

ANNTARKTIS

TATORT ANTARKTIS

WIE HALOGENVER- BINDUNGEN DIE WELT VERÄNDERN

UDO FRIEB & JAN-MARCUS NASSE

Bislang ist die Atmosphäre der Antarktis vom Menschen noch weitgehend unbeeinflusst. Sie kann deshalb als Reinluftlabor dienen, um zu untersuchen, wie kleine, aber sehr reaktive Verbindungen chemische Prozesse in der Atmosphäre und das Klima der Erde beeinflussen.

J

Jedes Jahr am 21. Mai beginnt auf der Neumayer-Station III in der Antarktis die Polarnacht. Ab dann bewegt sich die Sonnenscheibe für 68 Tage nicht mehr oberhalb des Horizonts. Bei Temperaturen unter minus 40 Grad Celsius und Windgeschwindigkeiten über 100 Kilometer pro Stunde wird die Station am Rand des antarktischen Kontinents einer der extremsten Orte der Erde. Die Extreme machen die Antarktis aber nicht nur zu einem außergewöhnlichen Arbeitsplatz für Wissenschaftler, die auf der Station überwintern. Sie sind auch der Ursprung für außergewöhnliche chemische Prozesse mit weitreichendem Einfluss auf die Umwelt: die Freisetzung hoch reaktiver Spurengase.

Ozonlöcher am Boden

Der kurze antarktische Sommer endet etwa drei Monate zuvor: Wenn die Sonne immer niedriger über dem Horizont steht und die Temperaturen immer stärker sinken, beginnt auf dem Südpolarmeer die Neubildung von Meer eis. Damit werden auch die Voraussetzungen für den außergewöhnlichen chemischen Prozess geschaffen, der die hoch reaktiven Spurengase entstehen lässt: Wenn Meerwasser gefriert, kann das in ihm enthaltene Salz nicht in die Eismatrix integriert werden. Stattdessen bildet sich auf der Oberfläche des Eises eine dünne Schicht hoch konzentrierter Salzlösung, die noch bei Temperaturen bis zu minus 20 Grad flüssig ist. Hohe Windgeschwindigkeiten lassen daraus salzhaltige Eiskristalle entstehen,

die vom Wind über die gesamte antarktische Küstenregion verteilt werden.

Diese salzhaltigen Oberflächen bilden die Grundlage für ein Phänomen, das sich alljährlich nach dem Ende des Winters beobachten lässt, wenn erste Sonnenstrahlen die Antarktis und das den Kontinent umschließende Meereis erreichen. Wie Satellitenmessungen zeigen, ist die Atmosphäre der Polargebiete mit hohen Mengen an reaktivem Brommonoxid (BrO) angereichert – die davon betroffenen Gebiete übersteigen mit mehreren Millionen Quadratkilometern zeitweise die Fläche des europäischen Kontinents. Dieses Phänomen ist bereits seit Mitte der 1980er-Jahre bekannt; zuerst wurde es in der Arktis untersucht. Zurückzuführen ist die Brommonoxid-Anreicherung der Atmosphäre auf katalytische Prozesse, die an salzhaltigen Oberflächen stattfinden: Ein einzelnes gasförmiges Bromatom (in Form von hypobromiger Säure) reagiert mit Bromid (Bromionen), das im Salz vorhanden ist. Nach einigen chemischen Zwischenschritten werden zwei Bromatome (in Form von Br₂) in die Atmosphäre freigesetzt.

Unter bestimmten Bedingungen steigt die Anzahl solch chemisch hoch reaktiver Bromradikale in der Atmosphäre exponentiell an. Dieses Phänomen wird als „Bromexplosion“ bezeichnet. Es ist ein typisches Beispiel für natürliche

„Über dem Südpolarmeer beginnt nach dem kurzen antarktischen Sommer ein außergewöhnlicher Prozess, der hoch reaktive Spurengase entstehen lässt.“

nichtlineare Prozesse, die ein Umweltsystem innerhalb kürzester Zeit dramatisch verändern können: Liegen in der Atmosphäre photochemisch instabile Halogenverbindungen vor (dazu gehören neben Brom- auch Chlor- und Jodverbindungen), werden sie unter dem Einfluss der Sonneneinstrahlung in „Radikale“ umgewandelt. Dabei handelt es sich um Moleküle oder einzelne Atome, die ungepaarte Elektronen besitzen – eine energetisch ungünstige Situation, die Radikale hoch reaktiv macht.

Einfluss auf zahlreiche chemische Kreisläufe

Halogenradikale üben einen bedeutenden Einfluss auf zahlreiche komplexe chemische Kreisläufe in der Atmosphäre aus. Bromradikale bewirken beispielsweise, dass die Konzentration von Ozon in Bodennähe drastisch abnimmt: Bereits wenige Brommoleküle unter hundert Milliarden Luftmolekülen genügen, um innerhalb weniger Tage einen vollständigen Abbau von Ozon zu erzielen. Dieser Vorgang wiederum beeinflusst die Bildung von Hydroxylradikalen (OH), die in der Atmosphäre die Funktion eines Waschmittels übernehmen: Hydroxylradikale beschleunigen den oxidativen Abbau natürlicher und menschengemachter Substanzen. Auch Halogenradikale wirken als Oxidationsmittel. Sie können beispielsweise elementares, gasförmiges Quecksilber oxidieren, einen Umweltschadstoff, der teils aus natürlichen Quellen, teils aus der Verbrennung fossiler Energieträger stammt und sich aufgrund seiner schlechten Wasserlöslichkeit mit der atmosphärischen Zirkulation auf der gesamten Erde ver-



DR. UDO FRIß studierte Physik an den Universitäten Mainz und Heidelberg. Während seiner Doktorarbeit am Institut für Umweltphysik der Universität Heidelberg entwickelte er zwei DOAS-Instrumente, die für Messungen auf der Neumayer-Station III in der Antarktis und der neuseeländischen „Scott Base“ eingesetzt werden. Nach einem zweijährigen Forschungsaufenthalt an der University of Leicester (Großbritannien) widmet sich Udo Friß seit dem Jahr 2006 am Institut für Umweltphysik der Chemie der Halogene in der Arktis und der Antarktis.

Kontakt: udo.friess@iup.uni-heidelberg.de

teilt. Im Gegensatz zu elementarem Quecksilber ist Quecksilber, das von Bromradikalen oxidiert wurde, sehr gut wasserlöslich. Infolgedessen kann das Quecksilber über die Eisoberflächen oder durch direkten Eintrag in den Ozean in die Biosphäre gelangen und dort entlang der Nahrungsketten akkumulieren. Von den Organismen kann Quecksilber nicht ausgeschieden werden, so dass es sich im Gewebe einlagert.

Halogenradikale haben auch einen potenziellen Einfluss auf das Klima der Erde: Partikel von Schwefelsäure sind über den Weltmeeren die wichtigsten Keime zur Bildung von Wolkentropfen. Die Schwefelsäuretröpfchen entstammen unter anderem schwefelhaltigen Verbindungen, die von Plankton gebildet werden und dann aus dem Wasser in die Atmosphäre gelangen. Werden schwefelhaltige Verbindungen von Bromradikalen oxidiert, entsteht weniger Schwefelsäure. Das wiederum beeinflusst die Anzahl und die Größenverteilung der Wolkentropfen. Modellrechnungen legen nahe, dass die optischen Eigenschaften und die Lebensdauer von Wolken davon beeinflusst werden und sich das Klima dadurch verändern kann.

Halogenen auf der Spur

Halogenradikale in der antarktischen Atmosphäre zu messen, ist eine logistische und technische Herausforderung: Messungen im Feld sind schwierig; darüber hinaus machen es die charakteristischen chemischen Eigenschaften der Halogenverbindungen schwer, die

WHODUNNIT IN ANTARCTICA

HOW HALOGEN COMPOUNDS CHANGE THE WORLD

UDO FRIEB & JAN-MARCUS NASSE

Antarctica is a continent of extremes – but what makes it special are not only its remoteness and its meteorological conditions. A complex interplay between salty ice surfaces and the air above them creates unique chemical conditions in the continent's atmosphere that influence the regional environment and may even affect the earth climate. Under certain conditions, a series of chemical reactions can release compounds that contain halogens from salty surfaces. Solar radiation quickly turns these into highly reactive radicals that change the chemical properties of the atmosphere and affect several chemical cycles. Reactive halogen compounds deplete surface ozone, can lead to an enhanced influx of toxic mercury into the biosphere, and potentially alter the concentration and properties of cloud condensation nuclei, affecting the optical properties of clouds and ultimately the climate.

Since at any time throughout the year several million square kilometres of salty sea ice surfaces are available on earth, elevated halogen concentrations can occur across areas larger than Europe, as observed by satellites. Nevertheless, studying the release and further fate of halogen compounds is a very challenging endeavour. Their high reactivity requires a contactless measurement technique that furthermore has to withstand the environmental conditions of the polar region and needs to operate with minimal maintenance.

Two complementary instruments using the Differential Optical Absorption Spectroscopy principle (DOAS) that were developed at the Institute of Environmental Physics are currently in use on the German Antarctic station Neumayer III to investigate halogen radical chemistry in coastal regions of the continent. The results permit an assessment of the importance of different surface types for the release of reactive halogen compounds. The first long-term observation of chlorine monoxide radical concentrations indicates that the role of this radical in the chemistry of the lower atmosphere and its influence on the greenhouse gas methane may have been underestimated thus far. ●

DR UDO FRIEB studied physics at the universities of Mainz and Heidelberg. While writing his doctoral thesis at Heidelberg University's Institute of Environmental Physics, he developed two DOAS instruments that are used for measurements on the German Antarctic station Neumayer III and on "Scott Base", which is run by New Zealand. After a two-year research stay at the University of Leicester (UK), Udo Frieß transferred back to Heidelberg in 2006, where he investigates the chemistry of halogens in the Arctic and Antarctic at the Institute of Environmental Physics.

Contact: udo.friess@
iup.uni-heidelberg.de

JAN-MARCUS NASSE studied physics at Heidelberg University and at Université Paris-Sud (France). In 2015 he began doing research for his doctoral thesis on the chemistry of reactive halogen compounds in the Antarctic troposphere. In the context of this work, he and his colleagues of the research group on troposphere and free radicals developed a new measuring instrument (long path DOAS), which he has been running since 2016 on the German Neumayer III station in Antarctica, together with the winter crews of the Alfred Wegener Institute in Bremerhaven.

Contact: Jan.Nasse@
iup.uni-heidelberg.de

“After the end of the brief Antarctic summer, an extraordinary process begins over the Southern Polar Sea that gives rise to highly reactive trace gases.”

polare Halogenchemie zu untersuchen. Wir verwenden für die Messungen die „Differentielle Optische Absorptionsspektroskopie“ (DOAS), eine vom Leiter unserer Arbeitsgruppe, Ulrich Platt, maßgeblich entwickelte, mittlerweile weltweit genutzte Fernerkundungsmethode. Mit ihr lassen sich einige wenige Spurengasmoleküle unter einer Billion Luftmolekülen nachweisen. Das Messprinzip von DOAS funktioniert folgendermaßen: Licht, das die Atmosphäre durchquert, wird von gasförmigen Molekülen, die in der Atmosphäre vorhanden sind, in charakteristischer Weise absorbiert. Die Moleküle hinterlassen eine Art spektralen Fingerabdruck. Spaltet man das Licht mit einem Spektrometer in seine Spektralfarben auf und misst anschließend die Intensität mit einer speziellen Kamera, lassen sich mehrere atmosphärische Spurengase gleichzeitig nachweisen.

Eine Variante von DOAS ist die „Multi-Axiale Differentielle Optische Absorptionsspektroskopie“ (MAX-DOAS). Sie verwendet als Messsignal Sonnenlicht, das in der Atmosphäre an Molekülen oder Partikeln streut. Das Himmelsstreulicht wird von einem Teleskop eingefangen und dann spektral analysiert. Weil die aus unterschiedlichen Blickrichtungen eingefangenen Spektren Informationen aus unterschiedlichen Schichten der Atmosphäre enthalten, erlaubt es eine geschickte Kombination dieser Informationen, die vertikale Verteilung der Gase zu rekonstruieren. Auf der Neumayer-Station III betreiben wir MAX-DOAS-Messungen kontinuierlich seit dem Jahr 1999 und verfügen nunmehr über die weltweit längste Zeitreihe von Konzentrationen reaktiver Halogenverbindungen in der Antarktis.

Das MAX-DOAS-Messprinzip hat allerdings auch Nachteile. Zum einen ist das Bestimmen von Vertikalprofilen mit einigen Unsicherheiten behaftet, zum anderen sind MAX-DOAS-Messungen beschränkt auf Zeiten mit ausreichend Sonnenlicht. Da chemische Prozesse in der Atmosphäre sehr stark von der Sonnenstrahlung beeinflusst werden und sich die Tages- und Nachtchemie erheblich voneinander unterscheidet, lässt sich die Nachtchemie aufgrund der fehlenden Sonneneinstrahlung nicht mit MAX-DOAS beobachten. Für Polargebiete mit der eingangs beschriebenen Polarnacht bedeutet dies, dass – je nach Ort – mehrmonatige Lücken in den Messreihen entstehen.

Hier kann eine weitere DOAS-Technik weiterhelfen, die „Langpfad-DOAS“: Licht einer künstlichen Lichtquelle (meist einer leistungsstarken Xenonlampe) wird von einem Teleskop horizontal durch die Atmosphäre auf einen mehrere Kilometer weit entfernten Reflektor geworfen. Ein Teleskop sammelt das zurückkehrende Licht wieder ein und leitet es einem Spektrometer zu, der das Licht analysiert. Da der Lichtweg genau bekannt ist



JAN-MARCUS NASSE studierte Physik an der Universität Heidelberg sowie an der Universität Paris-Sud (Frankreich). Seit 2015 promoviert er an der Universität Heidelberg zur „Chemie reaktiver Halogenverbindungen in der Troposphäre der Antarktis“. Im Rahmen dieser Arbeit entwickelte er mit Kollegen der Arbeitsgruppe für Troposphäre und freie Radikale ein neues Messinstrument (Langpfad-DOAS). Dieses betreibt er zusammen mit den Überwinterungsmannschaften des Alfred-Wegener-Instituts in Bremerhaven seit 2016 auf der deutschen Neumayer-Station III in der Antarktis.

Kontakt: Jan.Nasse@iup.uni-heidelberg.de

(der doppelte Abstand von Teleskop zu Reflektor), lässt sich die mittlere Konzentration der Spurengase zwischen Teleskop und Reflektor einfach berechnen. Diese Technik erlaubt es nicht nur, die Nachtchemie zu beobachten, sie macht auch Messungen im kurzwelligen Spektralbereich (unterhalb 300 Nanometer) möglich, der MAX-DOAS-Instrumenten nicht zugänglich ist.

Mit Langpfad-DOAS gelang Ulrich Platt gemeinsam mit Kollegen schon Mitte der 1980er-Jahre der Nachweis, dass Bromverbindungen beim Abbau bodennahen Ozons in der Arktis eine große Rolle spielen. Damals waren Langpfad-DOAS-Messungen noch eine technische Herausforderung, heute können sie dank zahlreicher Verbesserungen ähnlich wartungsarm wie MAX-DOAS-Instrumente betrieben werden. Seit Anfang 2016 ergänzt ein Langpfad-DOAS-Instrument auch die Messungen auf der Neumayer-Station III und liefert die bislang längste durchgehende Messung mit dieser Technik in der Antarktis.

Neue Beobachtungen – neue Fragen

Die Kombination der DOAS-Techniken erlaubt es, zahlreiche bislang unbeantwortete Fragen eingehend zu untersuchen. Aktuell beschäftigen wir uns beispielsweise damit, wie verschiedene Oberflächenarten zur Freisetzung von Brom beitragen. Über die Simulation des atmosphärischen Lufttransports und Satellitenmessungen der Meereisbedeckung lässt sich beispielsweise bestimmen, wie lange Luftpakete Kontakt mit dem Meereis haben. Zieht man die vor Ort gemessenen Konzentrationen an Bromradikalen hinzu, kann man auf die Quellen reaktiven Broms rückschließen. So zeigt sich, dass Meereis insbesondere im Frühjahr den Hauptbeitrag zur Bromfreisetzung liefert und dass unter stürmischen Bedingungen salzhaltige Aerosole zu einem Transport von reaktiven Halogenen bis in das Innere des antarktischen Kontinents führen.

Nicht nur das Meereis, auch die Schneeoberfläche kann eine lokale Quelle für reaktive Halogene sein, wenn sich der Schnee nach Stürmen mit Meersalz angereichert hat. Ist die Luft oberhalb des Schnees sehr stabil geschichtet, kommt es nicht zum Austausch mit weiter darüber liegenden Luftmassen. Unter diesen Bedingungen werden regelmäßig extrem hohe Brommonoxid-Konzentrationen gemessen. Sie übersteigen die bisherigen Beobachtungen in den Polargebieten weit. Die hohe Konzentration von Brommonoxid unter ruhigen atmosphärischen Bedingungen deutet darauf hin, dass es neben der „Bromexplosion“ noch weitere Mechanismen der Freisetzung gibt. Doch warum ist das beobachtete reaktive Chlor immer nur in kurzen Episoden in der antarktischen Küstenregion vorhanden? Wie genau werden Chlorradikale freigesetzt?

**„Halogenradikale
haben einen
bedeutenden Einfluss
auf zahlreiche
komplexe chemische
Kreisläufe in
der Atmosphäre.“**

ORGANISCHE MOLEKÜLE AUF DEM EISMOND

Der Saturnmond Enceladus ist von einer Eiskruste bedeckt, unter der sich ein globaler Ozean aus flüssigem Wasser verbirgt. Ein Detektor der Raumsonde „Cassini“ hat von Enceladus ins All geschleuderte Eisteilchen aufgespürt, die organische Substanzen in hohen Konzentrationen enthalten. Sie weisen die typischen Strukturen von sehr komplexen makromolekularen Verbindungen auf – und sind der erste Nachweis großer organischer Moleküle einer außerirdischen Wasserwelt. Erzeugt werden können sie nur durch ebenfalls komplexe chemische Prozesse. „Die Entdeckung makromolekularer Verbindungen, die aus einer moderat warmen Wasserumgebung stammen, wird das Interesse an solchen Eismonden als mögliche Habitate extraterrestrischen Lebens weltweit befeuern“, erklärt Prof. Dr. Mario Trieloff vom Klaus-Tschira-Labor für Kosmochemie, das am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg angesiedelt ist. Ausgewertet wurden die Daten des „Cassini“-Detektors von einem Wissenschaftlerteam des Instituts unter Leitung des Planetologen Privatdozent Dr. Frank Postberg.

(red) Enceladus gilt als eines der vielversprechendsten Objekte bei der Suche nach außerirdischem Leben in unserem Sonnensystem. Der Saturnmond schleudert Eisteilchen in Form von mehreren Hundert Kilometer großen Eisfontänen ins All, die vermutlich mit warmen Hydrothermalsystemen

im Kern des Mondes in Verbindung stehen. Dabei werden aus dem Gesteinskern auch organische Verbindungen ausgewaschen, die sich im Wasserozean ansammeln und dann an die Oberfläche transportiert werden. Die Ozeanoberfläche befindet sich – in Spalten der Eiskruste – nur wenige Hundert Meter unter der eisigen Oberfläche von Enceladus.

Die großen organischen Moleküle sind allerdings nicht wasserlöslich. Sie bestehen aus komplexen Mischungen ringförmiger (aromatischer) und linearer (aliphatischer) Bestandteile mit funktionellen Gruppen, die Sauerstoff und vermutlich Stickstoff enthalten, und werden teilweise aus Hunderten von Atomen gebildet. „Wahrscheinlich sorgen Gasbläschen für ihren Transport an die Ozeanoberfläche, wo sie einen organischen Film bilden“, erklärt Dr. Nozair Khawaja, der die begleitenden Laborexperimente mit organischen Substanzen leitete. „Es scheint, als würde Enceladus sein organisches Inventar so aus den Tiefen des Ozeans in stark erhöhten Konzentrationen an die Wasseroberfläche bringen. Von dort aus wird es mit Ozeantröpfchen ins Weltall geschleudert.“

Mit den Daten des „Cassini“-Detektors konnten die Heidelberger Forscher nicht nur die Zusammensetzung des Ozeans, sondern auch die komplexe organische Chemie in seinen Tiefen untersuchen. Laut Prof. Trieloff erlauben die vorliegenden „Cassini“-Daten allein jedoch keine definitive Antwort auf die Frage, ob diesen großen organischen Molekülen hydrothermale oder sogar biogene Prozesse zugrunde liegen. „Dies ließe sich allerdings relativ leicht mit einer zukünftigen Enceladus-Raummission klären.“

Die amerikanisch-europäische „Cassini-Huygens-Mission“ wurde 1997 als gemeinsames Projekt der NASA und der ESA sowie der italienischen Raumfahrtagentur ASI gestartet. Von 2004 an befand sich „Cassini“ im Saturnsystem und wurde im September 2017 kontrolliert in der Saturnatmosphäre zum Absturz gebracht, wo die Raumsonde verglühte. Die Daten, mit denen die Heidelberger Forscher gearbeitet haben, sind Bestandteil eines Datensatzes, der über 13 Jahre gesammelt wurde und die Wissenschaft noch eine Weile beschäftigen wird. ●

ORGANIC MOLECULES ON THE ICY MOON

Under its icy crust, Saturn's moon Enceladus conceals a global ocean of liquid water. A detector on the "Cassini" space probe detected ice particles propelled from Enceladus that contain high concentrations of organic substances. They exhibit the structures typical of highly complex macromolecular compounds – and are the first evidence of large organic molecules from an extraterrestrial aquatic world. They can be generated only by equally complex chemical processes. "The discovery of macromolecular compounds originating from a moderately warm water environment will fuel interest worldwide in such icy moons as possible habitats for extraterrestrial life," states Prof. Dr Mario Trieloff from the Klaus Tschira Laboratory for Cosmochemistry at the Institute of Earth Sciences. The data from the "Cassini" detector was evaluated by a team of scientists of the institute under the direction of planetologist Assistant Professor Dr Frank Postberg.

Enceladus is considered one of our solar system's most promising candidates in the search for extraterrestrial life. Huge icy jets several hundreds of kilometres high erupt from the Saturn's moon and are likely associated with hydrothermal vents in the moon's core. This hydrothermal activity leach out organic compounds of the rock core; they accumulate in the liquid ocean and are then transported to the surface. The ocean's surface is located – in fissures of the ice crust – just a few hundred metres below the icy surface of Enceladus. Using data from the "Cassini" detector, the Heidelberg researchers were able to study not only the composition of the ocean on Enceladus but also the complex organic chemistry in the ocean's depths. The "Cassini-Huygens" mission began in 1997 as a joint project of NASA, the ESA, and Italy's ASI space agency. "Cassini" entered Saturn's orbit in 2004 and was de-orbited in September 2017 to burn up in Saturn's atmosphere. The data used by the Heidelberg researchers is a subset of a dataset collected over 13 years – data that will certainly occupy the world of research for some time to come. ●

„Die Atmosphäre der Polargebiete ist mit hohen Mengen an reaktivem Brommonoxid angereichert – die davon betroffenen Gebiete übersteigen mit mehreren Millionen Quadratkilometern zeitweise die Fläche des europäischen Kontinents.“

Und wie stark ist ihr Einfluss auf die atmosphärische Chemie? Das sind Fragen, die wir derzeit in unserer Arbeitsgruppe intensiv erforschen.

Bislang ist die Atmosphäre der Antarktis vom Menschen noch weitgehend unbeeinflusst. Sie kann uns als „Reinluftlabor“ dienen, um Phänomene zu untersuchen, die nicht nur in Polargebieten, sondern auch in vielen anderen Regionen relevant sind, beispielsweise über Salzseen oder in Vulkangasen. Reaktive Verbindungen von Brom, Chlor und Jod spielen sicher auf lokaler und regionaler Ebene eine wichtige Rolle – vermutlich haben sie aber auch auf globaler Ebene einen großen Einfluss, vor allem auf das Erdklima. Aus diesem Grund werden reaktive Verbindungen seit einigen Jahren vermehrt in weltweiten Klima- und Chemiemodellen berücksichtigt. Die in der

Antarktis gewonnenen Erkenntnisse lassen sich Beobachtungen gegenüberstellen, die in der vom Menschen sehr stark beeinflussten Arktis gemacht wurden: Dort ist künftig zu erwarten, dass Klimaveränderungen – vor allem der dramatische Rückgang des Meereises im Sommer – einen bedeutenden Einfluss auf die Freisetzung von Halogenen und somit auf die Zusammensetzung der Atmosphäre haben werden. ●

EXOTISCHE

ELEMENTE

EXOTISCHE ELEMENTE

RADIOAKTIVE TRANSURANE IM MENSCHLICHEN KÖRPER

PETRA PANAK & NICOLE ADAM

Durch den Zerfall von Radionukliden wird Wärme freigesetzt – was sich im Begriff der „heißen Chemie“ widerspiegelt. Dieser exotische Bereich der Chemie steht oft im Zusammenhang mit Transuranen, einer gemeinhin kaum bekannten Elementgruppe. Transurane sind nicht allein für die Grundlagenforschung interessant, es ergeben sich auch viele angewandte Fragen: beispielsweise hinsichtlich der sicheren Endlagerung radioaktiver Abfälle – und der Frage, was passiert, wenn Transurane in den menschlichen Körper gelangen.

D

Die Chemie umfasst viele verschiedene Gebiete, etwa die organische Chemie, die anorganische Chemie oder die Biochemie. Ein eher exotisches Fachgebiet ist die „heiße Chemie“. Wohl die wenigsten können sich darunter etwas vorstellen. Die heiße Chemie wiederum steht oft in Zusammenhang mit den „Transuranen“ – einer Elementgruppe, die wohl auch für die meisten Chemiker ein Buch mit sieben Siegeln sein dürfte.

Was sind Transurane? Im Jahr 1789 entdeckte der deutsche Chemiker Martin Heinrich Klaproth (1743 bis 1817) das Element Uran im Mineral Pechblende. Seinen Namen erhielt das neue Element von dem Planeten Uranus, da man diesen damals für den am weitesten entfernten Planeten unseres Sonnensystems hielt und Uran seinerzeit das Element mit der größten Atommasse war (Ordnungszahl 92).

Ein Jahrhundert später erkannte der französische Physiker Henri Becquerel die Radioaktivität: Er stellte fest, dass von Uranverbindungen ionisierende Strahlung ausgeht. Im Jahr 1940 gelang es erstmals, künstlich Elemente mit größeren Ordnungszahlen als 92 herzustellen: Auf Uran folgten die „Transurane“ Neptunium (Ordnungszahl 93) und Plutonium (Ordnungszahl 94). Weitere Transurane bis hin zu dem im Jahr 1961 künstlich erzeugten Element Lawrencium (Ordnungszahl 103) folgten. Diese wurden in der Arbeitsgruppe um den amerikanischen Chemiker und Kernphysiker Glenn T. Seaborg hergestellt und charakterisiert. Seaborg erhielt dafür im Jahr 1951 den Nobelpreis für Chemie.

Transurane sind also Elemente mit einer höheren Ordnungszahl als Uran; alle Transurane sind radioaktiv und haben zum Teil sehr lange Halbwertszeiten. Von „heiße Chemie“ ist die Rede, wenn die Aktivität radioaktiver Elemente einen Wert von 100 Gigabecquerel (GBq) überschreitet, also pro Sekunde 100 Milliarden Zerfälle stattfinden. Arbeiten im Bereich der heißen Chemie erfordern besondere Strahlenschutzvorkehrungen: Die Handhabung der radioaktiven Elemente erfolgt in sogenannten „heißen Zellen“, die stark abgeschirmt sind und mit Manipulatoren fernhantiert betrieben werden. In den letzten Jahrzehnten wurde eine Reihe von neuen, sehr empfindlichen analytischen Methoden entwickelt, die es ermöglichen, Transurane in sehr kleinen Mengen – teilweise

„Transurane sind Elemente mit einer höheren Ordnungszahl als Uran; alle Transurane sind radioaktiv, kommen nicht in der Natur vor und werden künstlich erzeugt.“

im Spurenkonzentrationsbereich – zu untersuchen. Auf diese Weise kann die Aktivität der eingesetzten Transurane um viele Größenordnungen verringert werden, was die Durchführung von Experimenten stark vereinfacht. Nichtsdestoweniger können Transurane nur in speziellen Laboratorien mit einem Kontroll- oder Überwachungsbereich gehandhabt werden. Diese bedürfen einer Genehmigung und müssen gemäß der Strahlenschutzverordnung mit entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen ausgestattet sein, um ein sicheres Arbeiten mit Transuranelementen zu gewährleisten.

Viele angewandte Fragestellungen

Trotz der aufwendigen Handhabung und der teilweise sehr geringen Verfügbarkeit dieser exotischen Elemente gibt es eine Reihe internationaler Forschergruppen, die sich mit der Chemie der Transurane beschäftigen. Interessant sind zum einen die grundlegenden chemischen und physikalischen Eigenschaften dieser Elementgruppe, zum anderen ergeben sich viele angewandte Fragestellungen – vor allem im Zusammenhang mit der Endlagerung hoch radioaktiver Abfälle.

Abgebrannte Kernbrennstoffe von Leistungsreaktoren enthalten als Hauptbestandteil Uran, hinzu kommen circa drei Prozent Spaltprodukte – und ein geringer Anteil an Transuranelementen. Sie entstehen im Reaktor durch den Einfang von Neutronen in einen Atomkern und nachfolgende Zerfallsreaktionen. Mit rund einem Prozent ist Plutonium am häufigsten vertreten; die Transuranelemente Neptunium, Americium und Curium liegen mit insgesamt 0,1 Prozent in deutlich geringerem Maße in den abgebrannten Kernbrennstoffen vor. Dennoch bestimmen Transuranelemente aufgrund ihrer langen Halbwertszeiten die Langzeitradiotoxizität der Abfälle. Es ist deshalb notwendig, sie langfristig von der Biosphäre zu isolieren.

Im Rahmen eines Langzeitsicherheitsnachweises zur Endlagerung von hoch radioaktiven Abfällen werden auch Szenarien berücksichtigt, die die Möglichkeit einbeziehen, dass Wasser in den Endlagerbereich eindringen und ein Auslaugen radioaktiver Stoffe bewirken könnte. Das Ausmaß einer solchen Freisetzung ist von vielen radiochemischen, geochemischen und biochemischen Reaktionen abhängig. Diese Prozesse gilt es zu identifizieren und zu quantifizieren sowie die Reaktionsmechanismen aufzuklären. Damit beschäftigt sich auch unsere Arbeitsgruppe am Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Heidelberg. Die Prozesse sind die Grundlage für ein Modell, das es erlaubt, die Ausbreitung von Transuranen in natürlichen Systemen zuverlässig zu beschreiben. Auf dieser Basis werden auch belastbare Prognosen bezüglich der Langzeitsicherheit eines Endlagers möglich.

Verteilungswege: Die Rolle von Transferrin

Bei Anwendungen von Radionukliden in Forschung, Medizin und Technik besteht das Risiko, dass radioaktives

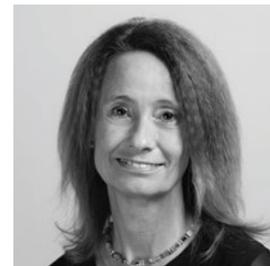
Material freigesetzt wird und in die Umwelt gelangt. Dann können Radionuklide auch in den Körper des Menschen gelangen. Transuranelemente sind aufgrund ihrer langen Halbwertszeiten und ihrer hohen Radiotoxizität eine besondere Gefahr. Erschwerend kommt hinzu, dass bei diesen seltenen Elementen – im Unterschied zu vielen anderen giftigen Metallionen wie Quecksilber oder Chrom – nur ein unzureichendes Wissen darüber besteht, wie Transurane vom menschlichen Körper aufgenommen werden, wie sie sich im Organismus verteilen, ob sie dort angereichert oder wieder ausgeschieden werden.

Die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass der größte Teil der vom Körper aufgenommenen (inkorporierten) Transuranelemente mit dem Urin wieder ausgeschieden wird. Ein Teil jedoch verbleibt im Körper: Die radiotoxischen Schwermetalle reichern sich in der Leber und in den Knochen an.

Bei der Verteilung der Transurane im Körper und ihrer Anreicherung in Organen spielen vermutlich bestimmte Proteine des Blutes eine wichtige Rolle. Eines der wichtigsten Proteine im menschlichen Blutserum ist „Transferrin“, das für den Eisentransport verantwortlich ist: Dazu bindet es zwei dreiwertige Eisenionen und bringt sie mit dem Blutstrom zu den Zellen. Bei den Bindestellen von Transferrin handelt es sich gleichsam um Taschen, in die jeweils genau ein Eisenion passt. Innerhalb der Taschen wird das Eisenion von vier Transferrin-Aminosäureresten gebunden. Sobald Transferrin vollständig mit Eisen beladen ist, verändert es seine Struktur: Aus einer offenen wird eine geschlossene Konformation. Diese Strukturänderung ist entscheidend für die Bindung des Eisen-Transferrin-Komplexes an den Transferrinrezeptor – die „Empfangsstation“ auf der Oberfläche von Zellen, ebenfalls ein Protein. Der Komplex bindet an den Rezeptor, woraufhin Eisen in das Innere der Zelle abgegeben wird.

Im Blutserum sind nur rund 30 Prozent der Bindestellen des Transferrins mit Eisen beladen. Aufgrund dessen können auch andere Metallionen an Transferrin binden. Obwohl sich viele dieser Metallionen in ihrer Größe erheblich von der des Eisens unterscheiden, sind Transferrinkomplex-Bildungen mit mehr als 30 verschiedenen Metallionen bekannt. Die Bindung an Transferrin ist auch ein möglicher Transportweg, über den sich Transurane im Körper verteilen können. Das Ziel unserer Arbeitsgruppe am Physikalisch-Chemischen Institut ist es, die relevanten biochemischen Reaktionen der Transurane zu identifizieren und zu charakterisieren sowie den Transportweg der Radionuklide im menschlichen Körper aufzuklären.

Derzeit beschäftigen wir uns mit der Wechselwirkung, die Transurane mit Transferrin und Albumin – einem weiteren



PROF. DR. PETRA J. PANAK ist Professorin für Radiochemie am Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Heidelberg. Nach ihrer Promotion an der Technischen Universität München folgten Aufenthalte am Forschungszentrum Dresden-Rossendorf (heute HZDR), am Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien (USA) und am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Nach ihrer 2006 erfolgten Habilitation an der Universität Heidelberg über „Aquatische Chemie der Actiniden in kolloidalen Systemen“ folgte sie 2008 dem Ruf auf die EnBW-Stiftungsprofessur „Radiochemie“ an der Universität Heidelberg. Gleichzeitig ist Petra Panak Leiterin der Forschungsgruppe „Koordinationschemie von Actiniden“ am Institut für Nukleare Entsorgung des KIT. Sie ist Mitglied des Vorstands der Fachgruppe „Nuklearchemie“ der Gesellschaft Deutscher Chemiker, des Ausschusses Endlagerung radioaktiver Abfälle (EL) der Entsorgungskommission (ESK) und des Wissenschaftlichen Beirats des HZDR.

Kontakt: petra.panak@kit.edu

„Bei der Verteilung der Transurane im Körper und ihrer Anreicherung in Organen spielen vermutlich bestimmte Proteine des Blutserums eine wichtige Rolle.“

Blutserumprotein – eingehen. Für unsere Untersuchungen verwenden wir das Transuranelement „Curium“, benannt nach Pierre und Marie Curie. Wir regen Curiumatome mit einem ultravioletten Laserstrahl zur Fluoreszenz an und weisen sie mit sehr empfindlichen fluoreszenzspektroskopischen Methoden nach. Dieses Vorgehen erlaubt Experimente mit Transuranelementen im Spurenkonzentrationsbereich, wodurch eine einfache und gefahrlose Handhabung gewährleistet ist. Die Wechselwirkungen, die das Transuranelement Curium mit Blutserumproteinen eingeht, können damit auf molekularer Ebene untersucht und die Strukturen der entstehenden Curium-Transferrin-Komplexe aufgeklärt werden.

Aufnahme in die Zellen?

Dreiwertiges Curium ist fast doppelt so groß wie dreiwertiges Eisen. Es stellt sich daher die Frage, ob das sehr viel größere Curium überhaupt in die für Eisen vorgesehenen „Taschen“ des Transferrins passen kann. Wir konnten in unseren Untersuchungen eindeutig nachweisen, dass Curium an diese Koordinationsstellen tatsächlich bindet und dass an der Bindung von Curium sogar dieselben Aminosäurereste beteiligt sind wie im Falle des Eisens. Damit konnten wir erstmals wesentliche Informationen darüber liefern, wie das Blutserumprotein Transferrin mit einem Transuranelement wechselwirkt. Der im Vergleich

zu Eisen deutlich größere Ionenradius von Curium macht sich allerdings in der Bindungsstärke bemerkbar: Curium bindet deutlich schwächer an Transferrin als Eisen.

Damit das Transuranelement Curium von menschlichen Zellen, beispielsweise von Leberzellen, aufgenommen werden kann, muss noch eine weitere Voraussetzung erfüllt sein: Das beladene Protein muss – wie im Falle von Eisen – von der offenen in die geschlossene Konformation übergehen. Nur in der geschlossenen Konformation kann es an den Transferrinrezeptor auf der Oberfläche von Zellen binden und in das Innere der Zelle gelangen. Denkbar ist, dass der große Radius des Curiumions den Übergang in die geschlossene Konformation behindert und ein Problem darstellt. Informationen zur Struktur der gebildeten Komplexe sind nur schwer zu gewinnen, weil sie experimentell kaum zugänglich sind. Hier konnten uns quantenchemische Berechnungen weiterhelfen: Sie bestätigten – exzellent übereinstimmend mit den experimentellen Ergebnissen –, dass Curium in die Proteinstruktur eingebaut wird. Um Aussagen über eine dadurch verursachte Änderung der Konformation zu gewinnen, wurde ein Winkel über zwei an der Bindung beteiligte Aminosäuren und dem Metallzentrum definiert. Im Falle des Eisen-Transferrin-Komplexes beträgt dieser Winkel 64,2 Grad, im Falle des Curium-Transferrin-Komplexes 60,3 Grad.



DR. NICOLE ADAM studierte Chemie an der Universität Heidelberg. Dort wurde sie 2015 in Radiochemie promoviert und arbeitet seitdem als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe „Koordinationschemie von Actiniden“ von Petra Panak am Institut für Nukleare Entsorgung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT). Dort beschäftigt sie sich schwerpunktmäßig mit Verteilungs- und Wechselwirkungsmechanismen von Radionukliden im menschlichen Körper.

Kontakt: nicole.adam@kit.edu

EXOTIC INVADERS

RADIOACTIVE TRANSURANIUM ELEMENTS IN THE HUMAN BODY

PETRA PANAK & NICOLE ADAM

In the event of an accidental release of radionuclides into the environment, transuranium elements in particular may represent a serious health risk. At this time, little is known about the chemical behaviour and toxic effects of these elements in the human body. An in-depth understanding of the relevant biochemical reactions is essential to the development of potential decontamination therapies. One possible reaction that incorporated transuranium elements might undergo is the complexation to human serum transferrin, an iron carrier protein in the blood.

We studied the interaction between the transuranium element of curium and human serum transferrin. The curium transferrin complex was identified and characterised using a combined experimental and theoretical approach. Although curium is significantly larger compared to iron, it is able to coordinate at the iron binding sites of transferrin. This leads to a conformational change from an open into a closed structure which is required for the recognition of the loaded transferrin by the transferrin receptor and the uptake into cells.

At physiologically relevant conditions, curium prefers to form complexes with carbonate. Nevertheless, a significant amount of curium is still bound at the iron binding sites of transferrin. Therefore, the complexation with blood serum proteins is a possible pathway for the distribution of transuranium elements in the human body. Our results provide a deeper understanding of the mechanisms of curium transferrin interaction, which is crucial for further studies investigating the uptake of curium-loaded transferrin into cells and the development of decontamination strategies. ●

“Certain blood serum proteins may play an important role in the distribution of transuranium elements throughout the human body and their concentration in the organs.”

PROF. DR PETRA J. PANAK is a professor of radiochemistry at Heidelberg University's Institute for Physical Chemistry. She earned her PhD at the Technical University of Munich and held positions at the Research Centre Dresden-Rossendorf (today HZDR), the Lawrence Berkeley National Laboratory in California (USA) and the Karlsruhe Institute of Technology (KIT). In 2006 she completed her habilitation at Heidelberg University with a thesis on the aquatic chemistry of actinides in colloidal systems, and in 2008 she accepted the EnBW Endowed Chair of Radiochemistry at Heidelberg University. Petra Panak heads the “Coordination chemistry of actinides” research group at KIT's Institute for Nuclear Waste Disposal. She is a board member of the Nuclear Chemistry division of the German Chemical Society and a member of the Committee on Final Disposal (EL) of the Nuclear Waste Management Commission (ESK) and of the HZDR's Scientific Advisory Board.

Contact: petra.panak@kit.edu

DR NICOLE ADAM studied chemistry at Heidelberg University, where she obtained her PhD in radiochemistry in 2015. Since then, she has been a research assistant in the “Coordination chemistry of actinides” research group headed by Petra Panak at the Institute for Nuclear Waste Disposal of the Karlsruhe Institute of Technology (KIT). Her research focus is the mechanisms governing the distribution and interaction of radionuclides in the human body.

Contact: nicole.adam@kit.edu

„Die Kombination experimenteller und theoretischer Methoden hat uns detaillierte Informationen zur Wechselwirkung des Transuranelements Curium mit dem Blutserumprotein Transferrin gewinnen lassen.“

Diese Berechnungen bestätigen: Nicht nur bei Eisen, auch beim Einbau von Curium in die Proteinstruktur erfolgt der Übergang von der offenen in die geschlossene Konformation.

Will man wissen, ob Radionuklide vom menschlichen Körper aufgenommen werden, sind Untersuchungen unter „physiologischen Bedingungen“ wichtig – also unter den Bedingungen, die natürlicherweise im Blut bestehen. Aufgrund der hohen Carbonatkonzentration, die im Blut vorherrscht, liegt ein Teil des Curiums unter physiologischen Bedingungen als Carbonatkomplexe vor. Trotz dieser starken Konkurrenz bindet Curium an Transferrin: Damit ist ein möglicher Weg für die Verteilung von aufgenommenen Transuranen im Körper gegeben.

In-vivo-Zellstudien geplant

Die Kombination experimenteller und theoretischer Methoden hat uns erstmals detaillierte Informationen über die Wechselwirkung von Curium mit Transferrin und die Struktur des gebildeten Komplexes gewinnen lassen. Diese Erkenntnisse tragen wesentlich zu einem besseren Ver-

ständnis der Transuran-Protein-Wechselwirkungen und somit zum Transport von Transuranen im menschlichen Körper bei. Ob diese Prozesse tatsächlich auch im lebenden Organismus stattfinden, lässt sich allein anhand dieser mechanistischen Studien allerdings nicht vorhersagen.

Um diese Frage zu klären, sind sogenannte in-vivo-Zellstudien geplant. Damit wollen wir relevante Aufnahme- wege in verschiedene Zellsysteme untersuchen und dabei die genaue Rolle des Transferrins und anderer Blutserumproteine identifizieren und charakterisieren. Die Zellstudien sollen gemeinsam mit Wissenschaftlern des Pharmakologischen Instituts der Universität Heidelberg erfolgen. Mit dieser interdisziplinären Zusammenarbeit wollen wir weitere neue Erkenntnisse über die Reaktionen von Transuranen im menschlichen Organismus, ihre Verteilung im Körper und ihre Anreicherung in Organen gewinnen. Damit wollen wir auch neue Wege finden, um inkorporierte Transurane wieder effektiv aus dem Körper zu entfernen. ●

ZWERGE

**UND
MONSTER**

ZWERGE UND MONSTER

AUS DER TIEFE DER ERDE

AXEL SCHMITT

Zu den heißesten Naturereignissen auf der Erde gehört glutflüssige Lava: Mit einer Temperatur von etwa 1.200 Grad Celsius tritt sie aus Erdspalten oder in Feuerfontänen aus – als Ergebnis von Vorgängen, die sich in kilometerweiter Tiefe im Erdinneren abspielen. Mithilfe einer an deutschen Universitäten bisher einzigartigen Ionensonde rekonstruieren Heidelberger Forscher anhand von Kristallen aus vulkanischen Gesteinen deren magmatische Vorgeschichte, die sich über Tausende bis manchmal sogar Millionen von Jahren abgespielt hat.

S

Schätzungsweise 20 Prozent der Weltbevölkerung leben im Gefahrenbereich von Vulkanen. Vulkanologen kategorisieren diese etwas willkürlich als aktiv, wenn sie innerhalb der letzten 10.000 Jahre ausgebrochen sind. Von den weltweit insgesamt etwa 1.500 so eingestuften Vulkanen befinden sich allerdings gegenwärtig nur etwa 20 im Zustand eines Ausbruchs. Die Herausforderung ist es, vorherzusagen, welcher der vielen momentan nicht eruptierenden Vulkane möglicherweise wieder zum Leben erwachen könnte. Dabei gilt es, die entscheidenden Fragen zu beantworten: Ist unter dem Vulkan noch heißes und eruptierbares Magma vorhanden oder ist es bereits zu festem Gestein abgekühlt? Und wenn noch Gesteinsschmelze vorhanden wäre, wie schnell könnte diese mobilisiert und zu einer gefährlichen Magmablase zusammengeführt werden?

Heißes Magma, kalter Pluton

Glutflüssige Lava, die mit circa 1.200 Grad Celsius aus Spalten oder in Feuerfontänen austritt, zählt zweifelsohne zu den heißesten Naturereignissen auf der Erdoberfläche. Solche vulkanischen Phänomene, wie sie sich beispielsweise auf Hawaii zwischen Mai und August 2018 abspielten, sind allerdings eher ein Unfall: ein selten auftretender, aber nichtsdestoweniger für den Menschen oft katastrophaler „Schluckauf“ während des ansonsten friedlichen Abkühlens von Magma in der Tiefe. Denn in der Regel erstarrt in der Tiefe aufgeschmolzenes Gestein bei seinem Aufstieg noch weit unterhalb der Erdoberfläche und bildet dabei Tiefengesteine oder Plutone, die das mächtige Fundament der Erdkruste bilden. Vulkanismus auf der Erde tritt jedoch klar zeitlich und räumlich begrenzt auf. Dabei verstecken sich die meisten (und in der angegebenen Zahl von 1.500 aktiven Vulkanen nicht mit eingeschlossenen) Vulkane in den Tiefen der Ozeane entlang ausgedehnter Bruchzonen, die sich untermeerisch über Tausende von Kilometern erstrecken. Auch an Land sind Vulkane in bestimmten Bereichen der Erdkruste konzentriert, nämlich überwiegend in vulkanischen Inselbögen oder Gebirgsketten, die die Grenzen zwischen zwei sich aufeinander zubewegenden tektonischen Platten nachzeichnen. Die oberste, im Durchschnitt etwa 100 Kilometer mächtige, feste Gesteinshülle der Erde ist in solche Platten zerbrochen. Diese liegen auf einer weichen, aber dennoch festen Schicht des Erdmantels auf und verschieben sich relativ zueinander mit Geschwindig-



PROF. DR. AXEL K. SCHMITT leitet seit 2015 die Forschungsgruppe „Isotopengeologie und Petrologie“ am Institut für Geowissenschaften der Universität Heidelberg. Nach dem Studium der Mineralogie an der Universität Potsdam – Deutsches GeoForschungszentrum war er zwischen 2000 und 2002 Postdoktorand an der University of California Los Angeles (USA) und der Australian National University in Canberra (Australien). Zwischen 2003 und 2015 forschte und lehrte er an der University of California Los Angeles, wo er eine nationale Großforschungseinrichtung in der Ionensondenanalytik betreute. Die Entwicklung geochemischer und geochronologischer Anwendungen der Ionensonde ist auch im seit 2014 bestehenden Heidelberger Ionensonden-Labor ein Schwerpunkt seiner Forschung. Axel Schmitt ist Fulbright-Preisträger und seit 2014 Ehrenmitglied der Mineralogical Society of America.

Kontakt: axel.schmitt@geow.uni-heidelberg.de

keiten von etwa einem Millimeter pro Woche, was ungefähr mit dem Wachstum von Fingernägeln vergleichbar ist. Dort, wo sich eine Platte unter die andere schiebt, entstehen Schmelzen in sogenannten Subduktionszonen. Noch seltener liegen Vulkane innerhalb einer Platte, wie es beispielsweise für Hawaii oder die Eifel zutrifft. Allerdings nimmt die Verwundbarkeit durch vulkanische Ereignisse aufgrund von Globalisierung und Vernetzung selbst in nicht direkt gefährdeten Regionen stetig zu.

Direkt nach meiner Promotion, also vor fast 20 Jahren, hatte ich Gelegenheit, an meiner ersten größeren Forschungstagung teilzunehmen, dem Treffen der American Geophysical Union in San Francisco. Noch aufregender als die Tagung erschien mir die Möglichkeit, im Anschluss ein paar Tage freizunehmen, um mit dem Mietauto den kalifornischen Westen zu erkunden. Nach stundenlanger Fahrt erreichte ich endlich die Sierra Nevada, deren Kern durch einen der ausgedehntesten und am besten zugänglichen Plutone der Erde gebildet wird. Die Granite dieses Plutons entstanden in einer ehemaligen Subduktionszone im Zeitraum zwischen Jura und Kreidezeit, also vor etwa 120 bis 90 Millionen Jahren, und gelangten im Laufe der Jahrmillionen durch Hebung und Abtragung an die Oberfläche. Wahrscheinlich lag es an der Monotonie des Fahrens entlang schier endloser, in den Eiszeiten durch Gletscher glatt geschliffenen Granitflächen im und um den Yosemite-Nationalpark, aber in meiner Einbildung verwandelte sich mein treuer Dodge Stratus in eine Art gut isoliertes Unterseeboot, mit dem ich den unterirdischen Magmasee eines längst vergangenen Vulkankomplexes gewaltigen Ausmaßes erkundete. Der Gedanke erschien mir faszinierend und gleichzeitig abenteuerlich abwegig: Kann es wirklich solche sich über Hunderte von Kilometern erstreckenden glutheißen Magmablasen geben, wie es die Ausdehnung der Sierra Nevada suggeriert? Ich hatte in meiner Dissertation vulkanische Eruptionen in den chilenischen Anden untersucht, ein Beispiel einer heute noch aktiven Subduktionszone. Könnten die kalifornischen Plutone sozusagen das Gegenstück zu den großvolumigen Supereruptionen der Anden darstellen? Oder entstanden diese Plutone doch womöglich anders, nämlich aus vielen kleinen Magmaschüben, die sich nach und nach äußerlich ununterscheidbar miteinander vermengt haben, etwa so, wie ein Omelett aus mehreren Eiern hervorgegangen ist und nicht aus einem einzigen Superei?

Beim Versuch, eine Beziehung zwischen Vulkanen an der Oberfläche und Plutonen in der Tiefe herzustellen, landet man schnell bei einem Dilemma: Die sich im Inneren einer Subduktionszone bildenden Magmen und Gesteine befinden sich bei aktiven Vulkanen in unerreichbarer Tiefe. Dagegen sind bei heute an der Oberfläche anstehenden Plutonen ehemaliger Subduktionszonen die vormals aufliegenden vulkanischen Gesteine längst abgetragen. Eine

Lösung dieses Dilemmas liegt in den Gesteinen selbst verborgen, nämlich in Kristallen, die sich in der Tiefe gebildet haben und dann während einer vulkanischen Eruption an die Oberfläche transportiert wurden. Einem Kreuzverhör entsprechender analytischer Methoden unterzogen, können diese Kristalle Vorgänge bezeugen, die sich einst kilometertief unter einem Vulkan zugetragen haben.

Kristalle aus 5.000 Meter Höhe

Kristalle, deren Anteil an vulkanischem Gestein von unter einem Prozent bis fast zur Hälfte reichen kann, wachsen in der Schmelze vor der Eruption, und ihre Zusammensetzung spiegelt die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Magmas wider. Ein ganz besonderer Kristall ist der Zirkon, chemisch Zirconium-Orthosilikat mit der Formel $ZrSiO_4$. Der Clou beim Zirkon ist, dass er in geringen Mengen das in Gesteinsschmelzen vorhandene Uran und Thorium einbaut und diese Elemente dabei stark anreichert. Beide Elemente sind radioaktiv, und aus den Verhältnissen der Ausgangsisotope zu ihren Zerfallsprodukten kann verlässlich ermittelt werden, zu welchem Zeitpunkt sich Zirkon im Magma gebildet hat. Die Zirkonkristalle sind darin vergleichbar mit einem Flugdatenschreiber: Während ihres Wachstums zeichnen sie alle Veränderungen der wichtigen Parameter eines Magmas auf, darunter Temperatur, Kristallanteil und Schmelzzusammensetzung. Das Auslesen dieser „Blackbox“ ist allerdings nicht ganz einfach: Zirkonkristalle sind sehr klein und haben in der Regel einen Durchmesser, der demjenigen eines menschlichen Haares entspricht. Einzelne Wachstumszonen innerhalb eines Zirkonkristalls sind sogar noch winziger und umfassen nur wenige tausendstel Millimeter. In Heidelberg verwenden wir für die Analyse von Zirkon eine Ionensonde: eine Art von Teilchenbeschleuniger, bei dem durch einen mikroskopisch fokussierten energetischen Ionenstrahl Atome aus einem Feststoff herausgeschlagen und die darin enthaltenen Isotope in einem Massenspektrometer nachgewiesen werden. Dieses vier Millionen Euro teure Gerät wurde als erstes und bislang einziges an einer deutschen Universität 2014 im Institut für Geowissenschaften aufgestellt. Eine der besonderen Stärken der Ionensonde ist es, die wenigen Uran- und Thoriumatome aus einer Teilchenwolke verlässlich herausfiltern zu können, um daraus hoch aufgelöst die Zeitdauer des magmatischen Zirkonwachstums zu rekonstruieren.

Im Jahr 2009 kehrte ich mit meinem Kollegen Shanaka de Silva von der Oregon State University und einem Team hoch motivierter Doktoranden und Masterstudierenden in die Anden zurück. Im Hochplateau des Altiplano und der angrenzenden Puna befinden sich einige der größten vulkanischen Einbruchstrukturen der Erde: ausgedehnte Calderen – also kessel- oder beckenförmige Einbruchstrukturen über einer Magmakammer –, die bequem den

Rhein-Neckar-Kreis umschließen würden. Jede dieser Calderen ist das Ergebnis einer supervulkanischen Eruption, bei der 1.000 Kubikkilometer und mehr an Magma ausgeschleudert wurden. Diese Auswurfmassen, hypothetisch im Rhein-Neckar-Kreis abgeladen, würden diesen mit einer mehr als einen Kilometer mächtigen Schicht aus Bims und Asche begraben. Allerdings hatten wir unser Auge nicht auf die Calderen gerichtet, sondern auf vergleichsweise kleine Lavadome – kuppelförmige Gebilde aus

„Der Austritt
glutflüssiger Lava ist
ein selten auf-
tretender ‚Schluckauf‘
während des
ansonsten friedlichen
Abkühlens von
Magma in der Tiefe.“

Lava über einem Vulkanschlot –, die sich zwischen diesen Rieseneruptionen gebildet hatten. Interessanterweise scheint es zeitliche Häufungen in den gewaltigen vulkanischen Explosionen zu geben, die die Calderen hinterließen, während dann wieder Pausen von ein bis zwei Millionen Jahren einsetzten, während derer nur hin und wieder relativ geringe Mengen an Lava austraten. Wahrscheinlich befinden sich die zentralen Anden momentan in einer solchen Ruhephase.

„Zirkonkristalle sind vergleichbar mit einem Flugdatenschreiber: Sie zeichnen alle Veränderungen der wichtigen Parameter eines Magmas auf.“

Heidelberger Ionensonden-Labor

Das Ionensonden-Labor an der Universität Heidelberg mit einer hochauflösenden Ionensonde zur Bearbeitung geowissenschaftlicher Forschungsfragen wurde Ende 2014 als nationales Labor für Sekundärionen-Massenspektrometrie eingerichtet. Es wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert und wurde in der Anfangsphase von einem wissenschaftlichen Beirat mit Experten aus Großbritannien, Schweden, Dänemark und Deutschland begleitet. Mit dem Forschungsgrößgerät können Isotopendatierungen und die Messung von Spurenelementen in extraterrestrischen und terrestrischen Gesteinen hochpräzise mit einer räumlichen Auflösung im Mikrometerbereich durchgeführt werden. Bearbeitet werden Forschungsvorhaben aus den Bereichen Kosmo- und Geochemie, Isotopengeologie, Klimatologie, Umweltstudien und Archäologie.

Geländearbeit auf mehr als 5.000 Meter Höhe ist mühsam, und während unser Team nach jedem Molekül Sauerstoff schnappend die Flanken von Lavaströmen mit Hunderten von Metern Mächtigkeit hinaufstolperte, kam es uns ironisch vor, dass diese Monster von Lavadomen eigentlich nur die kleinen Brüder ihrer supervulkanischen Calderen-Schwester waren. Schon im Gelände war auffällig, dass in den Laven die gleichen Kristalle wie in den Auswurfmassen der Calderen auftraten, aber in Anzahl und Größe weit über jene hinausgehend. Die Lavadome und die Calderen hatten also tatsächlich die gleichen Magmaguellen, nur war den Kristallen aus den Lavadomen anscheinend mehr Zeit zum Wachstum gegönnt.

Zirkonalter und Magmamodelle

Zurück im Labor erhielten wir die ersten Ergebnisse der Zirkonmessungen. Manche Zirkone waren etwa 100.000 Jahre alt, was dem erwarteten Eruptionsalter dieser Laven entsprach. Dann wiederum gab es Zirkone, die viel älter waren, und zwar um fast zwei Millionen Jahre. Das Bemerkenswerteste war allerdings, dass wir eine fast ununterbrochene Reihe von Zirkonaltern zwischen diesen beiden Endpunkten gemessen hatten. Diese überraschende Altersspanne war ein eindeutiger Beleg, dass Zirkon in der Tiefe über einen extrem langen Zeitraum wachsen konnte, ohne dass es zwischendurch zu einem Ausbruch kam. Da sich Zirkon fast ausschließlich im Magma bildet, bedeutete dies, dass auch in den scheinbaren Ruhephasen immer etwas Magma unterhalb der späteren Lavadome vorhanden war. Mit meinem Kollegen Oscar Lovera von der University of California Los Angeles haben wir versucht, dieses Phänomen besser zu verstehen. Oscar entwickelte ein Computermodell, das berechnete, wie viel Magma von unten in eine Magmakammer nachströmen muss, um der Abkühlung der Kammer in wenigen Kilometern Tiefe unterhalb des Vulkans entgegenzuwirken. Die sich aus den Zirkonaltern herleitende Bedingung war, dass immer genügend Schmelze zwischen zwei Magmaschüben verweilen musste, damit Zirkon über einen langen Zeitraum wachsen konnte. Die Berechnungen ergaben, dass während des fast zwei Millionen Jahre andauernden Zirkonwachstums durch zahllose Magmaschübe ein Pluton gewaltigen Ausmaßes entstanden sein musste, dessen Volumen um etwa das 75-Fache über das hinausging, was an Magma in der Eruption vor 100.000 Jahren letztendlich an der Oberfläche austrat.

Oscars Modell erlaubte es uns auch, unterschiedliche Mengen des aus der Tiefe aufsteigenden Magmas zu simulieren. Wenn man im Modell die Zufuhr von heißem Magma aus der Tiefe nur etwas erhöhte, dann hielten sich Aufheizung und Abkühlung nicht mehr die Waage. Stattdessen kam es zu einem dramatischen Anwachsen der Schmelzmenge unter dem Modellvulkan. Nach wenigen 100.000 Jahren war die Magmablase dann

DWARVES AND MONSTERS

FROM THE DEPTHS OF EARTH

AXEL SCHMITT

Processes in subvolcanic magma reservoirs are critical in controlling the chemical and physical properties of eruptible magma, yet they are difficult to observe directly because of the large time scales involved in magma accumulation and storage and the inaccessible depths at which magma pools prior to volcanic eruptions. In fact, only a small fraction of the magma generated on earth erupts, while the larger part cools and solidifies beneath the surface to form plutonic rocks. Only about 20 volcanoes worldwide are currently erupting, while a total of 1,500 are classified as active. Volcanologists must therefore determine which of these presently dormant volcanoes could reawaken and which ones have gone completely cold.

At Heidelberg University, we investigate volcanic crystals that formed in magma and thus encode a record of the magma's thermal and compositional evolution. Zircon is particularly useful in this regard because it contains naturally occurring radioactive isotopes of uranium and thorium that can be dated. Zircon can thus yield a reliable record of how key magmatic parameters such as temperature, composition and crystallinity changed over time prior to an eruption. To reconstruct these parameters from micrometre-sized growth bands in tiny zircon crystals, we use an energetic ion beam generated in an ion microprobe.

Zircon results from the central Andes have revealed that magma accumulated steadily even during eruptive lulls of one to two million years' duration between episodes of supervolcanic activity. This suggests that plutons amalgamate from small magma increments, whereas voluminous magma pools are ephemeral and contribute little to pluton formation. Zircon from smaller volcanic systems such as the Laacher See volcano in the German Eifel region indicates much faster magma accumulation prior to eruption, but the build-up still extends over many millennia. Such a magma presence should be detectable and provide early warning of future eruptions. ●

PROF. DR AXEL K. SCHMITT has been heading the "Isotope Geology and Petrology" research group at Heidelberg University's Institute of Earth Sciences since 2015. He studied mineralogy at the University of Gießen and earned his PhD at the Helmholtz Centre Potsdam – German Research Centre for Geosciences, then worked as a post-doctoral researcher at the University of California Los Angeles (USA) and the Australian National University in Canberra (Australia) between 2000 and 2002. From 2003 to 2015 he held a teaching and research position at the University of California Los Angeles, where he was responsible for a national major research institution in the field of ion probe analytics. Developing geochemical and geochronological applications for the ion probe continues to be a focal point of his research in the Heidelberg ion probe lab, which was inaugurated in 2014. Axel Schmitt is a Fulbright Scholar and in 2014 became a Fellow of the Mineralogical Society of America.

Contact: axel.schmitt@
geow.uni-heidelberg.de

**“Volcanism on earth occurs
within clear limits
of time and location.”**

derart angewachsen, dass sie nur noch in einer gewaltigen Explosion platzen konnte. Interessanterweise scheint nicht viel zu fehlen, damit ein System vom Zustand eines weitgehend friedlich in der Tiefe wachsenden Plutons in eine Phase chaotisch platzender Magmablasen umschlägt. Auf einem Küchenherd mit zehn Heizstufen entspräche das in etwa, den Schalter von „2“ auf „3“ zu drehen. Auch wenn das noch in ferner Zukunft liegt: Eine erneute supervulkanische Phase in den zentralen Anden ist daher nicht auszuschließen.

Unsere Untersuchungen in den Anden haben ergeben, dass sich ausgedehnte Plutone in der Regel während vulkanischer Ruhephasen bilden. Große Ansammlungen von Magma tragen wahrscheinlich erstaunlich wenig zum Wachstum eines Plutons bei, sondern neigen wegen ihrer Instabilität zur vulkanischen Entleerung, die in der Tiefe nur wenige Spuren hinterlässt. Mein phantastischer Magma-pool in der Sierra Nevada hat daher wahrscheinlich nie so existiert. Warum der Magmanachschub in den Anden anscheinend im Laufe von Millionen Jahren schwankte, bleibt allerdings noch ungeklärt. Veränderungen in der Geometrie oder Zusammensetzung der in einer Subduktionszone abtauchenden Platte könnten den Magmanachschub beeinflussen.

Heiß oder kalt vor der Haustür

Vulkane in der Eifel sind Zwerge im Vergleich zu denen der zentralen Anden, und bis in die 1970er-Jahre hinein galten die Eifelvulkane als erloschen. Erst durch die zahlreichen von dem Vulkanologen Hans-Ulrich Schmincke (Universität Bochum und Leibniz-Institut für Meereswissenschaften Kiel) und auch von dem Heidelberger Geochronologen Hans Joachim Lippolt in den 1980er- und 1990er-Jahren initiierten Datierungen wurde klar, dass der quartäre Eifelvulkanismus über seine circa 700.000 Jahre andauernde Aktivität immer wieder längere Pausen einlegte. Betrachtet man diese Datierungsergebnisse, so ergibt sich kein Grund, die vulkanische Aktivität in der Eifel für beendet zu erklären.

Eine der größten Eruptionen in der Eifel war diejenige vor circa 12.900 Jahren, die den Laacher See zurückgelassen hat und weite Bereiche Mitteleuropas mit einer Schicht aus vulkanischer Asche bedeckte. Auch hier stellt sich die Frage, was eigentlich vor diesem Ausbruch in der Tiefe vorging und wie lange es dauerte, bis sich die immerhin etwa 15 Kubikkilometer Magma angesammelt hatten, aus denen sich der Ausbruch des Laacher Sees speiste. Auch für die Gesteine des Laacher Sees kamen Zirkon und die Heidelberger Ionensonde zum Einsatz. Zirkon-Datierungen zeigten, dass sich bereits vor 30.000 Jahren in ersten Schüben das Laacher-See-Magma ansammelte, der Zustrom aus der Tiefe sich aber während einiger Tausend Jahre vor der Eruption stark intensivierte. Auch hier kam es unseres Wissens während dieser Vorlaufzeit zu keinen Eruptionen.

„Es gibt keinen Grund, die vulkanische Aktivität in der Eifel für beendet zu erklären.“

Im Vergleich zu den Anden aber sind diese Zeiträume für die Bildung einer Magmakammer sehr kurz. Es ist dennoch beruhigend zu wissen, dass auch Vulkane wie der Laacher See eine in historischen Zeiträumen gemessene längere Vorgeschichte haben. Es ist daher zu erwarten, dass sich die allmähliche Platznahme von Magma in der Tiefe durch Erdbeben, intensivierte Gasaustritt oder Deformation an der Oberfläche ankündigt. Bei kleineren Eifelvulkanen wie den basaltisch zusammengesetzten Maaren steigt Magma allerdings direkt aus viel größeren Tiefen auf, als es bei den im Vergleich zu Basalt siliziumreicheren Magmen des Laacher-See-Vulkans der Fall war. Ausbrüche von Maarvulkanen haben daher vermutlich nur eine sehr kurze Vorwarnzeit. Auch in der Eifel könnte es in Zukunft also wieder heiß hergehen. ●

ULTRA
KVALITÄT
ATOME

ULTRAKALTE ATOME

DIE GESCHICHTE DES EISES

WERNER AESCHBACH & MARKUS OBERTHALER

Wie kalt ist kalt? Selbst innerhalb der Physik gehen die Vorstellungen dazu auseinander. Für Umweltphysiker mit Spezialgebiet Eisforschung sind Gletscher „kalt“, wenn die Temperatur im Eis permanent unterhalb des Gefrierpunktes liegt, das Eis also nie zum Schmelzen kommt. Solche Gletscher eignen sich als Klima- und Umweltarchive. Für Atomphysiker mit Spezialisierung auf Laserkühlung hingegen sind Atome „kalt“, wenn ihre Temperatur sehr nahe am absoluten Nullpunkt liegt. Die zwei Forschungsgebiete haben mehr miteinander zu tun, als man denken könnte: Die extrem kalten Atome können helfen, die Geschichte der nicht ganz so kalten Gletscher zu entschlüsseln.



In der Alltagserfahrung bringen wir den Begriff „kalt“ gerne in Verbindung mit dem Gefrierpunkt von Wasser, durch den der Nullpunkt der Celsius-Temperaturskala definiert ist. Bei null Grad Celsius wird es für das Leben, das auf flüssiges Wasser angewiesen ist, ungemütlich. Temperaturen „unter null“ kann man daher getrost als kalt bezeichnen. In diesem Temperaturbereich arbeitet die Glaziologie, die Wissenschaft von Eis und Schnee. Glaziologen befassen sich mit dem gefrorenen Teil der Welt, auch „Kryosphäre“ genannt.

Physikalisch ist Temperatur definiert als ein Maß für die Geschwindigkeit und damit Energie der ungeordneten

„Richtig kalt – im absoluten Sinne – ist es nur in der Nähe des Nullpunktes der Kelvin-Skala.“

Bewegung der Teilchen – Atome und Moleküle –, aus denen Materie besteht. Der Nullpunkt der Celsius-Skala ist in dieser Hinsicht willkürlich gewählt. Physiker messen die Temperatur lieber in Kelvin (K), weil diese Temperaturskala am absoluten Nullpunkt beginnt. Kälter als Null Kelvin kann es nicht werden! Diese kältestmögliche Temperatur entspricht minus 273,15 Grad Celsius, um diesen Betrag sind die Celsius- und die Kelvin-Skala verschoben.

Ultrakalte Atome in Atomfallen

So richtig kalt – im absoluten Sinne – ist es also nur in der Nähe des Nullpunktes der Kelvin-Skala. In diesem Temperaturbereich arbeiten Tieftemperaturphysiker, aber auch manche Atomphysiker. Durch die Erfindung der Laserkühlung, für die 1997 der Nobelpreis für Physik vergeben wurde, ist es möglich geworden, Atome sehr stark abzukühlen. Das geschieht dadurch, dass Strahlen von Laserlicht auf Atome gerichtet werden. Wenn ein Atom ein Lichtteilchen, ein sogenanntes Photon, absorbiert, erfährt es einen sehr geringen Rückstoß. Bei der Laserkühlung geschieht dies für jedes Atom Hunderttausende Male in sehr kurzer Zeit, so dass die Atome stark abgebremst werden. Niedrigere Geschwindigkeit ist gleichbedeutend mit einer geringeren Temperatur, die Abbremsung kommt also einer Kühlung gleich.

Beispielsweise hat ein Argon-Atom bei Raumtemperatur (etwa 25 Grad Celsius oder knapp 300 Kelvin) eine mittlere Geschwindigkeit von rund 400 Metern pro Sekunde. Bremsen man diese Atome auf 40 Meter pro Sekunde ab, entspricht dies bereits einer sehr kalten Temperatur von nur 3 Kelvin (oder minus 270 Grad Celsius). Die verlangsamtsten Atome werden dann in einer sogenannten

magneto-optischen Falle gefangen und weiter abgekühlt. Ein Zusammenspiel von Magnetfeldern und Laserstrahlen sorgt hier dafür, dass die Atome auf engem Raum eingesperrt bleiben. Dabei können Temperaturen deutlich unter 1 Kelvin erreicht werden.

Diese „kalten“ Atome sind der Ausgangspunkt für die Erzeugung von Quantengasen, die man mit weiteren Tricks erzeugen kann, beispielsweise indem man gezielt die schnelleren und damit „heißeren“ Atome entweichen lässt. Dieses Regime nennt man „ultrakalt“, es entspricht Temperaturen im Bereich von milliardstel Kelvin. Solche „ultrakalten“ Atome beginnen seltsame quantenmechanische Effekte zu zeigen, zum Beispiel organisieren sie sich zu einem sogenannten Bose-Einstein-Kondensat. Mit diesen Atomen lässt sich eine Vielzahl spannender Experimente durchführen, von der Untersuchung spezieller Materiezustände bis hin zu Präzisionsmessungen von Naturkonstanten.

In Heidelberg haben wir in unserer Zusammenarbeit von Atom- und Umweltphysik eine eher ungewöhnliche Anwendung der Laserkühlung und Atomfallentechnik entwickelt, die aber bahnbrechende Untersuchungen in den Erd- und Umweltwissenschaften ermöglicht: die hochempfindliche Messung von äußerst seltenen radioaktiven Isotopen. Hier kommen ultrakalte Atome und kalte Gletscher zusammen.

Ultraseltene Isotope im Gletschereis

Isotope sind Varianten von Atomen mit unterschiedlicher Masse. Sie haben in der Umweltforschung eine Vielzahl wichtiger Anwendungen. Manche Isotope sind radioaktiv und zerfallen nach und nach – die Regelmäßigkeit ihres Zerfalls kann zur Zeitmessung benutzt werden. Das Prinzip ist einfach: Je weniger von einem radioaktiven Isotop in einer Probe noch vorhanden ist, desto älter muss sie sein. Die radioaktiven „Uhren“ ticken unterschiedlich schnell, da die Isotope verschiedene, aber genau bekannte Zerfallsraten aufweisen. Als Maß dient die Halbwertszeit, nach der nur noch die Hälfte der anfänglichen Atome vorhanden ist. Um einen weiten Bereich von Altern abzudecken, benötigt man mehrere Isotope mit unterschiedlichen Halbwertszeiten.

Prominentes Beispiel für die Altersdatierung mit radioaktiven Isotopen ist der Radiokohlenstoff ^{14}C , der mit seiner Halbwertszeit von 5.700 Jahren gut für archäologische Proben geeignet ist. Pionierleistungen hinsichtlich des Nutzens der ^{14}C -Datierung in der Umweltforschung spielten eine zentrale Rolle bei der Entstehung des Institutes für Umweltphysik in Heidelberg. Umweltphysiker interessieren sich aber auch für andere radioaktive Isotope. Für die Eisforschung wären neben ^{14}C auch Isotope der Edelgase Argon (Ar) und Krypton (Kr) von großem Interesse.

^{39}Ar mit einer Halbwertszeit von 270 Jahren und ^{81}Kr mit einer Halbwertszeit von 230.000 Jahren würden den Datierungsbereich von ^{14}C optimal erweitern, wenn man sie denn messen könnte.

Infolge des Zerfalls sind radioaktive Isotope sehr selten. Andererseits lassen sich die fortwährend stattfindenden Zerfälle leicht detektieren, so dass diese Isotope grundsätzlich gut messbar sind. Kommen aber extreme Seltenheit und langsamer Zerfall, das heißt große Halbwertszeit, zusammen, stößt die konventionelle Radioaktivitätsmessung an ihre Grenzen. Es finden ganz einfach zu wenige Zerfälle statt. Bis vor wenigen Jahren beschränkte sich die Datierung von Eis daher auf einige kurzlebige Isotope wie den superschweren Wasserstoff Tritium (^3H) und das Bleisotop ^{210}Pb , mit denen in etwa der Altersbereich der letzten 100 Jahre abgedeckt werden kann. Für den Bereich bis 1.000 Jahre würde man ^{39}Ar benötigen, anschließend bis 50.000 Jahre ^{14}C , und für das älteste Eis der Erde, das in der Antarktis mit einem Alter von rund 1,5 Millionen Jahren vermutet wird, wäre einzig ^{81}Kr brauchbar. Von all diesen Isotopen ist aber in Gletschereis zu wenig vorhanden, um eine Zerfallsmessung möglich zu machen.

Die einzige Chance, solche seltenen Isotope zu messen, besteht darin, anstelle der wenigen Zerfälle die viel größere Anzahl Atome selbst zu zählen. Dazu muss man sie aber erst einmal von den viel häufigeren stabilen Isotopen des jeweiligen Elementes trennen. Für die ^{14}C -Datierung wurde dies vor einigen Jahrzehnten durch die aus der Teilchenphysik adaptierte Beschleuniger-Massenspektrometrie möglich. Dadurch reduzierte sich die benötigte Probenmenge von einem Gramm auf ein Milligramm Kohlenstoff. Für Gletschereis ist das allerdings immer noch zu viel. Erst in jüngster Zeit haben es weitere Entwicklungen möglich gemacht, die benötigte Probenmenge auf unter zehn Mikrogramm Kohlenstoff zu verringern, was den Weg für Pionierarbeiten zur ^{14}C -Datierung von Eis am Institut für Umweltphysik ebnete.

Diese Methode funktioniert leider für Edelgasradioisotope nicht. Daher blieb die Datierung des Hauptteils alpiner Gletscher mit Altern zwischen 100 und 1.000 Jahren lange Zeit ebenso ein unerfüllter Traum wie die direkte Altersbestimmung von uraltem Eis aus der Antarktis. An dieser Stelle kamen nun die oben beschriebenen modernen Methoden der Atomphysik zu Hilfe: Vor bald 20 Jahren konnte eine Gruppe in Chicago zeigen, dass mit Laserkühlung und Atomfallen einzelne ^{81}Kr -Atome gefangen und nachgewiesen werden können. 2014 war die Methode der Atom Trap Trace Analysis (ATTA) so weit fortgeschritten, dass damit antarktisches Eis auf Alter bis zu 120.000 Jahren datiert werden konnte – allerdings wurden dafür immer noch riesige Proben von 350 Kilogramm Eis benötigt.



PROF. DR. WERNER AESCHBACH leitet den Forschungsbereich „Aquatische Systeme“ des Instituts für Umweltphysik der Universität Heidelberg. Von 2012 bis 2017 war er Direktor des Heidelberg Center for the Environment (HCE). Bevor er 2003 an die Universität Heidelberg kam, forschte er an der ETH Zürich (Schweiz), der Eawag (Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs) sowie dem Lamont-Doherty Earth Observatory der Columbia University in New York (USA). Seine Forschungsgebiete umfassen physikalische Prozesse in Seen und Grundwasser, Wasserressourcen sowie Paläoklima, für deren Studium er insbesondere Isotopenmethoden entwickelt und anwendet.

Kontakt: aeschbach@iup.uni-heidelberg.de

Etwa zur selben Zeit demonstrierten wir in Heidelberg weltweit erstmalig die ATTA-Messung von ^{39}Ar an ebenfalls noch sehr großen natürlichen Proben. Mittlerweile konnten wir die benötigte Probengröße stark reduzieren, so dass die ^{39}Ar -Datierung von Gletschern möglich wurde.

Seltene Isotope als kalte Atome messen

ATTA für ^{39}Ar nennen wir ArTTA (Argon Trap Trace Analysis). Das Grundprinzip der Methode besteht darin, die gesuchten ^{39}Ar -Atome durch Laserlicht gezielt abzubremsen, in der Atomfalle festzuhalten und dabei durch ihr Fluoreszenzlicht eindeutig nachzuweisen und zu zählen. In der ArTTA-Apparatur werden zunächst möglichst viele Atome durch eine Gasentladung in einen angeregten Zustand gebracht, in dem sie mit genau abgestimmtem Laserlicht manipuliert werden können. Die ^{39}Ar -Atome spüren die Laserstrahlen, die sie in der Bahn halten und allmählich abbremsen, bis sie in der Atomfalle für rund eine Sekunde festgehalten und dabei einzeln nachgewiesen werden können.

Das Besondere an dieser Methode ist ihre absolut perfekte Selektivität: Nur die „richtigen“ Atome, die das eingestrahlte Laserlicht optimal aufnehmen und abgeben können,

Physikalische Untersuchung des Systems Erde

Das Institut für Umweltphysik (IUP) wurde 1975 an der Universität Heidelberg gegründet. Als eigener Forschungszweig ist die Umweltphysik, beginnend in den 1950er-Jahren, aus der Entwicklung und Anwendung kernphysikalischer Messmethoden entstanden, um das System Erde zu untersuchen. Damals wie heute beschäftigt sich die Umweltphysik mit Fragestellungen rund um den 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 IUP 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 aus oder mittels Bodenradar sowie die Bildverarbeitung und die Modellierung.

www.iup.uni-heidelberg.de

„Wir haben gezeigt, dass die ^{39}Ar -Datierung von Gletschereis eine praktikable Methode für zukünftige Forschung geworden ist.“

werden abgebremst, eingefangen und nachgewiesen. Das zur Abbremsung von ^{39}Ar benötigte Laserlicht hat eine leicht andere Wellenlänge als das Licht, mit dem man das Hauptisotop von Argon (^{40}Ar) fangen könnte. Das gesamte Messprinzip funktioniert nur für das Isotop, auf das das Laserlicht exakt abgestimmt ist, denn nur diese Atome können in enorm rascher Folge Hunderttausende Lichtteilchen streuen. Diese empfindliche Abstimmung macht man sich zunutze, um die seltenen Radioisotope von ihren viel häufigeren stabilen Kollegen zu trennen.

Dabei geht es um extreme Häufigkeitsunterschiede: In atmosphärischer Luft, dem Ausgangspunkt der Datierung mit ^{39}Ar , befindet sich unter einer Billiarde (10^{15}) Argon-Atomen nur gerade ein einziges ^{39}Ar . ^{81}Kr ist vergleichsweise häufig, hier findet man ein ^{81}Kr -Atom in einer Billion (10^{12}) stabilen Krypton-Atomen. Das erklärt, warum ATTA zuerst für Krypton entwickelt wurde: Der selektive Nachweis von ^{39}Ar ist um einiges schwieriger. Die extreme Seltenheit von ^{39}Ar begrenzt nach wie vor unsere Möglichkeiten. Aus zwei Millilitern reinem Argon, die wir zum Beispiel aus rund fünf Litern Wasser erhalten, können mit der derzeitigen Apparatur pro Stunde sieben ^{39}Ar -Atome eingefangen, nachgewiesen und damit einzeln gezählt werden. Und wenn die Probe 270 Jahre alt ist, sind es nur

noch halb so viele. Diese wenigen gezählten Atome reichen aber, um in 20 Stunden Messzeit ein brauchbares Resultat zu erhalten. Die klassische Zerfallszählung würde für dieselbe Anzahl „Treffer“ mindestens die zweihundertfache Probenmenge und die zehnfache Messzeit benötigen.

Resultate für die Eis- und Umweltforschung

Die Möglichkeiten, die sich dank der neuen Messtechnik für die Umweltforschung eröffnen, sind enorm. In den letzten Jahren wurden erste Beispiele realisiert. Die Pioniere der ATTA-Methode in Chicago haben das langlebige Isotop ^{81}Kr zunächst erfolgreich zur Datierung von sehr altem Grundwasser eingesetzt. Unter der ägyptischen Wüste konnte Wasser auf bis zu eine Million Jahre datiert werden. Tiefes, salziges Grundwasser aus dem baltischen Becken in Estland ist sogar noch älter. Solche Ergebnisse können wichtig sein, wenn es um die Entsorgung von klimaschädlichem Kohlendioxid (CO_2) oder radioaktivem Müll im Untergrund geht. Wie bereits erwähnt, wurde ^{81}Kr auch zur Altersbestimmung von Eis in der Antarktis eingesetzt. Mittlerweile sind Messungen auch an Proben von nur zehn Kilogramm Eis möglich. Damit wird die Datierung von Eisbohrkernen denkbar, welche einzigartigen Informationen über das Klima der

Kirchhoff-Institut für Physik

Das Kirchhoff-Institut für Physik (KIP) ist nach Gustav Robert Kirchhoff benannt, einem der bedeutendsten Physiker des 19. Jahrhunderts, der von 1854 bis 1874 an der Universität Heidelberg lehrte und forschte. In seine Heidelberger Zeit fällt die Entdeckung der Spektralanalyse gemeinsam mit Robert Wilhelm Bunsen und deren Anwendung auf die Sonnenstrahlung, mit der Kirchhoff die Astrophysik begründete. Seine Formulierung des Strahlungsgesetzes wurde zum Tor für die Quantenphysik. Entsprechend vielseitig waren Kirchhoffs theoretische und experimentelle Forschungen, die elektrische, magnetische, optische, elastische, hydrodynamische und thermische Vorgänge umfassen.

Dieser Vielseitigkeit fühlt sich das KIP verpflichtet. Die Forschung am Institut umfasst die Bereiche Quantensysteme, Fundamentale Teilchen und Wechselwirkungen sowie klassische komplexe Systeme. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beschäftigen sich unter anderem mit ultrakalten Quantengasen, mit der Überprüfung physikalischer Modelle in der Teilchenphysik und mit elektronischen Modellsystemen zum besseren Verständnis der Prinzipien der Informationsverarbeitung im Gehirn.

www.physik.uni-heidelberg.de

THE HISTORY OF ICE

WERNER AESCHBACH & MARKUS OBERTHALER

How cold is cold? Even among physicists, there are different views on this topic. Glaciologists work below the freezing point of water, while physicists working in the field of quantum atom optics cool atoms down to just a fraction above absolute zero (0 K or $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Such extremely cold atoms can help scientists determine the age of ice.

Atoms slow down, and thereby cool, when laser light is directed at them. With this method of laser cooling and some additional tricks, it is possible to reach temperatures in the range of a billionth of a degree Kelvin. This state is called “ultracold”, and it gives rise to strange quantum mechanical effects. We adapted the method of laser cooling to develop a technique for detecting ultra-rare isotopes (variants of atoms) for environmental research.

Radioactive isotopes are used in environmental physics to measure the age of water, ice and other materials. A very useful isotope for glacier research – if it were measurable – would be ^{39}Ar , which decays with a half-life of 269 years. However, detecting this extremely rare isotope is difficult, as classical decay counting requires huge samples. Only the modern method of Atom Trap Trace Analysis (ATTA), which uses finely tuned laser light to cool, trap, detect and count individual ^{39}Ar atoms, makes it possible to measure this isotope in reasonably small samples.

A few years ago, we employed ATTA to analyse the first groundwater samples for ^{39}Ar , which were still very large. Now the method has enabled us for the first time to date 5-kg samples of ice from two alpine glaciers to ages between 200 and more than 800 years. We are thus ready to provide the time scale for the valuable climatic information stored in these glaciers, just in time before many glaciers in the Alps disappear due to global warming. ●

**„We have shown that
³⁹Ar-dating of glacier ice has
become a feasible
method for future resesarch.“**

PROF. DR WERNER AESCHBACH heads the “Aquatic Systems and Biogeochemical Cycles” research group at Heidelberg University’s Institute of Environmental Physics. From 2012 to 2017 he was director of the Heidelberg Center for the Environment (HCE). Before he came to Heidelberg University in 2003, he worked at ETH Zurich (Switzerland), Eawag (the aquatic research institute of the ETH Domain) and the Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University in New York (USA). His research interests, for which he has developed special isotope methods, include physical processes in lakes and groundwater bodies, water resources and palaeoclimatology.

Contact: aeschbach@iup.uni-heidelberg.de

PROF. DR MARKUS OBER-THALER heads the “Synthetic Quantum Systems” research group of Heidelberg University’s Kirchhoff Institute for Physics. Prior to his transfer to Heidelberg in 2003, he headed an Emmy Noether junior research group of the German Research Foundation at the University of Constance and conducted research on ultra-cold quantum gases at the University of Oxford (UK). His research focus is the experimental investigation of fundamental properties of quantum mechanical many-body systems, their quantum metrology applications and their connection to high-energy physics. The “application” of the developed techniques in other fields is a particular concern of his. Markus Oberthaler’s research group is currently involved in an experiment at CERN on the fundamental question of falling antimatter in the earth’s gravitational field and on the area of environmental physics described above.

Contact: markus.oberthaler@kip.uni-heidelberg.de

„Die Entwicklung von ArTTA kommt gerade noch rechtzeitig, um die Informationen über das Klima der letzten 1.000 Jahre, die in alpinen Gletschern gespeichert sind, auf eine solide Zeitskala zu stellen.“

Vergangenheit liefern. Eine Sensation wäre es, wenn mit ATTA Eis datiert werden könnte, das den bisherigen Altersrekord von rund 800.000 Jahren bricht.

Auch mit unserer in Heidelberg entwickelten Methode für ^{39}Ar haben wir zunächst im Grundwasser angefangen, weil noch sehr große Probenmengen benötigt wurden. Vor einigen Jahren haben wir aus verschiedenen Brunnen in der Umgebung von Heidelberg jeweils über 2.000 Liter Wasser entnommen, entgast und am daraus abgetrennten Argon die ersten ^{39}Ar -Messungen mit ATTA durchgeführt. Die gefundenen Grundwasseralter im Einzugsgebiet einer Trinkwasserfassung lagen im Bereich von 350 bis 400 Jahren. Für die Betreiber der regionalen Wasserversorgung ist das eine gute Nachricht: Das Jahrhunderte alte Grundwasser ist sicher nicht mit modernen Verschmutzungen belastet. Diese Altersbestimmung wäre mit keiner anderen Methode möglich gewesen, nur ^{39}Ar kann die Datierungslücke für den Altersbereich von Jahrhunderten schließen.

Nachdem wir die benötigte Probenmenge auf unter zehn Liter Wasser senken konnten, begannen die ersten Pionierarbeiten mit Ozeanwasser. In der Nähe der Kapverden wurden Proben entlang zweier Tiefenprofile entnommen. Die ArTTA-Messungen daran ergaben Alter bis zu 450 Jahren im Tiefenwasser unterhalb 1.000 Meter Tiefe. Durch Kombination mit einer Datierungsmethode für die jungen Anteile in den Wasserproben konnte gezeigt werden, dass die Mischung schwächer ist als erwartet. Daraus folgt, dass an dieser Stelle mehr modernes Wasser und damit auch menschengemachtes CO_2 in die Tiefe transportiert wird, als bisher gedacht. ^{39}Ar ist das perfekte Werkzeug zum Studium der Tiefenwasserzirkulation des Ozeans, aber es werden noch viel mehr Messungen nötig sein, um das globale Bild der Ozeanzirkulation zu schärfen.

Die neueste Entwicklung in unserer Arbeit mit ^{39}Ar ist die Anwendung auf Gletschereis. Hier macht die ^{39}Ar -Datierung



PROF. DR. MARKUS OBERTHALER leitet den Forschungsbereich „Synthetische Quantensysteme“ des Kirchhoff-Instituts für Physik der Universität Heidelberg. Bevor er 2003 an die Universität Heidelberg kam, leitete er eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der Universität Konstanz und forschte an der University of Oxford (Großbritannien) auf dem Gebiet der ultrakalten Quantengase. Seine Forschungsgebiete umfassen die experimentelle Untersuchung der fundamentalen Eigenschaften von quantenmechanischen Vielteilchensystemen, deren Anwendung auf dem Gebiet der Quantenmetrologie und Verbindung zur Hochenergiephysik. Darüber hinaus ist ihm die „Anwendung“ der dabei entwickelten Techniken in anderen Gebieten ein großes Anliegen. Derzeit ist die Gruppe involviert in ein Experiment am CERN zur fundamentalen Frage nach dem Fallen von Antimaterie im Erdschwerefeld und in dem Gebiet der Umweltphysik, wie es hier beschrieben ist.

Kontakt: markus.oberthaler@kip.uni-heidelberg.de

erst Sinn, wenn mit wenigen Kilogramm Eis gearbeitet werden kann. Um zu zeigen, dass dies möglich ist, wurden gezielt Eisproben genommen, deren Alter aufgrund anderer Messungen und Studien relativ gut abgeschätzt werden kann. Die Proben stammen vom Schaufelferner in den Stubai Alpen in Österreich und vom Chli-Titlis-Gletscher in der Zentralschweiz. In beiden Gletschern gibt es für den Tourismus angelegte Eishöhlen, die einen bequemen Zugang zum Eis tief im Gletscher ermöglichen. Der Luftgehalt von Gletschereis variiert stark, aus einigen der vier bis fünf Kilogramm schweren Eisproben extrahierten wir nur 0,5 Milliliter Argon. Dennoch konnten wir damit die ersten ArTTA-Messungen an Gletschereis durchführen. Die gefundenen Alter liegen zwischen 200 und mehr als 800 Jahren und passen gut zu den Erwartungen. Damit ist gezeigt, dass die ^{39}Ar -Datierung von Gletschereis eine praktikable Methode für zukünftige Forschung geworden ist.

Diese Herausforderung wollen wir in Kooperation mit Glaziologen in Innsbruck in Angriff nehmen. Die ^{39}Ar -Datierung von Gletschern könnte beispielsweise zeigen, ob es in der mittelalterlichen Warmphase vor rund 800 Jahren schon zu einem verbreiteten Gletscherschmelzen kam, wie es heute überall in den Alpen stattfindet. Die globale Erwärmung stellt eine reale Bedrohung für die Existenz der meisten alpinen Gletscher dar. Die Entwicklung von ArTTA kommt gerade noch rechtzeitig, um die Informationen über das Klima der letzten 1.000 Jahre, die in diesen Gletschern gespeichert sind, auf eine solide Zeitskala zu stellen. ●



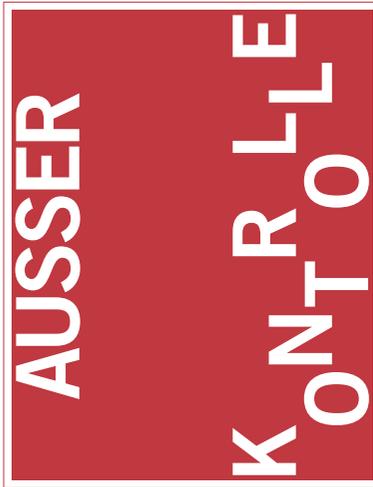
EVOLUTIONSFORSCHUNG
VOM WERDEN UND VERGEHEN
ARTENVIELFALT IM WECHSEL VON EIS- UND WARMZEITEN
MARCUS KOCH

82



PHARMAKOLOGIE
VON SCHMERZ ZU SCHMERZ
WIE WIR TEMPERATUREN WAHRNEHMEN
JAN SIEMENS & MUAD ABD EL HAY

90



PSYCHIATRIE
AUSSER KONTROLLE
GEFÜHLE BEI PERSÖNLICHKEITSSTÖRUNGEN
SABINE C. HERPERTZ

98



MEDIZINGESCHICHTE
VON FIEBER UND FROST
SCHWITZKUREN UND KÄLTETHERAPIEN
IM 19. JAHRHUNDERT
KAREN NOLTE

106

KAPITEL



VOM WERDEN

UND VERGEHEN

VOM WERDEN UND VERGEHEN

ARTENVIELFALT IM WECHSEL VON EIS- UND WARMZEITEN

MARCUS KOCH

Es wird wärmer auf der Erde – und das ziemlich schnell. Der Klimawandel ist nicht mehr zu leugnen. Wechsel von kalten und warmen Perioden gab es in der Geschichte der Erde schon immer, und schon immer waren Lebewesen gezwungen, sich an veränderte Bedingungen anzupassen. Der derzeit sehr rasche Verlust an biologischer Vielfalt aber stellt die Frage nach den grundsätzlichen Prozessen der Artbildung – und ob sie schnell genug ablaufen können, um die Artenvielfalt bei derart massiv vom Menschen beeinflussten Veränderungen zu sichern.

S

Seit nahezu 2,6 Millionen Jahren wechseln sich auf der Erde warme und kalte Zeiten ab. Der Wechsel erfolgt mit einer ausgeprägten Rhythmik, wobei die Warmzeiten stets deutlich kürzer ausfallen als die Kaltzeiten. Die letzte Warmzeit gab es vor rund 125.000 Jahren. Sie dauerte etwa 11.000 Jahre und wurde von einer Kaltzeit abgelöst, die circa 100.000 Jahre herrschte. Derzeit befinden wir uns inmitten einer deutlich vom Menschen beeinflussten Warmzeit mit rasch steigenden Temperaturen.

Warum dieser Ausflug in die Klimageschichte der Erde, wenn es um die biologische Vielfalt, das Entstehen, die

Gefährdung von Arten und grundlegende Prozesse der Artbildung gehen soll? Steigende oder sinkende Temperaturen gehen mit gravierenden Veränderungen einher, von denen stets die gesamte belebte und unbelebte Umwelt betroffen ist. All dies geschieht in sehr großen Zeiträumen und in einem bestimmten räumlichen Kontext, die jeweils einen wichtigen – und häufig wohl limitierenden – Rahmen für evolutionäre Prozesse darstellen. Kurzum: Zeit und Raum müssen gemeinsam betrachtet werden, will man mehr darüber erfahren, wann und wie neue Arten entstehen und warum Arten aussterben.

Anpassen oder auswandern?

Es gibt viele Ursachen für das Artensterben. Eine ist die Konkurrenz um Raum und Ressourcen. So sehr sich Arten auch „aus dem Wege gehen“ und „ihre Nische suchen“ – Konkurrenz lässt sich nicht vermeiden. Ein anhaltender gravierender Mangel kann zu einem allmählichen Aussterben von Lebewesen führen, erst lokal, dann regional, eventuell stirbt dann die gesamte Art. Eine andere Ursache sind Katastrophen, etwa der sich global auswirkende Einschlag eines Meteoriten, ein sehr rasch voranschreitender Klimawandel oder das

gezielte Ausrotten von Lebewesen durch den Menschen, wofür das Verschwinden des Elefantenvogels auf Madagaskar vor rund 1.000 Jahren ein Beispiel ist.

Wenn sich die Umweltbedingungen für Lebewesen stark ändern, bleiben zum Überleben zwei Strategien: Entweder die Art passt sich den verändernden Bedingungen an (Adaptation) oder sie wandert und besiedelt neue Lebensräume, die den angestammten gleichen. Das Wandern können wir heutzutage bei zahlreichen invasiven Tier- und Pflanzenarten beobachten. Ihnen wurden die Wanderwege – die eher schnellen Autobahnen gleichen – vom Menschen eröffnet. Ohne das Zutun des Menschen setzt ein erfolgreiches Wandern voraus, dass die Art schneller vorankommt, als die Umweltveränderung fortschreitet. In einem natürlichen Kontext ist genau das häufig nicht gegeben. Die Wanderungsgeschwindigkeit ist deshalb ein limitierender Faktor. Und je komplexer die ökologischen Abhängigkeiten von Lebewesen sind, desto größer ist das Risiko, dass sie aussterben.

Eine weitere Voraussetzung für das erfolgreiche Wandern ist, dass es einen Raum gibt, in den eingewandert werden kann. Stellen Sie sich eine hochalpine Pflanze vor, der es an ihrem herkömmlichen Standort „zu warm wird“. Vielleicht wandert sie weiter den Gipfel hinauf. Und wenn sie den Gipfel des Berges erreicht hat und es ihr dann immer noch zu warm ist? Dann bleibt ihr nur ein benachbarter Gipfel, der noch höher und kälter ist. Aber wie dorthin kommen? Eine Pflanze ist für die Fernausbreitung – bei geringen Erfolgsaussichten – auf nur selten anzutreffende Hilfen angewiesen. Zudem ist es sehr wahrscheinlich, dass auch der Nachbargipfel von der Temperaturerhöhung betroffen ist. Zugegeben: Dieses Szenario ist plakativ und holzschnittartig, dennoch beschreibt es recht gut die Probleme und Limitierungen des Wanderns.

Ein Ausweg ist die Adaptation. Wenn sich Lebewesen an stark veränderte Umweltbedingungen anpassen, sterben die ursprünglichen Formen oder Arten in der Regel aus.



PROF. DR. MARCUS A. KOCH leitet seit dem Jahr 2003 die Abteilung Biodiversität und Pflanzensystematik am Centre for Organismal Studies (COS) Heidelberg, dessen Gründungsdirektor und derzeitiger geschäftsführender Direktor er ist. Er leitet zudem die Forschungsstelle Biodiversität und ist Direktor des Botanischen Gartens und des Herbariums der Universität Heidelberg sowie Gründungsvorstandsmitglied und derzeitiger stellvertretender Direktor des Heidelberg Center for the Environment (HCE) und ehemaliger Fellow des Marsilius-Kollegs. Vor seiner Berufung nach Heidelberg forschte und lehrte Marcus Koch von 1995 bis 2002 an Max-Planck-Instituten in Köln und Jena sowie an der University of Natural Resources and Life Sciences in Wien (Österreich). Seine Forschungsschwerpunkte liegen vor allem an den Schnittstellen von Biodiversitäts- und Evolutionsforschung.

Kontakt: marcus.koch@cos.uni-heidelberg.de

Es entstehen dann neue Formen, die besser an die neue Umwelt angepasst sind. Die Adaptation kann in Kombination mit der Wanderung erfolgen. Das macht es möglich, dass viele neue Arten entstehen.

Der aufschlussreiche Blick zurück

Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit den grundlegenden Prozessen der Artbildung – von kleinen Populationen bis hin zu kompletten Pflanzenfamilien. Was uns interessiert, ist die Dynamik der Artbildung in Zeit und Raum. Dazu erfassen wir Umweltparameter, die heute für die Artbildung relevant sind, und rekonstruieren die vergangene Umwelt. Eine besonders wichtige Rolle spielt die Rekonstruktion der erdgeschichtlichen Vergangenheit. Nur so lassen sich die evolutionär-biologischen Prozesse verstehen, die der Artbildung zugrunde liegen.

Methoden, um vergangene biologische Prozesse zu rekonstruieren, gibt es viele. Wir arbeiten vor allem mit genetischen Daten, die uns dabei helfen, die Vergangenheit aus molekularen Signaturen abzulesen. Gegenüber allen anderen Methoden zur Rekonstruktion haben genetische Daten den Vorteil, dass dabei prinzipiell keine Zeitlücken auftreten: Veränderungen des Erbguts erfolgen kontinuierlich. Moderne molekulargenetische Verfahren erlauben es darüber hinaus, gezielt auf die Erbinformation eines Organismus zuzugreifen. Auf diese Weise können heute beim Wiederherstellen vergangener Evolutionsprozesse erstaunlich hohe zeitliche Auflösungen erreicht werden. Daraus ergibt sich die faszinierende Möglichkeit, Umweltdatensätze und biologische Datensätze ähnlich hoch aufgelöst gegenüberzustellen. Was sich dabei erkennen lässt, sollen die beiden nachfolgend dargestellten Beispiele zeigen.

Artbildung in kalten Zeiten

Die Familie der Kreuzblütler, zu der etwa die Acker-Schmalwand oder das Hirtentäschelkraut zählen, ist eine mit über 4.000 Arten weltweit anzutreffende Pflanzengruppe. Am häufigsten ist sie in den gemäßigten Zonen verbreitet. Immer wieder kommen Kreuzblütler aber auch in extremen Lebensräumen vor, etwa in den Alpen oder in der Arktis. In den letzten Jahren konnten wir das gesamte Artinventar dieser großen Familie beschreiben und haben nun eine gute Vorstellung über die verwandtschaftlichen Beziehungen.

Der Ursprung der Familie der Kreuzblütler ist im zentral-asiatischen Raum zu suchen, die ältesten Evolutionslinien innerhalb der Familie sind etwa 30 Millionen Jahre alt. Während des gesamten Miozäns und Pliozäns – den erdgeschichtlichen Zeiträumen mit langsam sinkenden Temperaturen und einer global zunehmenden Trockenheit – veränderte sich die durchgehend hohe Diversifizierungsrate (die Summe aus Aussterbe- und Artbildungsrate) nur in einzelnen Evolutionslinien der Kreuzblütler gravierend.

Evolutionenbiologie in Heidelberg

Evolutionenbiologische Forschung hat in Heidelberg eine lange Tradition: Vor 158 Jahren übersetzte Heinrich Georg Bronn, Professor für Naturgeschichte der Universität Heidelberg, erstmals das Werk „Origin of Species“ von Charles Darwin ins Deutsche. Heute sind es vor allem die auf dem Campus verfügbaren und leicht zugänglichen technischen Infrastrukturen und Methoden wie die Genom-Sequenzierung, die evolutionenbiologische Fragestellungen Eingang finden lassen in nahezu alle Bereiche moderner lebenswissenschaftlicher Forschung.

„Moderne Techniken eröffnen die faszinierende Möglichkeit, Umweltdatensätze und biologische Datensätze in ähnlich hoher Auflösung gegenüberzustellen.“

Das konnten wir mit Stammbaumrekonstruktionen und Modellierungen nachweisen. Natürlich wurden in diesem Zeitraum keine tiefen mittleren Temperaturen erreicht wie im nachfolgenden Eiszeitalter (Pleistozän).

Derzeit versuchen wir herauszufinden, ob sich die Rate der Artbildung im Pleistozän – dem Zeitabschnitt der Erdgeschichte, der charakterisiert ist durch einen schnellen Wechsel von Kalt- und Warmzeiten – geändert hat. Unsere bisherigen Ergebnisse deuten kaum auf starke Veränderungen hin. Es lässt sich auch keine deutlich gesteigerte Artbildungsrate in einzelnen Evolutionslinien feststellen, wie man es bei erheblichen Umweltveränderungen in vergleichsweise langen Zeiträumen erwarten könnte. Vielleicht sind die Zeiträume immer noch nicht lang genug, damit sich die im Miozän und Pliozän festgestellte Dynamik der Artbildung zeigt?

Wir meinen den Grund zu kennen, der für die große Vielfalt der Kreuzblütler auf Erden gesorgt hat: die häufige Verdopplung kompletter Erbgutsätze (Genome). Mehr als 40 Prozent aller heute vorkommenden Kreuzblütler sind polyploid, das heißt, sie besitzen mehr als die üblichen zwei Sätze von Chromosomen. Alle 4.000 Kreuzblütler-Arten haben mehrfache Genom-Verdopplungen hinter sich. Dem geht häufig eine Vermischung (Hybridisierung) mit anderen verwandten Arten voraus. Dafür müssen Arten sekundär miteinander in Kontakt kommen – und das geschieht nur, wenn sie gezwungen sind zu wandern. Gleichzeitig stellt die

genetische Durchmischung das evolutionäre Potenzial zur Verfügung, um sich zu verändern und anzupassen.

Artbildung im Wechsel von kalten und warmen Zeiten

„Periglazialgebiete“ sind Landschaften, die an Gletscher angrenzen und stark von ihnen bestimmt werden. Je ausgeprägter und dynamischer die Vereisungen der Gletscher sind, desto dynamischer verhalten sich auch periglaziale Landschaften. Diese Dynamik, darf man annehmen, wirkt sich auch auf die Prozesse der Artbildung aus. Tatsächlich konnten wir im nordöstlichen Alpenraum einen ausgeprägten Genfluss zwischen zwei Felsengänsekressen-Arten und das Entstehen einer neuen Hybrid-Art dokumentieren. Das von uns betrachtete Areal erstreckt sich über einige Hundert Quadratkilometer; unsere Daten haben wir mittels Genomanalyse mehrfach überprüft.

Das vereinfacht dargestellte evolutionäre Szenario sieht so aus: Während der vorletzten maximalen Vereisung vor rund 130.000 Jahren kam es zum sekundären Kontakt zweier Felsengänsekressen-Arten mit genetischer Durchmischung und Verdopplung des Erbgutes – die Vereisung hatte die Einzelareale der Arten in unmittelbare räumliche Nähe gerückt und die Areale vom Bergland weg in das Hügelland verschoben. In der darauf folgenden Zwischeneiszeit konnten sich die beiden ursprünglichen Arten wieder ausbreiten. Der neu entstandene Hybrid aber verblieb wohl im Areal und besiedelte während der letzten Vereisung seine eigenen, von den Elternarten getrennten Areale. Erst mit der letzten

„Es sind vor allem die Vervielfachungen des Erbgutes mit dauernder Durchmischung, die es bei gravierenden klimatischen Veränderungen immer wieder erlauben, erfolgreich Anpassungsprozesse zu durchlaufen.“

Warmzeit ist der Hybrid aus dem Alpenvorland ausgewandert – der erfolgte Genfluss hat zwischenzeitlich neue Eigenschaften zur Ausprägung kommen lassen. Die neue polyploide Art mit mehrfachem Chromosomensatz wanderte aus den kühlen und feuchten Kalk-Alpen in das warme und trockene Donautal. Dieses Beispiel zeigt zweierlei: Der gesamte Artbildungsprozess kann nicht nur sehr lange dauern, es lässt sich auch nicht vorherbestimmen, wohin die Reise – im wahrsten Sinne des Wortes – geht.

Andere Szenarien sind genau andersherum zu denken. Schon vor Jahren haben wir die eiszeitlichen Refugialareale des Ginkgobaumes in China aufzeigen können. Obwohl der Ginkgo ein lebendes Fossil ist, reicht der Stammbaum der heute lebenden Verwandten „nur“ 390.000 Jahre zurück. Es muss seinerzeit eine sehr starke genetische Verarmung stattgefunden haben. Vereisungen waren hierfür weniger der Grund. Stattdessen sind wohl Waldtypen-Vertreter einschließlich des Ginkgobaumes bei steigenden Temperaturen, also in den Warmzeiten, in die Berge aufgestiegen. In den Kaltzeiten breitete sich die gesamte Vegetation wieder weit in den tieferen Lagen aus. Unsere molekulargenetischen Daten legen nahe, dass sich dieses Muster in den vergangenen vier Kaltzeiten mehrfach wiederholt hat. Der Ginkgo hat sich dabei aber nicht weiter diversifiziert, was vor allem an seiner genetischen Einförmigkeit liegen mag.

COS: Von Molekülen zu lebenden Systemen

Das Centre for Organismal Studies (COS) Heidelberg ist das größte lebenswissenschaftliche Forschungszentrum an der Universität Heidelberg. Ziel der Wissenschaftler am COS ist es, die komplexen biologischen Mechanismen lebender Systeme über alle Größenskalen und Organisationsstufen hinweg zu erforschen: von der molekularen Analyse über die Ebene der Zelle bis hin zur Gesamtheit eines Organismus im Kontext mit seiner Umwelt. 2010 wurde das Zentrum aus einem Zusammenschluss der beiden Heidelberger Institute für Zoologie und Pflanzenwissenschaften gegründet; es gehört zu den zentralen wissenschaftlichen Einrichtungen der Universität.

Das COS besteht derzeit aus 16 Abteilungen und acht unabhängigen Nachwuchsgruppen. Insgesamt arbeiten hier aktuell 46 Forschungsgruppen mit rund 350 Mitarbeitern; sie alle leisten wichtige Beiträge in der Grundlagenforschung und in der Lehre. Der Botanische Garten Heidelberg ist mit einer eigenen Organisationsstruktur ebenfalls am COS eingebunden.

www.cos.uni-heidelberg.de

THE BIRTH AND DEATH OF SPECIES

BIODIVERSITY IN GLACIAL AND INTERGLACIAL PERIODS

MARCUS KOCH

Globally, many more species are currently disappearing than new species are emerging. We are witnessing not just a dramatic level of species extinction, but also an ongoing loss of absolute biodiversity. New species develop most often in response to drastic changes in environmental conditions. What are the options for survival in the face of such changes, for instance during an ice age? What is the temporal and spatial context in which new species are born? These are questions that we address primarily by decoding the information in the genome. By reconstructing the environmental parameters of past ages and using data from various environmental archives, we can today investigate evolutionary processes of species formation with unique, high-resolution methods and test our findings in specially designed experiments.

Our research team in Heidelberg is developing the evolutionary model system of the crucifers (Brassicaceae) – a plant family that encompasses 4,000 species, including the various forms of cabbage. Brassicaceae are the standard model for basic molecular biological plant research. Our comprehensive investigation traces their evolution from the beginning of their diversification more than 30 million years ago. What allowed these plants to successfully adapt time and again to dramatic climate changes was the multiplication and constant mixing of their genome.

Environmental factors like cooling and drought played a central role in the evolution of the Brassicaceae family. The continual changes between warm and cold periods over the last 2.6 million years provided the spatial and temporal dynamics for a continuously high rate of species formation. At the same time, Brassicaceae were unable to populate warm and humid tropical or subtropical regions – their evolutionary past may thus place limits on possible future adaptations. ●

**“The evolutionary
past has consequences
for the future.”**

PROF. DR MARCUS A. KOCH has been heading the Biodiversity and Plant Systematics research group at the Centre for Organismal Studies (COS) Heidelberg since 2003, whose founding director and current managing director he is. He also heads the Biodiversity research unit and is the director of the botanical garden and herbarium of Heidelberg University, founding board member and current deputy director of the Heidelberg Center for the Environment (HCE) and a former fellow of the Marsilius Kolleg. Before his transfer to Heidelberg, Marcus Koch held positions at Max Planck Institutes in Cologne and Jena and at the University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna (Austria) from 1995 to 2002. His research interests focus primarily on the intersection points of biodiversity and evolutionary research.

Contact: marcus.koch@cos.uni-heidelberg.de

„Die evolutionäre Vergangenheit hat Konsequenzen für die Zukunft.“

Forschungsstelle Biodiversität

Die Forschungsstelle Biodiversität an der Universität Heidelberg sieht sich der Erforschung der vielfältigen Facetten der biologischen Vielfalt verpflichtet. In besonderer Weise werden hier horizontale und vertikale Zeitachsen bearbeitet – die gegenwärtige sowie die ausgestorbene und zukünftige biologische Vielfalt. Ziel ist eine fächerübergreifende Bearbeitung verschiedener Themen der Biodiversität mit Schwerpunkten in der Paläobiologie, der Evolutions- und Biodiversitätsforschung sowie der physischen Geographie mit dem Schwerpunkt auf Naturräumen. Die bearbeiteten Fragestellungen reichen von reiner Grundlagenforschung in der Evolutionsbiologie bis hin zur Entwicklung konkreter Handlungsstrategien etwa im Natur- und Artenschutz.

www.biodiversity.uni-heidelberg.de

Motor der Artbildung

Damit neue Arten entstehen können, braucht es Zeit und Raum. Als ein Motor der Artbildung kann Klimawandel ganz generell – insbesondere aber der Wechsel von warmen und kalten Zeiten – betrachtet werden. Dieser Prozess braucht in der Regel Zehntausende von Jahren.

Der derzeit sehr rasche Anstieg der Temperaturen und der damit verbundene sehr schnelle Klima- und Umweltwandel machen es Pflanzen schwer, schnell genug auf die veränderten Bedingungen zu reagieren. Hinzu kommt, dass der dafür nötige Raum oft nicht vorhanden ist – oder parallel stark verändert wird, beispielsweise über den hohen landwirtschaftlichen Eintrag von Stickstoff. Für stabile Ökosysteme aber ist die biologische Vielfalt unabdingbar. Da zu befürchten ist, dass die Artenzahlen auch weiterhin abnehmen, müssen wir alles daransetzen, das Ausmaß des Artensterbens einzudämmen oder gar zu stoppen. Die Grundlagenforschung indes gibt wenig Anlass zu der Hoffnung, dass ausgestorbene Arten rasch durch neue Arten ersetzt werden. ●

VON SCHMERZ

ZU SCHMERZ

VON SCHMERZ ZU SCHMERZ

WIE WIR TEMPERATUREN WAHRNEHMEN

JAN SIEMENS & MUAD ABD EL HAY

Beim Wahrnehmen von Hitze und Kälte, dem Schmecken scharfer Speisen und Empfinden von Schmerzen scheint es sich um sehr unterschiedliche Sinnesqualitäten zu handeln. Molekular betrachtet sind sie auf die Funktion einiger weniger Nervenzellrezeptoren zurückzuführen. Kürzlich haben Heidelberger Wissenschaftler ein Mitglied dieser einflussreichen Familie mit einer neuen Funktion in Verbindung gebracht: Dieser Rezeptor ist beteiligt an der Regulation der Körpertemperatur.

D

Der Sommer 2018 wird wegen seiner lang anhaltenden und früh beginnenden Hitze, verbunden mit einer extremen Dürre, als Jahrhundert-Sommer in Erinnerung bleiben. Seit dem Beginn regelmäßiger Messungen im Jahr 1881 waren nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes nur der Sommer 1911 noch trockener und der Sommer 2003 noch heißer. Während die Medien über die Gründe der wochenlangen Hitzeperiode spekulierten, interessierte die meisten Menschen vor allem eines: Abkühlung! Schwimmbäder, Ventilatoren, ein kaltes Eis – vieles hilft dabei oder fühlt sich zumindest gut an. Interessant ist, dass man sich an die Hitze gewöhnen kann: Im April, zu Anfang der Saison, fühlen sich 30 Grad Celsius wärmer an als am Ende im August. Wie nehmen wir Temperaturen wahr? Wie empfindet unser Körper kalt, warm und heiß?

Der Temperatursinn des Menschen erstreckt sich über die Bereiche „schmerzhaft kalt“, „sehr kalt“, „kalt“, „neutral“.

„Die eigentliche Temperaturwahrnehmung findet im Gehirn statt.“

„warm“, „heiß“ und „schmerzhaft heiß“. Wie wir Temperaturen empfinden, ist von einem wichtigen Faktor abhängig: der Geschwindigkeit, mit der sich die Temperatur verändert. Verändert sie sich um 0,5 Grad pro Minute, sind Temperaturunterschiede zwischen 31 und 36 Grad für uns nicht wahrnehmbar – die Temperaturwechsel erfolgen zu langsam, um vom Gehirn wahrgenommen zu werden. Verändert sich die Temperatur rasch, beispielsweise in einer Minute um sechs Grad, wird bereits ein Unterschied von 0,3 Grad erkannt. Sehr sensible Körperregionen, etwa der Handrücken, können selbst Temperaturunterschiede von 0,02 Grad wahrnehmen.

Aber wie sieht es aus mit der absoluten Temperatur? Können wir „nur“ wahrnehmen, wie sich die Temperatur verändert, die genaue Temperatur in Grad und Celsius aber nicht bestimmen? Dieser Frage sind Wissenschaftler bereits in den 1980er-Jahren nachgegangen: Sie legten Versuchsteilnehmern kleine, jeweils unterschiedlich temperierte Platten auf den Handrücken. Nach einiger Zeit wurden die Probanden gefragt, welche Temperatur die Platte wohl habe. Das Ergebnis: Die Versuchsteilnehmer schätzten die Qualitäten „kalt“ beziehungsweise „heiß“ stets richtig ein. Beim konkreten Abfragen der Temperaturgrade stellte sich heraus, dass sie höhere Temperaturen grundsätzlich präziser einschätzten als niedrigere. Heute kennt man die Gründe dafür – auf zellulärer wie auf molekularer Ebene.

„Warme“ und „kalte“ Nervenfasern

Schon aus den 1920er-Jahren stammen Versuche zur elektrischen Weiterleitung von Temperaturreizen durch einzelne Nervenfasern. Damals erkannten die Wissenschaftler, dass es unterschiedliche Typen von Nervenfasern mit unterschiedlichen Leitungsgeschwindigkeiten gibt. Nervenfasern können wie Stromkabel isoliert sein. Dazu benutzt der Körper Myelin, eine fettartige Substanz. Abhängig von der Dicke der Myelinschicht verändern sich die Charakteristika

von Nervenfasern, vor allem aber ihre Leitungsgeschwindigkeit: Dünne, nicht isolierte Nervenfasern reichen Signale mit einer Geschwindigkeit von 0,2 bis zwei Metern pro Sekunde weiter; dicke, stark isolierte Nervenfasern erreichen Geschwindigkeiten bis zu 120 Metern pro Sekunde – das entspricht etwa 430 Kilometern in der Stunde. Ein dermaßen schnelles Weiterleiten von Signalen ist beispielsweise erforderlich, wenn man einen Gegenstand berührt und ihn anschließend bewegen will. Das Aufnehmen des mechanischen Berührungsreizes, die Verarbeitung durch das Nervensystem und die Organisation der Bewegung können nur dann gelingen, wenn Informationen in Bruchteilen von Sekunden von der Hand ins Hirn und wieder zurückgelangen. Temperaturreize brauchen keine derart schnellen Reaktionswege: Hier übernehmen in der Regel langsamere Nervenfasern das Weiterleiten der Signale. Eine Ausnahme bilden sehr heiße, gewebschädigende Temperaturen.

Mittlerweile ist bekannt, dass es insgesamt fünf Arten von Nervenfasern gibt, die für Temperaturstimuli zuständig sind: zwei Faserarten für Kältereize, eine Faserart für Wärmereize und noch einmal zwei Faserarten speziell für schmerzhaft Hitze. Es existieren also mehr Nervenfasern für Wärme- und Hitzereize als für Kältereize, was erklären kann, warum die Versuchspersonen im eingangs geschilderten Experiment höhere Temperaturen stets besser einschätzen konnten als niedrige.

Molekulare Schleusen

Die verschiedenen Nervenfaserguppen können erklären, wie schnell oder langsam eine thermische Information verarbeitet wird. Wie aber wird das elektrische Signal generiert? Schließlich muss es einen Mechanismus geben, der den thermischen Reiz in ein elektrisches Potenzial übersetzt, das vom Nervensystem weitergeleitet werden kann. Einen Hinweis zur Beantwortung dieser Frage gibt die scharf schmeckende Chilischote, die vor allem Menschen in heißen Ländern gerne essen. Warum das so ist, wurde von Forschern häufig und gerne diskutiert: Die einen vermuteten eine antibakterielle Wirkung der Chilischote; andere meinten, das häufige Essen von Chili steigere die Toleranz für hohe Temperaturen und mache den Alltag für Menschen in heißen Ländern erträglicher. Schließlich wurde in der Chilischote Capsaicin entdeckt, ein Alkaloid, das die Schote der Chilipflanze scharf schmecken lässt. Zugleich lässt es beim Auftragen auf Körperpartien den Eindruck von Wärme entstehen – was jeder weiß, der einmal seine Muskelverspannungen mit einer Capsaicin enthaltenden Salbe behandelt hat. Doch wie kommt es zustande, dass ein und derselbe Wirkstoff uns einmal „Scharfe“ und einmal „Wärme“ empfinden lässt?

Im Jahr 1997 konnte eine Forschergruppe um den Sinnesphysiologen David Julius von der University of California ein Protein identifizieren, das als Rezeptor arbeitet – eine Art „Empfangsstation“ auf Zellen. An diesen Rezeptor bindet

Capsaicin. Nervenzellen, die diesen Rezeptor tragen, werden dadurch aktiviert. Der Rezeptor erwies sich als Kanal für Ionen und trägt das Namenskürzel TRPV1.

Und siehe da: Nicht nur der Wirkstoff Capsaicin, auch Temperaturen über 42 Grad können den Ionenkanal TRPV1 aktivieren. Ob also Capsaicin bindet oder ein heißer Stimulus einwirkt – beide Reize sorgen dafür, dass sich der Kanal öffnet. Positiv geladene Ionen strömen nun in die Nervenzellen ein, unter anderem Calcium, ein wichtiger Aktivator von Nervenzellen. Der Einstrom der Ionen sorgt für einen Dominoeffekt: Weitere Ionenkanäle öffnen sich und erzeugen ein gemeinsames elektrisches Signal. Dieses Signal wandert über die Nervenzellen und -fasern zum Gehirn: Dort findet die eigentliche Temperaturwahrnehmung statt. Schmerzhaftes Temperaturreize, die eine schnelle Körperreaktion erfordern, werden nicht im Gehirn, sondern

Forschung an komplexen biologischen Netzwerken

Der Exzellenzcluster „Cellular Networks“, kurz CellNetworks, hat zum Ziel, das Verhalten und die dynamische Veränderung komplexer biologischer Netzwerke zu beschreiben und ihre Regulationsmechanismen zu verstehen. Dafür vereint CellNetworks exzellente Forschungsgruppen aus verschiedenen Instituten der Heidelberger Lebenswissenschaften und bündelt die vielfältigen Kapazitäten und Kompetenzen, die der Wissenschaftsstandort Heidelberg in der lebenswissenschaftlichen Forschung zu bieten hat. Zu den außeruniversitären Partnern des Clusters zählen neben dem Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) das Europäische Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) und das Max-Planck-Institut für medizinische Forschung (MPIMF). Eine starke Stütze stellt zudem die DKFZ-ZMBH-Allianz dar, die die Grundlagenforschung am Zentrum für Molekulare Biologie (ZMBH) der Universität mit der Zell- und Tumorbologie des DKFZ zusammenbringt.

Die Mitarbeiter von CellNetworks erarbeiten gemeinsam Grundlagenwissen, forschen für medizinische Anwendungen und untersuchen technische Weiterentwicklungen. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit und die vielen internationalen Kooperationen am Cluster finden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler optimale Forschungsbedingungen vor. Neben seinem breiten Forschungsnetzwerk mit Schwerpunkten in Europa, den USA, Japan, Indien und Australien bietet CellNetworks modernste Infrastruktur im Bereich der Zellbiologie und investiert in die Gewinnung hervorragender Nachwuchswissenschaftler.

www.cellnetworks.uni-hd.de

**„Probanden können
höhere Temperaturen
grundsätzlich
präziser einschätzen
als niedrigere.“**

„Ein unlängst entdeckter Rezeptor – TRPM2 – wirft ein ganz neues Licht auf die Temperatur- regulation in unserem Körperinneren.“

PHARMAKOLOGIE

im Rückenmark verarbeitet und unmittelbar an Muskelfasern weitergereicht: Ein Reflex wird ausgelöst, der uns beispielsweise die Hand blitzschnell von der heißen Herdplatte zurückziehen lässt – lange bevor eine komplette Temperaturempfindung im Hirn entstanden ist.

Analog zu den Warmrezeptoren der Nervenzellen gibt es auch Rezeptoren, die für Kälte zuständig sind (TRPM8). Auch bei ihnen handelt es sich um Ionenkanäle. Sie können von Menthol aktiviert werden, einer Substanz, die sich beispielsweise in der Pfefferminzpflanze findet, weswegen man auch von „Mentholrezeptoren“ spricht. Minze wird beispielsweise in Salben oder Kaugummi verwendet, um eine Empfindung der Kühle auszulösen. In gleicher Weise wie auf Menthol reagieren die Rezeptoren auf Temperaturen unter 26 Grad.

Molekulare Thermometer

Will man wissen, welche Aufgabe ein Protein – beispielsweise ein Rezeptor – im Körper erfüllt, sind Untersuchungen mit sogenannten Knock-out-Mäusen eine mittlerweile bewährte Methode. Bei den Tieren werden Gene gezielt ausgeschaltet (Gen-Knock-out). Dieses molekulargenetische Verfahren wandten Wissenschaftler auch für diejenigen Gene an, welche die Bauanleitung für den Warmrezeptor TRPV1 und den Kaltrezeptor TRPM8 tragen. Dabei zeigte sich Folgendes: Tiere, die aufgrund des genetischen Knock-outs über keine Kaltrezeptoren (TRPM8) mehr verfügen, können niedrige Temperaturen kaum mehr wahrnehmen. Überraschend war, dass die Effekte bei Tieren, deren Warmrezeptor (TRPV1) genetisch ausgeschaltet war, weit weniger offensichtlich ausfielen. Dieses Ergebnis ließ die Wissenschaftler vermuten, dass – anders als beim Kaltrezeptor TRPM8 – nicht nur der Warmrezeptor TRPV1 für das Wahrnehmen von Wärme und Hitze zuständig sein kann, sondern dass es noch weitere temperaturempfindliche Rezeptoren geben muss.

Mittlerweile sind insgesamt acht temperaturempfindliche Rezeptoren entdeckt, allesamt zelluläre Ionenkanäle, fachsprachlich TRP-Kanäle genannt (Transient Receptor Potential Channels). Die Temperaturprofile dieser Kanäle zeigen große Überschneidungen, speziell im hohen Temperaturbereich. Daraus lässt sich schließen, dass das Wahrnehmen höherer Temperaturen von mehreren Kanälen gleichzeitig gesteuert wird. Eine 2018 veröffentlichte Studie konnte diese Annahme mittlerweile bekräftigen.

Ein Rätsel ist nach wie vor das Empfinden von Wärme im Temperaturbereich zwischen 32 Grad und 40 Grad, den wir normalerweise nicht als schmerzhaft empfinden. Die dafür zuständigen Nervenfasern sind bekannt – der zugrunde liegende molekulare Mechanismus nicht. Kürzlich veröffentlichte Studien weisen auch hier auf eine wichtige Rolle des TRPV1-Rezeptors hin: Wird der Rezeptor in Untersuchungen



PROF. DR. JAN SIEMENS leitet seit dem Jahr 2013 eine Arbeitsgruppe am Pharmakologischen Institut der Medizinischen Fakultät Heidelberg und ist Mitglied des Exzellenzclusters CellNetworks. Zuvor arbeitete er im Labor von David Julius an der University of California in San Francisco (USA) und baute eine unabhängige Nachwuchsforschergruppe im Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in Berlin auf. Sein Forschungsprojekt zur Wärmeregulation bei Säugetieren wird mit einem Consolidator Grant für exzellente junge Forscher des Europäischen Forschungsrats (ERC) mit rund zwei Millionen Euro gefördert.

Kontakt: jan.siemens@pharma.uni-heidelberg.de

FROM PAIN TO PAIN

HOW WE PERCEIVE TEMPERATURE

JAN SIEMENS & MUAD ABD EL HAY

A subject that seemed to be at the centre of small talk this summer is also one that has puzzled researchers for decades. Early studies investigating the characteristics of temperature sensation described it to be based on two factors: the speed of temperature change and the absolute temperature. Later studies described the nerve fibres that govern signal transmission from the skin to the brain. However, these studies did not reveal how these temperature-based nerve impulses are generated in the first place. The discoveries of capsaicin, the active compound of chili peppers, and its cognate receptor, TRPV1, were major breakthroughs in this regard. Once they had identified these first molecular thermometers, researchers were able to start deciphering the mechanisms underlying temperature sensation. Today we know of multiple temperature-sensitive molecules, such as TRPM8, the native receptor for menthol, which is found in peppermint and responsible for the sensation of cold. The sensation of heat, however, seems to be more complex, and several receptors can signal hot temperatures. Even less is known about the mechanisms that detect warmth.

In addition to the sensation of heat and cold, the ways in which our body deals with changes in environmental temperature have also long been of interest. A small area in the brain called the preoptic area seems to play a central role in governing thermoregulatory processes. In addition to being a local sensor of internal brain temperature, it acts as a relay station for signals entering the brain from the periphery and the outputs to the various effector organs for thermoregulation. Our group recently described TRPM2, another temperature-sensitive channel that is a player in body thermoregulation. With the help of our and other recently published studies, the scientific community aims to decode the complex mechanisms underlying temperature sensation and the body's response to temperature changes. ●

PROF. DR JAN SIEMENS has been heading a research group at the Institute of Pharmacology of the Medical Faculty Heidelberg since 2013 and is a member of the Cell-Networks Cluster of Excellence. He previously worked in the laboratory of David Julius at the University of California in San Francisco (USA) and established an independent junior research group at the Max Delbrück Center for Molecular Medicine in Berlin. His research project on thermoregulation in mammals is funded by a Consolidator Grant for excellent junior researchers of the European Research Council (ERC) in the amount of approximately two million euros.

Contact: jan.siemens@
pharma.uni-heidelberg.de

MUAD ABD EL HAY is a doctoral student in Jan Siemens' research group at the Institute of Pharmacology of the Medical Faculty Heidelberg. After graduating high school in Israel, he completed a bachelor's and master's programme in molecular medicine at the University of Ulm. For his doctoral thesis, he is investigating the molecular mechanisms of warmth and heat perception.

Contact: muad.abdelhay@
pharma.uni-heidelberg.de

“The receptors that govern our perception of temperature also play a role in sensing pain and regulating body temperature.”



MUAD ABD EL HAY ist Doktorand in der Arbeitsgruppe Siemens am Pharmakologischen Institut der Medizinischen Fakultät Heidelberg. Nach seinem Abitur in Israel absolvierte er ein Bachelor- und Masterstudium Molekulare Medizin an der Universität Ulm. Im Rahmen seiner Doktorarbeit erforscht er die molekularen Mechanismen der Wärme- und Hitzeempfindung.

Kontakt: muad.abdelhay@pharma.uni-heidelberg.de

mit Tieren chemisch blockiert, sind sie nicht mehr fähig, im Gesicht und auf der Zunge Wärme zu empfinden. Unsere Arbeitsgruppe am Pharmakologischen Institut der Universität Heidelberg geht diesem Rätsel intensiv nach.

Den Schmerz bekämpfen

Die Alltagserfahrung zeigt: Der Biss auf eine Chilischote kann nicht nur als „heiß“, sondern auch als schmerzhaft empfunden werden. Dies führte zu der wissenschaftlichen Frage, ob der Warmrezeptor TRPV1 auch für das Empfinden von Schmerzen wichtig sein könnte. Es zeigte sich: Viele schmerzempfindliche Nervenfasern tragen den Rezeptor TRPV1; der Rezeptor lässt nicht allein Hitzeschmerzen wahrnehmen, sondern ist tatsächlich mitverantwortlich für das Empfinden entzündlicher Schmerzen. Eine Entzündung liegt beispielsweise dem Sonnenbrand zugrunde. Wenn man sich mit einem Sonnenbrand unter die Dusche stellt und das warme Wasser über die Haut fließt, reagieren die sonnenbeschädigten Stellen sehr viel empfindlicher: Das harmlose warme Wasser wird als schmerzhaft wahrgenommen. Dafür maßgeblich verantwortlich ist der TRPV1-Rezeptor – er hat sich verändert und lässt die Nervenfasern sensibler reagieren.

Unsere Arbeitsgruppe in Heidelberg erforschte dieses Phänomen und entdeckte einen körpereigenen Mechanismus, der der Sensibilisierung des Warmrezeptors TRPV1 entgegenwirkt: Im unveränderten Zustand scheint TRPV1 an einen zweiten Rezeptor (GABA_{B1}) gebunden zu sein. Ein Aktivieren des GABA-Rezeptors unterbindet den „Übereifer“ von TRPV1.

Die Erkenntnis, dass TRPV1 auch bei entzündlichen Schmerzen eine Rolle spielt, führte zu einer Flut klinischer Studien. Untersucht wurde beispielsweise, ob sich der TRPV1-Rezeptor mit geeigneten Wirkstoffen blockieren lässt und Schmerzen dadurch gelindert werden können. In der Tat erwiesen sich die dafür eingesetzten Substanzen als imstande, den TRPV1-Rezeptor zu blockieren und Schmerzen zu lindern. Allerdings stellte sich dabei als Nebenwirkung eine erhöhte Körpertemperatur ein, ähnlich einer Fieberreaktion. Umgekehrt bewirkte eine Aktivierung des TRPV1-Rezeptors, dass die Körpertemperatur sank. Könnte der TRPV1-Rezeptor auch an der Regulation der Körpertemperatur beteiligt sein?

Neuronale Thermostate

Die Körpertemperatur beeinflusst alle Funktionen des Organismus, angefangen von enzymatischen Reaktionen in der Zelle bis hin zu den Geweben und Organen. Die Instanz, die unsere Körpertemperatur konstant und präzise bei 37 Grad hält, ist seit Langem bekannt: Im Hypothalamus des Gehirns findet sich die sogenannte präoptische Region. Sie registriert Abweichungen von der Körpertemperatur und leitet umgehend Gegenmaßnahmen ein. Unbekannt war bislang, welche Nervenzellen und welche molekularen Mechanismen den

sensiblen „neuronalen Thermostat“ im Gehirn zu dieser Funktion befähigen. Untersuchungen mit Tieren (Mausmodelle) lieferten erste Anhaltspunkte, um diese Frage zu beantworten: Es scheint in der präoptischen Region einen „Messfühler“ zu geben, der eine erhöhte Körpertemperatur (Fieber) erkennen kann. Er sorgt dafür, dass die Temperatur nicht weiter unkontrolliert steigt, und leitet die Maßnahmen ein, die den Körper vor Überhitzung schützen. Und auch bei diesem Messfühler handelt es sich um einen Ionenkanal: den wärmesensitiven Ionenkanal TRPM2.

Mit einem genetischen Trick ist es uns gelungen, in Nervenzellen, die mit TRPM2 bestückt sind, molekulare Schalter einzubauen, mit denen sich selektiv diese Nervenzellen an- und ausschalten lassen. Die Effekte sind drastisch: Eine Aktivierung der TRPM2-Nervenzellen lässt die Körpertemperatur von Mäusen von 37 auf 27 Grad sinken; nach einer Deaktivierung wird wieder die normale Körpertemperatur erreicht. Wir wie auch andere Arbeitsgruppen haben wissenschaftlich begründete Hinweise, dass in diesen Zellen auch noch weitere wärmesensitive Moleküle existieren müssen, um dort ganze feine und sensible Temperatursensitivität zu gewährleisten – schließlich wird unsere Körpertemperatur sehr genau und präzise reguliert.

Die Entdeckung dieser „Thermostatzellen“ – inklusive eines ihrer molekularen Wärmesensoren TRPM2 – kann eine Basis für gänzlich neue medizinische Anwendungen sein. Denkbar ist beispielsweise folgender medizinischer Nutzen: Bei einem Herzinfarkt verbrauchen die physiologischen Prozesse durch die mangelnde Sauerstoffversorgung schon bei normaler Körpertemperatur so viel Energie – und damit Sauerstoff –, dass die Zellen und das Gewebe geschädigt werden. Könnte man den neuronalen Thermostat mit Medikamenten beeinflussen und die Körpertemperatur gezielt senken, so dass sich durch diese Kühlung der Stoffwechsel verlangsamt, dann wäre ein Sauerstoffmangel, wie er hinter einer verstopften Ader im Herz – oder bei einem Schlaganfall im Hirn – entsteht, länger zu überbrücken, bis diese Ader im Krankenhaus wieder geöffnet werden kann. Mit einer solchen Maßnahme könnten Notfallmediziner also Zeit „erkaufen“. Eine entgegengesetzte Manipulation – das Verstellen des „Sollwertes“ in Richtung einer zeitweise leicht erhöhten Körpertemperatur – könnte vielleicht genutzt werden, um Fettleibigkeit zu behandeln: Über die angeregte Wärmebildung ließen sich überschüssige Fettreserven verbrennen. In diesem Zusammenhang ist es interessant zu wissen, dass fettleibige Menschen zumeist eine leicht erniedrigte Kernkörpertemperatur aufweisen. Für sie wäre eine Erhöhung zum Normalwert eine völlig neue therapeutische Option. Bislang ist all das noch „graue Theorie“ und der Weg zu einer sicheren klinischen Umsetzung weit. Aber die Grundlagen dafür sind von der Wissenschaft gelegt. ●

AUSSEER

KONTROLLE

AUSSER KONTROLLE

GEFÜHLE BEI PERSÖNLICHKEITS- STÖRUNGEN

SABINE C. HERPERTZ

Ein Zuviel an Gefühlen schafft im Zusammenleben ebenso Barrieren und Probleme wie ein Zuwenig. Die neurowissenschaftliche Forschung geht den „heißen“ und „kalten“ Emotionen mit modernen Untersuchungsverfahren auf den Grund. Das Ziel dabei ist, neue Behandlungsansätze für Patientinnen und Patienten mit bislang nur schwer oder gar nicht zu therapierenden Störungen der Persönlichkeit zu entwickeln.

H

Heftig schwankende Stimmungen, das Gefühl, von anderen Menschen zurückgewiesen zu werden, die Neigung, sich kräftig und andauernd zu ärgern, sowie häufige Probleme im sozialen Miteinander sind wichtige Kennzeichen der sogenannten Borderline-Persönlichkeitsstörung. Ganz anders kommt die emotionale Kälte, das Unberührtbleiben von der Not und dem Leiden anderer Menschen bei einer psychopathischen Persönlichkeitsstörung daher. Ein Schwerpunkt unserer Forschungsarbeiten in der Klinik für Allgemeine Psychiatrie am Zentrum für Psychosoziale Medizin der Universität Heidelberg ist es, dem Zuviel und dem Zuwenig von Gefühlen auf den Grund zu gehen und die Erkenntnisse für bessere Therapien zu nutzen. Für unsere grundlegenden Arbeiten setzen wir moderne neurowissenschaftliche Methoden ein, etwa die Magnetresonanztomographie (MRT), ein bildgebendes Verfahren, mit dem man tief in das Gehirn blicken kann, und die Elektroenzephalographie (EEG), eine Methode, mit der sich die elektrische Aktivität des Gehirns messen lässt.

Zu viele Emotionen

Aktuell arbeiten wir an einer Studie zur Wirksamkeit einer Gruppenpsychotherapie, deren Ziel es ist, Mechanismen zu verändern, die den „heißten Gefühlen“ – der ausgeprägten Ärgerneigung – von Borderline-Patienten zugrunde liegen. Bereits in einer früheren Studie konnten wir feststellen, dass bei einer Borderline-Persönlichkeitsstörung drei ungünstige Faktoren zusammenkommen:

- Die Betroffenen neigen dazu, andere Menschen negativ einzuschätzen. Sie nehmen ein Gegenüber in verzerrter Weise als feindselig und zurückweisend wahr, freundliche Zuwendungen hingegen werden übersehen.
- Ärgergefühle, die in sozialen Situationen ausgelöst werden, können von den Betroffenen nicht reguliert werden, sondern brechen aus und steigern sich in ein zirkuläres Grübeln, ein ständiges „Wiederkauen“ bis hin zu aggressiven Ausbrüchen. Die Folge sind aggressive Handlungen gegenüber sich selbst und gegenüber anderen Menschen.
- Die Betroffenen unterliegen einer Fehlinterpretation der Motive anderer Menschen, sie sind getragen von Misstrauen und Verlassenheitsängsten und unfähig, die Perspektive eines anderen Menschen einzunehmen. Dies führt zu häufigen, im Gespräch schwer auflösbaren Missverständnissen.



PROF. DR. SABINE C. HERPERTZ studierte Medizin in Bonn und habilitierte sich nach ihrer Promotion in Frankfurt am Main an der RWTH Aachen in Psychiatrie und Psychotherapie. In Aachen hatte sie zwischen 2002 und 2003 eine Professur für Experimentelle Psychopathologie inne, bevor sie 2003 den Lehrstuhl für Psychiatrie und Psychotherapie an der Universität Rostock übernahm. Im Jahr 2009 wechselte sie auf den Lehrstuhl für Allgemeine Psychiatrie an der Universität Heidelberg und wurde Ärztliche Direktorin der gleichnamigen Klinik am Zentrum für Psychosoziale Medizin. Ihr Forschungsschwerpunkt ist die Erforschung der Wechselwirkungen zwischen Emotionen und sozialer Interaktion bei psychischen Erkrankungen mittels experimenteller Psychopathologie und neurowissenschaftlicher Methoden.

Kontakt: sabine.herpertz@uni-heidelberg.de

Unsere EEG-Untersuchungen haben mittlerweile ergeben, dass Borderline-Patienten die Gesichter anderer Menschen ärgerlicher wahrnehmen als gesunde Menschen. Diese falsche Wahrnehmung nimmt ihren Ausgang in frühen, dem Bewusstsein nicht zugänglichen Hirnverarbeitungsprozessen. Sie finden in der im Hinterhaupt gelegene (okzipitalen) Hirnrinde statt, die dafür zuständig ist, visuelle Umwelteindrücke zu verarbeiten. Zeigt man Borderline-Patienten beziehungsweise Gesunden Bilder von Menschen, deren Gesichter eine diskrete ärgerliche Mimik zeigen, wird der kaum sichtbare ärgerliche Ausdruck von Gesunden nahezu nie, von den Patienten aber oft wahrgenommen. Die EEG-Ableitung offenbart bei den Patienten erhöhte Potenziale über der Sehrinde, während Potenziale vermindert sind, die später stattfindende detaillierte kognitive Verarbeitungsprozesse der Gesichtswahrnehmung reflektieren. Wir konnten darüber hinaus zeigen, dass Borderline-Patienten negativen sozialen Reizen eine sehr viel größere Aufmerksamkeit schenken als positiven. Diese Auffälligkeit ließ sich im EEG nicht mehr feststellen, wenn Patienten ihre Erkrankung überstanden hatten und keine Merkmale einer Borderline-Persönlichkeitsstörung mehr zeigten. Daraus haben wir eine Schlussfolgerung für die Therapie gezogen: Auf Tablet-Computern bieten wir Patienten spezielle Übungen an, mit denen sie lernen können, ihre Aufmerksamkeit von negativen sozialen Reizen abzulenken und sich auf soziale Signale der Zugewandtheit und Sicherheit zu konzentrieren.

Ärgerliche Gefühle regulieren

Noch vor nicht allzu langer Zeit wurde Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung unterstellt, sie würden sich nicht darum bemühen, ihre aufschäumenden Gefühle zu steuern. Die moderne Bildgebung hat uns eines Besseren belehrt: Das mangelnde Regulieren von Ärgeraffekten ist nicht auf fehlenden Willen zurückzuführen, sondern steht in Zusammenhang mit hirnfunktionellen Abweichungen. Instruiert man beispielsweise Patienten mit einer Borderline-Persönlichkeitsstörung, sich die Zurückweisung durch einen Freund vorzustellen und sich die daraus entstehenden Ärgergefühle und aggressiven Handlungsimpulse zu vergegenwärtigen, zeigen die Hirnuntersuchungen, dass bei Borderline-Patienten bestimmte Areale des Vorderhirns, die für das Steuern von Gefühlen zuständig sind, stärker aktiv sind als bei gesunden Menschen. Die Betroffenen sind also nicht etwa weniger, sondern mehr imstande, ihre emotionsregulierenden Hirnareale zu aktivieren. Allerdings – und hier scheint das Problem zu liegen – arbeiten diese Areale nicht koordiniert mit den tiefer liegenden limbischen Hirnarealen zusammen. Die Koordination innerhalb dieses Emotionsregulationsnetzwerkes ist bei Borderline-Patienten herabgesetzt: Je höher die Neigung der Betroffenen ist, Ärger zu empfinden, desto schlechter funktioniert das Zusammenspiel innerhalb dieses Netzwerkes.

„Noch vor nicht allzu langer Zeit wurde Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung unterstellt, sie würden sich nicht darum bemühen, ihre Gefühle zu steuern. Die moderne Bildgebung hat uns eines Besseren belehrt.“

Aus einer früheren Studie wissen wir, dass das Erlernen von Fertigkeiten, die darauf zielen, Emotionen besser zu regulieren, auch die Funktion des Emotionsregulationsnetzwerkes selbst verbessert: Die Konnektivität zwischen dem Vorderhirn und den zugehörigen limbischen Arealen nimmt zu. Auch in anderen Hirnarealen ließen sich derartige Effekte der Therapie nachweisen: Ein zentrales emotionsregulierendes Areal im Vorderhirn vergrößerte sich, ebenso ein Areal im Schläfenlappen, das an kognitiven Prozessen wie der Reflexion über sich und andere beteiligt ist. Unsere hirnstrukturellen Befunde weisen auch auf die spezifischen Effekte sogenannter Affektregulations-Skills hin, die als hochwirksam gelten und beispielsweise in der „Dialektisch-Behavioralen Therapie“ angeboten werden. Aufgrund dessen haben wir Fertigkeiten zur Emotionsregulation in unser laufendes Therapieprogramm mit dem Ziel aufgenommen, die reaktive Aggressivität bei Patienten mit Borderline-Persönlichkeitsstörung abzubauen.

Die soziale Welt verstehen

Borderline-Patienten fällt es schwer, sich aus der egozentrischen Sicht, mit der sie ihre soziale Umwelt betrachten, zu lösen und die Absichten und Bedürfnisse anderer Menschen in einer aktuellen Situation zu verstehen. Das belegen auch bildgebende Untersuchungen mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT): Instruiert

man einen Patienten, sein Gegenüber in einer desolaten Situation zu verstehen, geht dies mit einer verminderten Aktivität in Bereichen des Schläfenlappens einher, die für die Übernahme der Perspektive anderer zuständig sind. Dabei nehmen die Patienten emotional durchaus Anteil an anderen Menschen – das zeigt sich an der erhöhten Aktivität insulärer Hirnareale während des Betrachtens leidender Mitmenschen. Immer wieder erleben wir auch in unseren Gruppentherapien, wie das Leiden anderer Menschen im Sinne einer Identitätsdiffusion zum eigenen Leiden werden kann. Diese emotionalen „Ansteckungsphänomene“ konnten wir mit der elektromyographischen Ableitung mimischer Muskelaktivität objektivieren. Die Befunde haben uns dazu veranlasst, psychotherapeutische Techniken in unser Therapieprogramm aufzunehmen, die auf das Verstehen von Motiven, Absichten und mentalen Zuständen anderer Menschen zielen. Damit wollen wir eine explizite kognitive Mentalisierung bei den Patienten fördern, die an die Stelle der eher reflexartig auf äußere Reize folgenden Annahmen über die Motive anderer Menschen treten soll.

Zu wenige Emotionen

Für ein gelingendes Zusammenleben mit anderen Menschen ist die Fähigkeit Voraussetzung, Beziehungen in einer empathischen und kooperativen Weise zu gestalten. In der ausschließlich auf Dominanz, Ausbeutung und

auf eigene Vorteile abzielenden Motivlage von Menschen mit einer psychopathischen Persönlichkeitsstörung haben die Interessen und Bedürfnisse oder gar das Leid anderer Menschen keine Bedeutung. Neue von unserer Gruppe erarbeitete Befunde belegen: Zeigt man Menschen mit psychopathischer Persönlichkeitsstörung die Bilder von Gesichtern, die Freude oder Angst ausdrücken, erkennen die Patienten die Emotion schlechter als gesunde Menschen. Hirnstrukturell spiegeln sich die Defizite der Emotionsverarbeitung in kleineren Volumina von Hirnregionen wider, die für das Erkennen von Emotionen wichtig sind. Schon in früheren Untersuchungen konnten wir zeigen, dass psychopathische Persönlichkeiten geringere „Hautleitwertreaktionen“ auf emotionale Reize zeigen: Das weist auf eine herabgesetzte emotionale Erregung hin. Zudem zeigen psychopathische Personen in Entscheidungssituationen, bei denen es um Gewinn oder Verlust geht, eine verminderte Aktivität in Hirnregionen, die damit zu tun haben, die Aufmerksamkeit auf emotionale Ereignisse auszurichten.

Kognitiv sind psychopathische Persönlichkeiten durchaus in der Lage, ein unmoralisches von einem moralischen Verhalten abzugrenzen. Für sie ist dieses Wissen jedoch nicht wichtig: Es hat für sie keine verhaltensregulierende Konsequenz. Auch bildgebende Befunde legen nahe, dass psychopathische Persönlichkeiten den Gefühlen und Bedürfnissen anderer Menschen keine Aufmerksamkeit schenken. Nach der „Hypothese der somatischen Marker“ des portugiesischen Neurowissenschaftlers António Damásio werden die inneren Repräsentationen von moralischen Werten als emotionale Signale wirksam. Sie erinnern in Entscheidungssituationen an die Bedürfnisse und Rechte anderer Menschen und schränken damit den eigenen Entscheidungsspielraum ein. Die emotionalen Signale sind mit körperlichen Zuständen assoziiert; sie verleihen Verhaltensoptionen vor dem Hintergrund von Lernerfahrungen Wertbedeutungen, die in Entscheidungssituationen bestimmte Handlungen bevorzugen lassen. Anatomisch sind Prozesse, die als emotionale Signale wirksam werden, im vorderen Stirnhirn repräsentiert. Damit einher geht der Befund, dass psychopathische Persönlichkeiten strukturelle und funktionelle Abweichungen von der Norm genau in dieser Hirnregion zeigen. Welche Konsequenzen dies für ihr moralisches Handeln hat, untersuchen wir gerade in einer Studie gemeinsam mit Wissenschaftlern vom Lehrstuhl für Systematische Theologie der Universität Heidelberg.

Abweichungen von der Norm beim Verarbeiten von Emotionen sind nicht die einzige Auffälligkeit bei Menschen mit psychopathischen Persönlichkeitsstörungen. Sie sind auch weniger zur Selbstreflexion fähig. Dies wiederum geht mit kleineren Volumina in Hirnregionen einher, die für das Verarbeiten selbstreferenzieller Informationen

„Die Plastizität des menschlichen Gehirns macht ein Erlernen oder Umlernen auch bei den ureigensten Eigenschaften von Menschen möglich.“

OUT OF CONTROL

EMOTIONS IN PERSONALITY DISORDERS

SABINE C. HERPERTZ

Severe mood swings, feelings of rejection and a tendency to be very angry for a long time are important markers of borderline personality disorder. Psychopathic personalities, on the other hand, are characterised by emotional coldness and a lack of compassion for the hardship and suffering of others. The neuroscientific investigation of these “hot” and “cold” emotions is a focal point of research in the Department of General Psychiatry of Heidelberg University’s Center for Psychosocial Medicine. The researchers want to find the causes of an excess or deficiency of emotion and use their findings to develop more effective therapies.

To this end, they use modern neuroscientific methods such as magnetic resonance imaging, which permits an in-depth look into the brain, and electroencephalography (EEG), a method for measuring electric brain activity. Tests involving EEG, for instance, have revealed that borderline patients generally perceive the faces of other people to be angrier than healthy test subjects – an incorrect impression that has its roots in early, unconscious information processing mechanisms in the brain. Based on their observations, the researchers were able to develop special exercises for their patients on tablet computers. They also found that, if patients trained their affect regulation skills, the brain areas involved grew in size and worked better together.

Traditionally, personality disorders are regarded as immutable. The new findings suggest a different point of view: the plasticity of the human brain enables learning – or better yet, relearning – even where our most deeply ingrained character traits are concerned. What these learning processes should be like and which targets might be used for interventions are questions that the Heidelberg researchers will be attempting to answer. ●

PROF. DR SABINE C. HERPERTZ studied medicine in Bonn, obtained her doctoral degree in Frankfurt/Main and completed her habilitation in psychiatry and psychotherapy at RWTH Aachen. From 2002 to 2003 she was Professor of Experimental Psychopathology in Aachen; in 2003 she accepted the Chair of Psychiatry and Psychotherapy at the University of Rostock. In 2009 she became Professor of General Psychiatry at Heidelberg University and Medical Director of the department of the same name at the Center for Psychosocial Medicine. Her research focus is the investigation of the interplay between emotions and social interaction in people with mental illness using experimental psychopathology and neuroscientific methods.

Contact: sabine.herpertz@uni-heidelberg.de

“The plasticity of the human brain enables learning or relearning even where our most deeply ingrained character traits are concerned.”

„Psychopathische Menschen sind durchaus fähig, die Absichten und mentalen Zustände anderer Menschen zielgenau zu erkennen – sie nehmen aber keinen emotionalen Anteil daran.“

notwendig sind. Psychopathische Menschen sind durchaus fähig, die Absichten und mentalen Zustände anderer Menschen zielgenau zu erkennen – sie nehmen aber keinen emotionalen Anteil daran.

Konsequenzen für die Therapie

Bis heute gibt es keine wirksamen psychotherapeutischen Interventionen für Menschen mit psychopathischer Persönlichkeitsstörung. Eine neurobiologische Forschung, die uns Aufschluss geben kann über die biologischen Grundlagen der Emotionsarmut und Selbstbezogenheit dieser Menschen, könnte wichtige Erkenntnisse erbringen, um auch für diese Patienten Behandlungen zu entwickeln, die ihnen ein sozial angemesseneres Verhalten ermöglichen.

Traditionell werden Persönlichkeitsstörungen als nicht veränderbar angesehen. Unsere Forschungsergebnisse legen eine andere Sichtweise nahe: Die Plastizität des menschlichen Gehirns macht ein Erlernen – oder besser ein Umlernen – auch bei den ureigensten Eigenschaften von Menschen möglich. Wie dieses Lernen aussehen muss und welche Ziele für Interventionen genutzt werden können – darauf zielt unsere Forschung.

Interessant ist, dass „heiße“, im Übermaß sichtbar werdende Gefühle sehr viel stärker als krankheitswertig und behandlungsbedürftig bewertet werden – von der Umwelt wie von den Betroffenen selbst. „Kalte“ Persönlichkeiten hingegen, die ein Zuwenig an Gefühlen zeigen, werden von

ihrer Umgebung häufig als stark oder als Sicherheit gebend empfunden. Soziale Gruppen zeigen die Neigung, solche Menschen zu bewundern und sich ihrer Dominanz unterzuordnen. Handeln Menschen mit psychopathischen Persönlichkeitsmerkmalen offensichtlich antisozial und fallen mit Gesetzesübertretung auf, ist Bestrafung die Folge. Angesichts der neuen neurobiologischen Erkenntnisse scheint diese gesellschaftliche Reaktion als alleinige Maßnahme zu einfach: Ohne die eigene Verantwortung eines Menschen, sich für ein sozial verträgliches, ethisches und gegen ein von der Norm abweichendes, unethisches Verhalten zu entscheiden, in Abrede stellen zu wollen, bleibt zu hoffen, dass die Wissenschaft künftig auch für Menschen mit psychopathischen Persönlichkeitsstörungen wirksame Interventionen verfügbar machen kann und die Gesellschaft diese Chance für Maßnahmen der Resozialisierung im Strafvollzug nutzt. ●

VON FIEBER

UND FROST

VON FIEBER UND FROST

SCHWITZKUREN UND KÄLTETHERAPIEN IM 19. JAHRHUNDERT

KAREN NOLTE

Therapien mit Hitze und Kälte waren im 19. Jahrhundert noch stark von der seit der Antike bestehenden Säftelehre beeinflusst. Selbst als sich die Medizin Mitte des 19. Jahrhunderts nach und nach der Naturwissenschaft zuwandte, prägten vormoderne Konzepte von Krankheit weiterhin die therapeutische Praxis von Ärzten und Pflegenden.

B

Bis weit ins 19. Jahrhundert hinein war die Vorstellung verbreitet, dass Fieber und Hitze durch Körpersäfte entstanden, die sich ansammelten und verdarben sowie durch verdorbene oder schwer verdauliche Speisen hervorgerufen wurden, wenn der Magen oder die innere Wärme zu schwach waren, um verderbliche Nahrung zu verarbeiten. Diese aus der Vier-Säfte-Lehre, der sogenannten Humoralpathologie, stammenden Krankheitskonzepte waren auch unter Laien sehr verbreitet. Die Entstehung von Fieber wurde nach zeitgenössischen Vorstellungen ebenfalls mit einer äußeren Verköhlung des Körpers erklärt. Auch in der ärztlichen und pflegerischen Praxis waren noch bis ins frühe 20. Jahrhundert humoralpathologische Konzepte zu finden.

Gegen Fieber und Hitze – den beiden im 19. Jahrhundert wesentlichen, auf Krankheiten hindeutenden körperlichen Erfahrungen – wurde in erster Linie Wärme eingesetzt. Für die komplexen, vielfältigen und oft keineswegs ungefährlichen Anwendungen waren Pflegende zuständig. Das praktische Handeln Pflegender ist bislang historisch nur wenig untersucht, stand doch zunächst einseitig die Geschichte großer Mediziner im Vordergrund, der dann die historische Erforschung ärztlichen Handelns und der Interaktion von Arzt und Patient folgte. Mittlerweile zählt die Pflegegeschichte zu den innovativen Forschungsfeldern der Medizingeschichte. Die historische Analyse der Interaktion von Ärzten und Pflegenden sowie die Grenzziehungen zwischen beiden Gesundheitsberufen kann die Geschichte von Gesundheit und Krankheit um eine wichtige Dimension erweitern. Die historische Untersuchung von Pflege öffnet auch den Blick auf die häusliche Krankenversorgung, die Lebenswelt und Selbstpflege von Kranken. Die Geschichte Pflegender und ihrer materialen Kultur im 19. und 20. Jahrhundert gehört zu den neuen Forschungsschwerpunkten am Institut für Geschichte und Ethik der Medizin. Eine Kooperation mit der in der Medizinischen Fakultät eingerichteten Pflegewissenschaft in Forschung und Lehre hat bereits begonnen.

Das große Feuer

Fieber war im 19. Jahrhundert weitaus mehr als eine erhöhte Körpertemperatur. Die Kranken beschrieben Hitze und Fieber sehr differenziert. Die Beschreibungen reichen von „fliegender Hitze“, „Wallungen“ und „Aufwallungen“

„In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde das Messen zur zentralen diagnostischen Methode, was sich exemplarisch an der Geschichte des Fieberthermometers zeigen lässt.“



Gelenkige, zerleg- und verstellbare
Wärm- und Kühlflasche (1910)
Medizinhistorische Lehrsammlung
des Instituts für Geschichte und
Ethik der Medizin
© Karen Nolte

bis hin zur „schrecklichen Hitze“ oder einem „großen Feuer“. Die Ärzte werteten Fieber seinerzeit als eigenständige Krankheit und nicht – wie heute – als Symptom.

Die Bewertung von Fieber veränderte sich in den 1860er-Jahren. Fieber entwickelte sich von einem Krankheitsbild zu einem Symptom einer Krankheit. Demzufolge entstand eine neue diagnostische Methode: das Fiebermessen. Statt wie bislang die Qualitäten der Körpertemperatur zu erfühlen, bestimmten die Ärzte die Temperatur des Körpers nun mit einem Thermometer, einem Messinstrument mit Quecksilbersäule und einer Temperaturskala in schwarzer Schrift. Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts wurde das Messen der Temperatur zur pflegerischen Aufgabe: Zusammen mit dem Bestimmen des Pulses zählte die regelmäßige Kontrolle der Körpertemperatur zur komplexen Krankenbeobachtung in der Pflege.

Der größte Teil der Krankenpflegenden kam im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts aus katholischen Pflegeordnen; die zweitgrößte Gruppe stellten protestantische Diakonissen sowie kleine Gruppen von Krankenschwestern ohne Organisation, wenige gehörten weltlichen Genossenschaften und Vereinen an. Die Ausbildung in der Krankenpflege war damals noch nicht standardisiert. In den christlichen Mutterhäusern wurden die Frauen zwar systematisch sowohl theoretisch als auch praktisch in der Pflege kranker Menschen ausgebildet. Die Inhalte und die Dauer der Ausbildung waren allerdings nicht einheitlich festgelegt: Die Vorsteher der Schwesterngemeinschaften entschieden von Fall zu Fall, wann eine Probeschwester gut genug ausgebildet war, um selbstständig zu arbeiten. Erst im Jahr 1907 wurde in Preußen die einjährige Ausbildung mit fakultativer staatlicher Prüfung eingeführt. Die Pflegenden erlernten Pflegetechniken in der Regel im praktischen Vollzug, erfahrene Schwestern übermittelten zudem ein komplexes empirisch begründetes Pflegewissen.

Vom Fühlen zum Messen

Das metrische Zeitalter der Medizin begann mit der naturwissenschaftlichen Wende der Medizin in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts: Das Messen wurde zur zentralen diagnostischen Methode, was sich exemplarisch an der Geschichte des Fieberthermometers zeigen lässt. Die neue Methode des Temperaturmessens wurde erstmals um 1900 in Lehrbüchern der Krankenpflege detailliert beschrieben. Für Pflegenden war auf die Skala des Thermometers bei 37 Grad Celsius ein Strich und später die Zahl 37 in roter Farbe aufgedruckt, um eindeutig die Grenze zur erhöhten Temperatur zu markieren. Zuvor hatten Pflegenden die Qualitäten der Körperwärme oder Körperhitze erfühlt, indem sie die Hand auf die Haut ihrer Pfleglinge auflegten. Mit dem Thermometer schob sich ein Objekt zwischen Pflegenden und Pflegling und veränderte deren Beziehung.



PROF. DR. KAREN NOLTE ist seit Anfang 2018 Professorin für Geschichte und Ethik der Medizin und Direktorin des gleichnamigen Instituts der Medizinischen Fakultät Heidelberg. Nach ihrer Krankenpflegeausbildung studierte sie in Göttingen Geschichte, Kultur-anthropologie/Europäische Ethnologie und Soziologie und wurde von der Universität Kassel im Fach Geschichte mit einer Arbeit zur Alltagsgeschichte der Hysterie in der Psychiatrie promoviert. Nach einem Stipendium im DFG-Graduiertenkolleg „Öffentlichkeiten und Geschlechterverhältnisse. Dimensionen von Erfahrung“ arbeitete sie im Institut für Geschichte der Medizin in Würzburg und leitete die dortige medizin-historische Sammlung. Zu ihren Forschungsschwerpunkten zählen die Geschichte der Psychiatrie und die Geschichte der Krankenpflege sowie der materialen Kultur von Medizin und Pflege im 19. und 20. Jahrhundert.

Kontakt: direktorin@histmed.uni-heidelberg.de

Ein Thermometer ohne aufgedruckte Skala, das erst nach dem Messen in ein Metallröhrchen mit Skala geschoben wurde, setzten Pflegenden bei Tuberkulosekranken ein, deren Körpertemperatur täglich kontrolliert wurde. Die Schwerkranken sollten das Thermometer nicht selbst ablesen können, um sich nicht zu beunruhigen, sollte der Messwert zu hoch sein. Diese Art von Thermometer wurde „stumme Schwester“ genannt – eine Bezeichnung, die nicht nur darauf verweist, dass das Messinstrument vorzugsweise von Krankenschwestern eingesetzt wurde. Der Name ver-sinnbildlicht auch die Beziehung von Pflegenden, Kranken und Ärzten: Von den Ärzten waren die Pflegenden strikt zur Verschwiegenheit gegenüber den Patienten angewiesen; Befunde durften den Kranken – wie heute – nur von den Ärzten mitgeteilt werden.

Sanfte und weniger sanfte Wärmetherapien

Fiebererkrankungen wurden in der Vormoderne mit sogenannten purgierenden Therapeutika behandelt, das heißt Abführmitteln, Brechmitteln und Aderlässen. Verdorbene Säfte oder Speisen sollten auf diese Weise ausgeleitet werden. Darüber hinaus kamen allerlei Wärmetherapien in vielen Varianten und Abstufungen zur Anwendung, um krankmachende Stoffe „auszuschwitzen“. Selbst als die naturwissenschaftliche Wende in der Medizin schon eingeleitet war, blieben die beschriebenen Behandlungsmethoden, die der alten Humoralpathologie folgten, noch immer präsent.

Die Krankenpflegelehrbücher des ausgehenden 19. Jahrhunderts geben Auskunft über trockene und feuchte Wärmeanwendungen, über Schwitzkuren und eine Vielfalt an Methoden und Apparaturen. In den Lehrbüchern, die von Ärzten verfasst wurden, wird auffällig oft betont,

Institut für Geschichte und Ethik der Medizin

Im Jahr 1961 wurden an der Medizinischen Fakultät der Universität Heidelberg ein planmäßiges Extraordinariat für Geschichte der Medizin und ein Institut für Geschichte der Medizin gegründet. Erster Institutsdirektor wurde Heinrich Schipperges, dem 1992 Wolfgang U. Eckart folgte. Seit 2018 wird das Institut für Geschichte und Ethik der Medizin von Karen Nolte geleitet. Primäre Aufgabe des Instituts ist die Sicherstellung des medizinhistorischen und medizinethischen Unterrichts für Studierende der Studiengänge Humanmedizin und Zahnmedizin an der Medizinischen Fakultät Heidelberg der Universität Heidelberg. Daneben lehren die Dozenten des Instituts auch an einer Reihe weiterer Einrichtungen, beispielsweise im Rahmen der Ausbildung am Historischen Seminar. Zudem wird im Rahmen der Versuchstierkunde-Ausbildung Unterricht im Fach Ethik des Tierexperiments erteilt.

„Von den Ärzten wurde Fieber seinerzeit als eigenständige Krankheit gewertet und nicht – wie heute – als Symptom.“

„Vor allem zwei Wärmetherapien haben die Zeit bis heute überdauert: die Gummiwärmflasche gegen Bauchschmerzen und das heiße Bad gegen Erkältungen.“

dass Wärmetherapien niemals ohne ärztliche Anordnung verabreicht werden dürfen: Falsch angewendet könnten sie großen Schaden anrichten. Die häufig vehement vorgebrachten Verbote lassen darauf schließen, dass Wärmetherapien von den Pflegenden wohl häufiger eigenständig eingesetzt wurden als von den Ärzten vorgegeben.

Eine vergleichsweise sanfte Wärmetherapie war die Behandlung des Kranken in einem Heißluftapparat: Der oder die Kranke saß auf dem Stuhl unter einem Holzgestell, das von einer Decke umhüllt war; die Wärme wurde mithilfe eines Spiritusbrenners erzeugt. Aus dem Apparat durfte nur der Kopf des Kranken herausragen. Für bettlägerige Patienten wurde das komplette Krankbett mittels Holzgestell, Decke und Spiritusbrenner in einen solchen wärmenden Apparat umgebaut. Mit dieser Art von Wärmetherapie wurden besonders empfindliche Kranke – „Nervenschwache“ und „Blutarmer“ – behandelt.

Bei „nervestärkeren“ Kranken kamen heiße Bäder zum Einsatz, dazu zählten auch Sandbäder. Mit sogenannten Kataplasmen – warmen Breiumschlägen – wurden gezielt einzelne Körperpartien behandelt. Ein Beispiel sind Brustwickel gegen Atemwegserkrankungen: Hierzu wurde Leinsamenmehl oder Hafergrütze mit warmem Wasser zu Brei verrührt, in ein Leinentuch eingewickelt und auf die zu behandelnde Körperpartie gelegt. Kataplasmen sollten das „Ausschwitzen“ von Krankheitsstoffen befördern, aber auch Krämpfe und Verspannungen lösen. Zur Anwendung trockener Hitze wurden Kissen verwendet, die mit Spreu, Kleie, Mehl oder getrockneten Kräutern gefüllt waren.

Auch bei Schmerzen war Wärme ein häufig eingesetztes Therapeutikum. Gegen „Bauchgrimmen“ etwa half die Bauchflasche. Sie wurde mit warmem oder heißem Wasser befüllt, mit einem trockenen oder feuchten Tuch umwickelt und auf dem Bauch des Kranken platziert. Für die Bauchflasche und ihre Anwendung gab es detaillierte Anweisungen: Sie sollten verhindern, dass sich der Pflegerling – oder die Krankenschwester – beim Befüllen der Wärmflasche verbrühte.

Wärmeanwendungen in Badewannen mithilfe von Übergießungen oder Umschlägen erforderten wenig zusätzliche Ausrüstung. Andere Methoden waren vom Erfindergeist und Geschäftssinn der Hersteller inspiriert: In zeitgenössischen Katalogen mit Krankenhaus- und Krankenpflegebedarf zeigen sich zahlreiche Apparate, die speziell für die Wärme- und Kältetherapie gefertigt waren. Bauchflaschen beispielsweise wurden aus verschiedenen Materialien und in vielfältigen Formen hergestellt: Sie bestanden aus Keramik, Zinn oder Gummi, und es gab sie in ergonomisch an die jeweilige Körperregion angepasster Form.

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen großen Heißluftapparaten wurden zahlreiche kleine Apparate angeboten,

FEVER AND FROST

SWEATING CURES AND COLD THERAPIES IN THE 19TH CENTURY

KAREN NOLTE

In the 19th century therapies involving heat and cold were still heavily influenced by humoralist concepts of the body and its illnesses. Although medicine increasingly evolved into a natural science from the mid-1800's onward, pre-modern notions of disease were still prevalent in the therapies used by physicians and nurses. Most medical practitioners still treated fever as a disease rather than a symptom. In the 1860's a new diagnostic method began to gain widespread acceptance – the measuring of body temperature with an instrument known as the mercury thermometer. Where before, medical staff could only determine body temperature by touch, now there was a standard value based on which a patient's condition could be assessed. In the last third of the 19th century, regular body temperature measurements became part of the advanced patient observation routines performed by nurses. Physicians were always quick to stress that heat and cold were only to be used therapeutically at the doctor's orders. But the vehemence with which they insisted on this distinction between the competences of doctors and nurses indicates that nursing staff did in fact act independently or even without prior authorisation.

Heat treatments in particular involved a wide range of different methods whose application required a high level of nursing knowledge and skill. Nursing textbooks published around the year 1900 describe these treatments, some of which were quite complex, at length and in great detail. Heat and cold treatments have also given rise to innovation and new business opportunities, as illustrated by the abundance of sophisticated equipment offered in manufacturer's catalogues for hospital and patient care. ●

PROF. DR KAREN NOLTE accepted the Chair of Medical History and Ethics in early 2018 and heads the institute of the same name at the Medical Faculty Heidelberg. After training as a nurse, she studied history, cultural anthropology/European ethnology and sociology in Göttingen and earned her PhD in history at the University of Kassel with a thesis on the everyday history of hysteria in psychiatry. Following a scholarship in the DFG research training group "Public Spheres and Gender Relations. Dimensions of Experience", she worked at the Institute for Medical History of the University of Würzburg and headed the institute's medical-historical collection. Her research interests are the history of psychiatry and nursing and the history of the material culture of medicine and nursing in the 19th and 20th centuries.

Contact: direktorin@histmed.uni-heidelberg.de

“Until well into the 19th century, most physicians believed that fever was caused by an excess of bodily fluids that became spoilt.”

die sich zur Behandlung einzelner Körperteile eigneten, etwa für das Kniegelenk, die Hüfte oder den Rücken. Sie firmierten unter dem Begriff „Bier'sche Heißluftapparate“, benannt nach dem Arzt, der sie entwickelt hatte. Bei den sogenannten Elektrothermen handelte es sich um elektrische Heißluftapparate, in denen nicht mit einem Spiritusbrenner, sondern mit Glühbirnen Wärme erzeugt wird – sie galten als ungefährlicher als die mit Spiritusbrennern betriebenen Apparate. Auch Elektrotherme gab es in vielen verschiedenen Größen und Ausführungen. Aus heutiger Sicht seltsam muten „Thermophore“ an, aus Aluminiumschläuchen gefertigte runde oder eckige Wärmeelemente, die auch zu Kühlelementen umfunktioniert werden konnten, wenn man sie nicht mit warmem, sondern mit kaltem Wasser befüllte.

Kälte als Medizin

Kälte wurde bei Kranken eingesetzt, die fröstelten. Der gezielte Einsatz von Kälte in Form von Übergießungen und Bädern oder „Einwickelungen“ mit anschließendem Frottieren sollte die Haut des Kranken röten und ihm zu einem wohligen Wärmegefühl verhelfen. Gegen Schmerzen

wurden Eisbeutel und Eiskrawatten eingesetzt. Die Kälte sollte den Leib stärken. Für kalte Umschläge wurden Moos, trockene Schwammstücke oder Sägespäne in ein Tuch eingeschlagen, die das Schmelzwasser von Eisstücken aufsaugen.

Die herausragende Rolle, die sowohl Wärme- wie Kälteanwendungen in der Pflege von Kranken noch bis weit in das 19. Jahrhundert hinein einnahmen, ist vor dem Hintergrund der noch immer präsenten Humoralpathologie zu verstehen. Festzuhalten bleibt, dass die alte Säftelehre und die neue, nunmehr naturwissenschaftlich geprägte Vorstellung von Körper und Krankheit nebeneinander noch bis ins 20. Jahrhundert fortbestanden und die Behandlung und Pflege von Kranken prägten.

Die Zeit überdauert haben vor allem zwei Wärmetherapien: die Gummiwärmflasche gegen Bauchschmerzen und das heiße Bad gegen Erkältungen. Mit der zunehmenden Beliebtheit von Naturheilverfahren treten mittlerweile auch wieder alte Methoden der Wassertherapie und der Kataplasmen in Form von Körner- und Kräuterkissen zutage. ●

Herausgeber

Universität Heidelberg
Der Rektor
Kommunikation und Marketing

Wissenschaftlicher Beirat

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

Redaktion

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

Layout

KMS TEAM GmbH, München

Druck

ColorDruck Solutions GmbH, Leimen

Auflage

6.000 Exemplare

ISSN

0035-998 X

Vertrieb

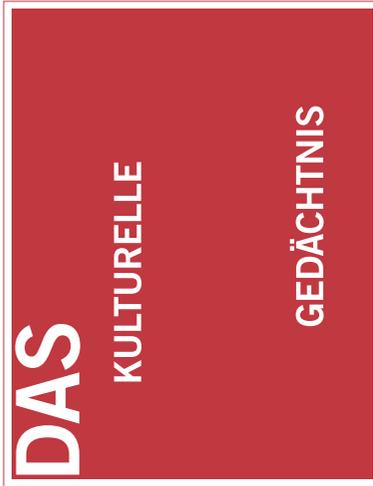
Universität Heidelberg
Kommunikation und Marketing
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg
Tel.: +49 6221 54-19026
ruca@uni-heidelberg.de

Das Magazin kann kostenlos unter
oben genannter Adresse abonniert
werden.

Im Internet ist es verfügbar unter:

<http://www.uni-heidelberg.de/ruptocarola>

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



KULTURWISSENSCHAFT
DAS KULTURELLE GEDÄCHTNIS
„KALTE“ UND „HEISSE“ GESELLSCHAFTEN
JAN ASSMANN

118



OSTEUROPÄISCHE GESCHICHTE
KALTER KRIEG 2.0
DER KRIEG IN DER UKRAINE
TANJA PENTER

126



LITERATURWISSENSCHAFT & KUNSTGESCHICHTE
ZUFLUCHT IM SCHATTEN
DOMESTIZIERTE NATUR IN GÄRTEN
JULIA BOHNENGEL & MARTINA ENGELBRECHT

134



MUSIKWISSENSCHAFT
„DOCH FÜHL' ICH'S HIER WIE FEUER BRENNEN“
HITZE UND KÄLTE IN DER MUSIK VOR 1800
JOACHIM STEINHEUER

144

KAPITEL

IV

DAS

KULTURELLE

GEDÄCHTNIS

DAS KULTURELLE GEDÄCHTNIS

„KALTE“ UND „HEISSE“ GESELLSCHAFTEN

JAN ASSMANN

Die NS-Zeit mit Weltkrieg und Holocaust bildet als negative, aber gleichwohl normative Vergangenheit den Kern deutschen Geschichtsbewusstseins – so sehr auch rechte Kreise dagegen aufbegehren. Damit hat die deutsche Gesellschaft ihr „geschichtliches Werden“ zum Motor ihrer Entwicklung, ihres Selbstbilds und ihrer Identität gemacht – und ist so zu einer „heißen“ Gesellschaft im Sinne von Claude Lévi-Strauss geworden.



In den 1960er-Jahren führte der französische Ethnologe Claude Lévi-Strauss die Unterscheidung zwischen „kalten“ und „heißen“ Gesellschaften ein. „Kalte“ Gesellschaften streben dieser Theorie zufolge danach, „mithilfe der Institutionen, die sie sich geben, auf quasi automatische Weise die Auswirkungen zunichtezumachen, die historische Faktoren auf ihr Gleichgewicht und ihre Kontinuität haben könnten“. An anderer Stelle spricht Lévi-Strauss in diesem Zusammenhang von „Weisheit“: Die „kalten“ Gesellschaften „scheinen eine besondere Weisheit erworben oder bewahrt zu haben, die sie veranlasst, jeder Veränderung ihrer Struktur, die ein Eindringen der Geschichte ermöglichen würde, verzweifelt Widerstand zu leisten“. „Heiße“ Gesellschaften dagegen sind „durch ein gieriges Bedürfnis nach Veränderung gekennzeichnet und haben ihre Geschichte (leur devenir historique) verinnerlicht, um sie zum Motor ihrer Entwicklung zu machen“.

„Kälte“ ist nun aber nicht lediglich ein anderes Wort und überdies eine Metapher für das, was andere „Geschichtslosigkeit“ und „fehlendes Geschichtsbewusstsein“ nennen.

Mit dem, was Lévi-Strauss „Kälte“ nennt, ist nicht ein Fehlen von etwas gemeint, sondern eine aktive Leistung, die einer besonderen „Weisheit“ und speziellen „Institutionen“ zugeschrieben wird. „Kälte“ ist nicht der Nullzustand der Kultur, sie muss erzeugt werden. Es geht also nicht nur um die Frage, in welchem Umfang und in welchen Formen Gesellschaften ein Geschichtsbewusstsein ausgebildet haben, es geht zugleich auch um die Frage, in welchem Umfang und in welchen Formen, mithilfe welcher Institutionen und Sozialmechanismen eine Gesellschaft Wandel und Geschichtsbewusstsein zu verhindern sucht und zu verhindern weiß. „Kalte“ Kulturen leben nicht in der Vergessenheit von etwas, was „heiße“ Kulturen erinnern, sondern in einer anderen Erinnerung. Um dieser Erinnerung willen muss das Eindringen von Geschichte verhindert werden. Dazu dienen die Techniken „kalter“ Erinnerung.

Optionen des kulturellen Gedächtnisses

Für Lévi-Strauss ist die Unterscheidung „kalt“ und „heiß“ lediglich eine angemessenere Bezeichnung für die ungeschickte Unterscheidung zwischen den „Völkern ohne Geschichte“ und den anderen. Sie ist für ihn gleichbedeutend mit der Unterscheidung zwischen primitiv und zivilisiert, schriftlos und literal, akephal – also herrschaftsfrei – und staatlich organisiert. „Kälte“ und „Hitze“ bezeichnen also für ihn nur die idealtypischen Pole des Zivilisationsprozesses, der notwendig von „Kälte“ zu „Hitze“ führt. Mit dieser Einschränkung hat er sich um den eigentlichen Ertrag seiner Einsicht gebracht. Daher hat er auch, über das Aperçu

als solches hinaus, soweit ich sehe, nicht besonders viel mit ihr angefangen. Ich möchte von dieser Unterscheidung einen sehr viel weitergehenden Gebrauch machen und stütze meine Interpretation auf drei Beobachtungen:

1. Es gibt Gesellschaften, die zivilisiert, literal und staatlich organisiert und trotzdem „kalt“ sind in dem Sinne, dass sie dem Eindringen der Geschichte Widerstand leisten. Ich nenne hier nur zwei klassische Fälle: das alte Ägypten und das mittelalterliche Judentum. In beiden Fällen sieht man sehr deutlich, dass die Verweigerung gegenüber der Geschichte im Dienst einer anderen Erinnerung steht. Für Ägypten habe ich diese Erinnerung als „das monumentale Gedächtnis“ beschrieben, für das mittelalterliche Judentum hat Yosef Hayim Yerushalmi, US-amerikanischer Professor für jüdische Geschichte, 1982 geradezu den Imperativ „Zakhor!“ („Erinnere dich!“) als Titel seiner eindrucksvollen Analyse gewählt. Viel ergiebiger als die bloße Umbenennung primitiver und zivilisierter Kulturen in „kalte und heiße“, unter Beibehaltung des evolutionären Schemas, scheint es mir daher, sich von diesem Schema zu trennen und „Kälte“ und „Hitze“ im Sinne kultureller Optionen beziehungsweise gedächtnispolitischer Strategien zu verstehen, die jederzeit, unabhängig von Schrift, Kalender, Technologie und Herrschaft, gegeben sind. Es handelt sich um Optionen des kulturellen Gedächtnisses. Im Zeichen der „kalten“ Option können auch Schrift und Herrschaftsinstitutionen zu Mitteln werden, Geschichte einzufrieren.

**„„Kalte‘ Kulturen leben nicht
in der Vergessenheit von
etwas, was ‚heiße‘ Kulturen
erinnern, sondern in
einer anderen Erinnerung.“**

„Es gibt Gesellschaften, die zivilisiert, literal und staatlich organisiert und trotzdem ‚kalt‘ sind in dem Sinne, dass sie dem Eindringen der Geschichte Widerstand leisten.“

2. Gesellschaften beziehungsweise Kulturen müssen nicht als Ganze „kalt“ oder „heiß“ sein: Man kann in ihnen „kalte“ und „heiße“ Elemente beziehungsweise, mit den Begriffen des Ethnopsychologen Mario Erdheim, „Kühl“- und „Heizsysteme“ unterscheiden. Kühlsysteme sind einerseits jene Institutionen, mit deren Hilfe „kalte“ Kulturen geschichtlichen Wandel einfrieren – Erdheim untersucht als solche zum Beispiel Initiationsriten –, andererseits aber auch ausdifferenzierte Bereiche im Kontext ansonsten „heißer“ Gesellschaften, wie zum Beispiel das Militär oder die Kirche.

3. So wie es „kalte“ und „heiße“ Orte innerhalb einer Gesellschaft gibt, gibt es auch „kalte“ und „heiße“ Perioden, Perioden eines gesteigerten Geschichtsbewusstseins im Interesse von Entwicklung und Veränderung. Als eine „heiße“ Periode der westlichen Gesellschaft kann die Moderne gelten, die in der westlichen Welt im späten 18. Jahrhundert (der von dem Historiker Reinhart Koselleck so genannten „Sattelzeit“) einsetzte und ganz im Zeichen des Fortschritts, das heißt der „Modernisierung“, stand. Diese Epoche war einerseits eine Blütezeit der Geschichtsforschung in Gestalt des Historismus, sagte sich aber andererseits von dem Topos der Geschichte als „magistra vitae“ – der „Lehrmeisterin des Lebens“ – los. Das „Zeitregime der Moderne“ (Aleida Assmann) brach mit seiner Fixierung auf Zukunft und Fortschritt den Zusammenhang von „Erfah-

rungsraum“ und „Erwartungshorizont“ (Koselleck). Das war nun das genaue Gegenteil des Prinzips einer Gesellschaft, „ihr historisches Werden zum Motor ihrer Entwicklung zu machen“. Das kehrte vielmehr erst zurück, als unter dem Druck zweier Erfahrungen – der Rückkehr der Vergangenheit mit ihren schuldhaften Verstrickungen und der Gefährdung der Zukunft durch Ressourcenerschöpfung und Umweltzerstörung – der Fortschrittsoptimismus zusammenbrach. An die Stelle des Fortschritts ist das Ideal der Nachhaltigkeit (sustainability) getreten, an die Stelle des offenen, verheißungsvollen Erwartungshorizonts trat in Deutschland die Anerkennung der Vergangenheit in Form einer vielfältigen, sowohl offiziellen als auch zivilgesellschaftlichen Erinnerungskultur. Hier hat wirklich einmal eine Gesellschaft ihr „geschichtliches Werden“, auch wenn es gerade einmal knapp 70 bis 80 Jahre zurückliegt, zum Motor ihrer Entwicklung, ihres Selbstbilds und ihrer Identität gemacht. Die NS-Zeit mit Weltkrieg und Holocaust bildet als „negative“, aber gleichwohl „normative“ Vergangenheit den Kern deutschen Geschichtsbewusstseins, so sehr auch rechte Kreise dagegen aufbegehren. Über dieser ebenso unabweisbaren wie umstrittenen Erinnerung ist die deutsche Gesellschaft zu einer „heißen“ Gesellschaft im Sinne von Claude Lévi-Strauss geworden. Dasselbe gilt aber auch viel allgemeiner. Holocaust-Museen gibt es nicht nur in Deutschland, sondern in den USA, in Israel

„Als eine ‚heiße‘ Periode der westlichen Gesellschaft kann die Moderne gelten, die ganz im Zeichen des Fortschritts, das heißt der ‚Moderni- sierung‘, stand.“

und den meisten europäischen Ländern. Der 27. Januar, der Tag der Befreiung von Auschwitz, ist als offizieller Feiertag in der Europäischen Union eingeführt – auch die EU hat diese Periode der Vergangenheit zum „Motor ihrer Entwicklung“ gemacht. Das Ziel dieser Entwicklung ist die Überwindung des Nationalismus und die Durchsetzung der Menschenrechte als gemeinsame Grundlage von Frieden, Gerechtigkeit und Freiheit.

Die „heiße“ Option für eine Aufarbeitung der Vergangenheit

In einer viel diskutierten Rede hat Alexander Gauland, der Vorsitzende der AfD, diese für Deutschland zu einer „normativen Vergangenheit“ (im Sinne von Abscheu und Abkehr) erhobenen zwölf Jahre der NS-Herrschaft als einen „Vogelschiss“ auf „tausend Jahren erfolgreicher deutscher Geschichte“ bezeichnet. Durch dieses Plädoyer für die „kalte“ Option hat er wider Willen noch einmal deutlich gemacht, wie entscheidend und in einer gar nicht mehr wegzudenkenden Weise die auf NS-Zeit und Holocaust basierende deutsche Erinnerungskultur zum Kern des Selbst- und Fremdbilds der Bundesrepublik geworden ist, so dass eine „Alternative“, die das Rad zurückdrehen und zu geschichtsloser tausendjähriger Größe zurückkehren will, mit Deutschland nichts mehr zu tun hat und sich in ein gesellschaftliches Abseits stellt. Wir leben in einer „heißen“ Gesellschaft, um das abschließend noch einmal zu betonen, die die verabscheuungswürdigste Periode ihrer Geschichte verinnerlicht hat, um sie, ganz im Sinne von Lévi-Strauss' Definition, „zum Motor ihrer Entwicklung zu machen“ und deren Ziel nicht aus dem Auge zu verlieren. Dieses Ziel speist sich aus der Erinnerung an eine geschichtliche Periode, in der im Interesse eines militanten Nationalismus die Menschenrechte und mit ihnen Frieden, Gerechtigkeit und Freiheit in einer bis dahin unbekannt und nie für möglich gehaltenen Weise mit Füßen getreten wurden. Einen solchen Schritt, anstelle einer besonders glorreichen Epoche der Vergangenheit oder auch einer besonderen Leidensgeschichte (wie im Fall von Israel) eine allgemein negativ konnotierte Periode zum Kernstück nationaler Geschichtspolitik zu machen, hat es in der Geschichte bis dahin noch nicht gegeben, ebenso wenig wie es Verbrechen dieses Ausmaßes bislang gegeben hatte.

Vergleichbare Formen von Erinnerungskultur haben sich inzwischen in vielen Gesellschaften entwickelt, die sich nach Jahren der Diktatur – mit der für Diktaturen typischen „kalten“ Option für eine gewaltsame Stillstellung der Geschichte – in Demokratien verwandelt haben. So brachen zuerst die Sowjetunion und später Argentinien, Brasilien und Südafrika zusammen und machten Demokratien Platz. Die „heiße“ Option für eine Aufarbeitung der Vergangenheit im Interesse einer Entwicklung, die auf Frieden, Humanität und eine Durchsetzung der Menschenrechte hinarbeitet, gewinnt allmählich, allen Rückschlägen von rechts zum Trotz, an Boden. ●

THE CULTURAL MEMORY

“COLD” AND “HOT” SOCIETIES

JAN ASSMANN

In the 1960s the ethnologist Claude Lévi-Strauss introduced the terms of “cold” and “hot” societies. By his definition, “cold” societies seek, via the institutions they give themselves, to quasi-automatically eliminate the impact that historical factors might have on their equilibrium and continuity. “Hot” societies, on the other hand, are characterised by a greedy need for change and have internalised their history in order to turn it into an engine of their development. For Lévi-Strauss, “cold” and “heat” are thus the typical poles of a civilisation process that inevitably leads from “cold” to “hot”.

Jan Assmann builds on this approach when he describes “cold” and “heat” as options of our cultural memory that exist at any time, regardless of writing, calendars, technology or forms of rule; he cites ancient Egypt and medieval Judaism as classical examples of “cold” societies. Moreover, there are “cold” and “hot” periods – periods in which people’s awareness of history is heightened in the interest of development and change. The modern period, beginning in the late 1700s and marked by great progress in many spheres of life, was a “hot” period for Western societies.

The Nazi era, which comprised a world war and the Holocaust, is a negative, but nevertheless normative chapter in Germany’s past that is at the core of the nation’s historical awareness. Based on this experience, German society has turned its historical coming-into-being into the driver of its development, self-image and identity – thus becoming a “hot” society. Similar forms of memory culture have developed in many societies that evolved into democracies following years of dictatorship – with the “cold” option, typical of dictatorships, of a forcible immobilisation of history. The “hot” option of learning from the past to ensure an evolution towards peace, humanity and the enforcement of human rights is slowly gaining ground, despite setbacks orchestrated by the political right. ●

“We Germans live in a ‘hot’ society that has internalised the most horrific chapter of its history and turned it into the ‘driver of its development’.”

PROF. DR JAN ASSMANN is an emeritus professor at the Institute for Egyptology, where he held a professorship of Egyptology from 1976 to 2003. In 2005 he became Honorary Professor of Religious Theory and Cultural Sciences at the University of Konstanz. Together with his wife, cultural scientist Prof. Dr Aleida Assmann, he developed groundbreaking studies on cultural memory and on the archaeology of literary communication. The couple have received numerous prestigious awards for their work, among them in 2017 the Balzan Prize for globally outstanding scientists and the Karl Jaspers Prize awarded by Heidelberg University, the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities and the City of Heidelberg. In 2018 Jan and Aleida Assmann received the Peace Prize of the German Book Trade for the body of work created by their two voices “that is of tremendous importance for contemporary debates and, above all, for sustainable peace and understanding among the peoples of the world”. The Board of Trustees’ statement goes on to say that, with his extensive scientific work on the “relationship between religion and violence, the genesis of intolerance and the claim to absolute truth”, Jan Assmann has “made an indispensable contribution to our understanding of the willingness and capacity for peace held by religions in today’s global society.”

Contact: jan.assmann@urz.uni-heidelberg.de



PROF. DR. JAN ASSMANN ist Emeritus am Institut für Ägyptologie, an dem er als Inhaber einer Ägyptologie-Professur von 1976 bis 2003 lehrte und forschte. Seit 2005 ist er Honorarprofessor für Allgemeine Kulturwissenschaft und Religionstheorie an der Universität Konstanz. Gemeinsam mit seiner Frau, der Kulturwissenschaftlerin Prof. Dr. Aleida Assmann, erarbeitete er wegweisende Studien zum kulturellen Gedächtnis und zur Archäologie der literarischen Kommunikation. Für die gemeinsame Arbeit wurde das Ehepaar mit zahlreichen hochkarätigen Preisen ausgezeichnet, darunter 2017 der Balzan-Preis für weltweit herausragende Wissenschaftler sowie der Karl-Jaspers-Preis, den die Universität Heidelberg gemeinsam mit der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und der Stadt Heidelberg vergibt. 2018 erhielten Jan und Aleida Assmann den Friedenspreis des Deutschen Buchhandels für ihr „zweistimmiges Werk, das für die zeitgenössischen Debatten und im Besonderen für ein friedliches Zusammenleben auf der Welt von großer Bedeutung ist“. Jan Assmann leistete „mit seinen Schriften zum Zusammenhang von Religion und Gewalt sowie zur Genese von Intoleranz und absolutem Wahrheitsanspruch einen unverzichtbaren Beitrag zum Verständnis der Friedensbereitschaft und Friedensfähigkeit der Religionen in der Weltgesellschaft von heute“, heißt es in der Begründung.

Kontakt: jan.assmann@urz.uni-heidelberg.de

„Wir leben in Deutschland in einer ‚heißen‘ Gesellschaft, die die verabscheuungswürdigste Periode ihrer Geschichte verinnerlicht hat, um sie ‚zum Motor ihrer Entwicklung zu machen‘.“

KALTE

KRIEG 2.0

KALTER KRIEG 2.0

DER KRIEG IN DER UKRAINE

TANJA PENTER

Im Donbass im Osten der Ukraine tobt seit 2014 ein Krieg, der zuweilen auch als Kalter Krieg 2.0 bezeichnet wird. Mit dem historischen Kalten Krieg hat dieser Konflikt eines gemeinsam: Ähnlich wie damals wird heute in der Ukraine und in Russland die Geschichte als „Waffe“ in aktuellen politischen Auseinandersetzungen instrumentalisiert.

D

Die Ukraine erlebt aktuell nicht nur einen heißen Krieg im Donbass, sondern sie ist auch Gegenstand eines neuen Kalten Kriegs, bei dem die Geschichte immer wieder als „Waffe“ in politischen Konflikten instrumentalisiert wird. Das Land, das erst 1991 im Zuge des Zerfalls der Sowjetunion seine staatliche Unabhängigkeit erlangt hat, erfährt seit den „Euromaidan“ genannten Bürgerprotesten, der Annexion der Krim durch Russland und dem Beginn des Krieges im Donbass verstärkt internationale Aufmerksamkeit. Bis dahin war die Ukraine in der Wahrnehmung der deutschen Öffentlichkeit zumeist ein „weißer Fleck“ und spielte trotz ihrer wichtigen strategischen Bedeutung für Europa in politischen Debatten und der Medienberichterstattung bestenfalls am Rande eine Rolle. Lehrveranstaltungen zur Geschichte der Ukraine stellen an deutschen Universitäten immer noch eher eine Ausnahme dar. In Heidelberg

bildet die ukrainische neben der russischen Geschichte des 20. Jahrhunderts in Forschung und Lehre einen Schwerpunkt der Professur für Osteuropäische Geschichte.

Aspekte eines heißen und eines kalten Kriegs scheinen sich in der aktuellen politischen Entwicklung der Ukraine auf seltsame Weise zu vermischen: In der Berichterstattung europäischer Medien war im Zusammenhang mit dem Ukraine-Konflikt schon bald von einer Rückkehr des Kalten Kriegs oder einem Kalten Krieg 2.0 die Rede. Dagegen verwiesen manche Osteuropaexperten darauf, dass es sich gerade nicht um eine Neuauflage des Ost-West-Konflikts, sondern vielmehr um eine neue Form des Konflikts zwischen Moskau und Brüssel handele, bei dem es im Kern um eine Integrationskonkurrenz zwischen östlicher Autokratie und westlicher Demokratie gehe. Bereits im Kosovo 1999 und in Südossetien 2008 hatte sich diese neue Konfliktkonstellation in Form von blutigen Auseinandersetzungen manifestiert. Im Unterschied zum Kalten Krieg spiele, so die Expertenmeinungen, in den neuen Konflikten die Ideologie keine Rolle mehr, und die Volkswirtschaften seien heute global viel enger miteinander verflochten als in Zeiten der Systemkonkurrenz und des Eisernen Vorhangs zwischen Ost und West.

Der heiße Krieg im Donbass

In der zentralen ukrainischen Kohlebergbauregion, dem Donbass im Osten des Landes, tobt seit 2014 ein heißer

„Die drohende humanitäre Katastro- phe der Menschen im Donbass wird in Europa kaum noch wahrgenommen.“

Krieg, bei dem es immer noch täglich zu Blutvergießen kommt und große Teile der Infrastruktur der Region zerstört wurden. Dieser bewaffnete Konflikt zwischen ukrainischen Streitkräften und den von Russland unterstützten Separatisten im Donbass hat bereits mehr als 10.000 Zivilisten das Leben gekostet – viele von ihnen starben durch Landminen. Die beiden Volksrepubliken in Donezk und Luhansk haben sich mittlerweile von einem anarchischen Bandenterritorium zu kleinen Diktaturen entwickelt, die eine teilweise neo-sowjetisch anmutende eigenständige Propaganda und Geschichtspolitik betreiben

und kontinuierlich Menschenrechtsverletzungen begehen. Die drohende humanitäre Katastrophe der Menschen im Donbass wird in Europa – auch angesichts anderer Konfliktherde und Flüchtlingskatastrophen – kaum noch wahrgenommen.

Die Zukunftsperspektiven für den Donbass sind trübe: Der Krieg könnte sich ähnlich wie die seit Jahren schwelenden Konflikte im Kosovo, in Abchasien, Nagorny-Karabach, Südossetien und Transnistrien zu einem über Jahrzehnte andauernden „frozen conflict“ entwickeln. Nach dem Ende

des heißen Kriegs könnte dem Donbass zudem eine Umweltkatastrophe drohen, wie Umweltexperten warnen: Die Flutung von Bergwerken und das Ausbleiben der Entwässerung der Gruben hat gefährliche Auswirkungen auf das Grundwasser und könnte zu Überflutungen und Versalzen von Böden führen. In fünf bis zehn Jahren könnten Teile der Bergbauregion vollständig unbewohnbar werden.

Mehr als zwei Millionen Bewohner des Donbass haben ihre Heimat seit Beginn der Kämpfe verlassen. Zwei Drittel flüchteten in andere Regionen der Ukraine, ein Drittel ins Ausland, vor allem nach Russland. Die Ukraine ist mit der Aufnahme der Flüchtlinge ökonomisch überfordert, und die ukrainische Gesellschaft reagiert mit einer „inneren Orientalisierung“ des Donbass: Vielfach stoßen die Flüchtlinge auf Ablehnung und Feindseligkeit und werden auch von führenden ukrainischen Intellektuellen als „Fremde“ wahrgenommen.

Die Heterogenität der ukrainischen Regionen, die auf verschiedenen historischen Traditionen, der ethnischen Bevölkerungszusammensetzung und sprachlich-kulturellen Unterschieden basiert, hat die politische Entwicklung der Ukraine seit der Unabhängigkeit stark geprägt. Im Donbass gibt es einen historisch gewachsenen starken Regionalismus, der seine Wurzeln bereits in der vorrevolutionären Industrialisierung der Region hat und unter der Sowjetherrschaft eine weitere Verstärkung erfuhr. Insbesondere in den 1930er-Jahren der forcierten Industrialisierung unter Stalin hatte die Bergbauregion einen rasanten wirtschaftlichen Aufstieg und Zuzug von Arbeitsmigranten erfahren und war zu einem „Schaufenster des Sozialismus“ aufgestiegen. Den Donbass und seine Bewohner kannte und liebte die ganze Sowjetunion – so konnte man 1940 in der Propagandapresse lesen. Ein Obelisk im Stadtzentrum von Donezk trägt noch immer das bekannte Lenin-Zitat „Das Donezbecken ist nicht irgendeine Region, sondern die Region, ohne die der Aufbau des Sozialismus nur ein frommer Wunsch bliebe“. Heute steht das Bewusstsein vieler Bewohner von einem Sonderstatus des Donbass aber im Gegensatz zum kontinuierlichen wirtschaftlichen Abstieg der Bergbauregion, die bereits vor dem aktuellen Krieg erhebliche Strukturprobleme aufwies und auf staatliche Subventionen angewiesen war.

Der Krieg im Donbass hat die Existenzen und Zukunftspläne vieler Familien vernichtet. Wissenschaftler aus dem Donbass haben es heute besonders schwer, denn ihre Hochschulen wurden ins Innere der Ukraine evakuiert und stehen dort vor einem schwierigen Neustart. Der Donezker Historiker Dmytro Tytarenko, der zurzeit als Stipendiat der Humboldt-Stiftung in Heidelberg forscht, wurde mit seiner Hochschule aus Donezk etwa 500 Kilometer weiter westlich in das Gebiet Dnipropetrowsk umgesiedelt. Seine Familie wurde durch den Krieg aus-



PROF. DR. TANJA PENTER forsch und lehrt seit 2013 als Professorin für Osteuropäische Geschichte am Historischen Seminar der Universität Heidelberg. Zuvor übernahm sie Lehrstuhl-Vertretungen an der Humboldt-Universität Berlin und der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg und arbeitete als Geschäftsführerin des internationalen Forschungsprojektes zur Entschädigung von ehemaligen NS-Zwangsarbeitern an der Ruhr-Universität Bochum. Ab 2004 war sie für ein Jahr als Postdoktorandin am Center for Advanced Holocaust Studies des United States Holocaust Memorial Museum in Washington (USA) im Rahmen des Projekts „Collaboration on Trial: Soviet Postwar Trials of Collaborators“. Tanja Penter's Forschung beschäftigt sich schwerpunktmäßig unter anderem mit der Geschichte Russlands, der Ukraine und der Sowjetunion im 19. und 20. Jahrhundert sowie mit Rechts- und Gerechtigkeitskulturen sowie Vergangenheitspolitik in Osteuropa. Sie ist Mitglied der Deutsch-Ukrainischen und der Deutsch-Russischen Historikerkommission und gehört dem Wissenschaftlichen Beirat des Deutschen Historischen Instituts Moskau an.

Kontakt: tanja.penter@zegk.uni-heidelberg.de

einandergerissen, und er kann sich nur schwer an den Verlust seiner Heimat gewöhnen. Die Hochschulen, die aus dem Donbass oder von der Krim umgesiedelt wurden, besitzen einen besonderen Status als „Flüchtlings-Universitäten“. Dazu zählt auch die Taurische Universität auf der Krim, die über viele Jahre mit der Universität Heidelberg kooperiert hat. Nach der Annexion der Krim ist die Hochschule nun (teilweise) nach Kiew umgesiedelt. Mit Heidelberger Studierenden konnten wir im Rahmen einer Kiew-Exkursion im Mai 2018 der neu eröffneten Taurischen Universität in Kiew einen ersten Besuch abstatten und uns vor Ort ein Bild von den Perspektiven und Problemen nach der Umsiedlung machen.

Geschichte als „Waffe“

Ähnlich wie in Zeiten des Kalten Kriegs wird heute in der Ukraine und in Russland die Geschichte wieder zunehmend als „Waffe“ in den aktuellen politischen Auseinandersetzungen instrumentalisiert. Besonders sichtbar wurde dies in der Verabschiedung von Geschichtsgesetzen: 2015 wurden in der Ukraine sogenannte Entkommunisierungsgesetze beschlossen, die den Umgang mit dem Erbe des Kommunismus vorgeben. Sie wurden maßgeblich vom Institut für nationales Gedenken ausgearbeitet, dem in der ukrainischen Geschichtspolitik nach dem Euromaidan eine zentrale Rolle zukommt. Die Gesetze zielten auf einen Umbau der staatlichen Geschichtspolitik, verbannten alle Symbole des Kommunismus und des Nationalsozialismus aus dem öffentlichen Raum und bestrafte Gesetzesverstöße mit Gefängnisstrafen bis zu fünf Jahren. Innerhalb von sechs Monaten sollten alle kommunistischen Denkmäler (mit Ausnahme der Denkmäler des Zweiten Weltkriegs) demontiert werden. Mehr als 900 Städte und Dörfer sowie Zehntausende von Straßen mussten umbenannt werden. Die Entkommunisierungsgesetze legitimierten „ex post“ den spontanen Umsturz von Lenin-Denkmalen (Leninopad) während des Euromaidan. Im Ergebnis wurde zwar das visuelle Erbe des Kommunismus ausgeradiert, die Chance einer kritischen historischen Aufarbeitung der sowjetischen Vergangenheit, an der Ukrainer sowohl als Opfer als auch als Täter teilhatten, wurde dagegen verpasst. In einigen Ortschaften versuchte die Bevölkerung, sich den radikalen Umbenennungen auf gewitzte Weise zu entziehen, indem sie für die alten Namen einfach neue ukrainische Bezüge erfand. Einige versuchten auch zu den alten vorrevolutionären Namen, die im Russischen Imperium bestanden, zurückzukehren, was jedoch gar nicht im Sinne der Gesetzgeber war.

Besonders problematisch ist im Zusammenhang mit den Entkommunisierungsgesetzen, dass Angehörige der Organisation ukrainischer Nationalisten (OUN) und der Ukrainischen Aufstandsarmee (UPA) nun uneingeschränkt als „Kämpfer für die ukrainische Unabhängigkeit“ verehrt werden müssen. Ihre Beteiligung an NS-Verbrechen im

Zweiten Weltkrieg darf nicht mehr offen thematisiert werden. Vor allem in Polen führte dies zu starken Protesten, es gefährdet die ukrainisch-polnischen Beziehungen, denn die UPA war auch für Verbrechen an Polen in Wolhynien und Ostgalizien verantwortlich. Die in Polen jüngst verabschiedeten Geschichtsgesetze stellen in einigen Punkten auch eine Reaktion auf die ukrainischen Gesetze dar.

Forschungen zum Kalten Krieg

Die aktuellen Debatten über den Kalten Krieg 2.0 in der Ukraine treffen auf ein wachsendes Interesse an der Erforschung des historischen Kalten Kriegs. Solche Forschungen tragen umgekehrt auch zu einem besseren Verständnis der heißen Konflikte im post-sowjetischen Raum bei. Nicht nur deswegen steht der Kalte Krieg in verschiedenen Forschungsprojekten im Fokus der Heidelberger Professur für Osteuropäische Geschichte.

Eine DFG-geförderte Forschungskooperation mit den Universitäten Tübingen und Bern untersucht die „Nukleare Technopolitik in der Sowjetunion“ im Spannungsfeld von Fortschritt und Risiko. Während des Kalten Kriegs spielte die Atomkraft in der Sowjetunion eine zentrale Rolle: Sie beschleunigte zunächst ihren Aufstieg zur Supermacht, leitete aber nach der Tschernobyl-Katastrophe von 1986 auch ihren Untergang ein. Im Rahmen des Forschungsprojekts beschäftigen sich Heidelberger Historiker mit den Wechselbeziehungen zwischen der Wissensgenerierung durch biophysikalische und radiomedizinische Forschungsinstitute im Südrural, der alltäglichen sanitären Praxis in den kontaminierten Regionen und den administrativen Entscheidungsprozessen im Zentrum.

Ein weiteres Forschungsvorhaben widmet sich der Justizkooperation zwischen der Bundesrepublik und der Sowjetunion bei der Verfolgung von NS-Verbrechen in der Hochphase des Kalten Kriegs. Diese Art der Kooperation, die in den 1960er- und 1970er-Jahren ein bemerkenswertes Ausmaß erreichte, äußerte sich neben dem Austausch von Beutedokumenten und Ermittlungsmaterialien auch in Delegationsreisen deutscher Strafermittler in die Sowjetunion und der Teilnahme sowjetischer Zeugen an deutschen Strafverfahren. In vielfacher Weise stellt sie ein Paradebeispiel für die Möglichkeiten einer Zusammenarbeit jenseits aller politischen Konfrontationen dar, die die Durchlässigkeit des „Eisernen Vorhangs“ auch in Hochphasen des Kalten Kriegs verdeutlichen. Im Rahmen des Forschungsprojekts wird unter anderem auch nach der Rolle der Justizkooperation im Kontext der neuen Ostpolitik gefragt.

„Der heiße und der neue Kalte Krieg in der Ukraine sind stark mit konkurrierenden Deutungen der Geschichte des Zweiten Weltkriegs verknüpft.“

COLD WAR 2.0

THE WAR IN UKRAINE

TANJA PENTER

Ukraine is not just experiencing a hot war in the Donbass region; it is also the subject of a new cold war 2.0. Since 2014 the central coal mining region of Ukraine, the Donbass, in the eastern part of the country has been ravaged by a hot war that claims new victims every day and has destroyed large parts of the region's infrastructure. In a manner reminiscent of the first Cold War era, current political debates in Ukraine and Russia are once again using history as a "weapon". This became particularly obvious with the adoption of new history laws that specify how the country's communist heritage is to be dealt with. The new cold war in Ukraine is closely tied to rivalling interpretations of the history of the Second World War, which is being imbued with new patriotic fervour by Ukrainians. The hot war in the Donbass has a uniting effect on the nation, leading its members to distance themselves even more from Russia.

The imminent humanitarian catastrophe threatening the people of the Donbass, however, receives only the barest notice in Europe. More than 10,000 civilians have already lost their lives in the armed conflict, and more than two million inhabitants of the region have left their homes since the beginning of fighting. These refugees often face rejection and hostility elsewhere in Ukraine, where they are perceived as "strangers".

Research into 20th century Ukrainian history is a focal point of the Heidelberg Chair of East European History. The investigation of the historical Cold War will contribute to a deeper understanding of the current hot conflicts in the countries of the former Soviet Union. For the first time, Heidelberg historians are able to access the former secret service archives, which have recently been opened to researchers, in order to gain new insights into different periods of Soviet-German history. ●

PROF. DR TANJA PENTER joined Heidelberg University's Department of History in 2013 as a professor of East European history. Prior to that, she was an interim professor at Humboldt University in Berlin and Helmut Schmidt University in Hamburg, as well as managing director of the international research project on compensation for former forced labourers in Nazi Germany at Ruhr-Universität Bochum. Starting in 2004, she spent a year as a post-doctoral researcher at the Center for Advanced Holocaust Studies of the United States Holocaust Memorial Museum in Washington (USA), where she worked on a project entitled "Collaboration on Trial: Soviet Postwar Trials of Collaborators". Tanja Penter's research interests include the history of Russia, Ukraine and the Soviet Union in the 19th and 20th centuries, as well as East European legal culture, culture of justice and policies regarding national history. She is a member of the Commission on German-Ukrainian History and the Commission on German-Russian History and serves on the Academic Advisory Board of the German Historical Institute Moscow.

Contact: tanja.penter@zegk.uni-heidelberg.de

“The hot war and the new cold war in Ukraine are closely tied to rivalling interpretations of the history of the Second World War.”

„Der aktuelle Krieg hat eine integrierende Wirkung auf die ukrainische Nation, die sich nun noch stärker von Russland abgrenzt.“

Der heiße und der neue Kalte Krieg in der Ukraine sind stark mit konkurrierenden Deutungen der Geschichte des Zweiten Weltkriegs verknüpft. Zur Mobilisierung der Bevölkerung haben die russische und die ukrainische Seite sowie auch die Separatisten im Donbass in den Konflikten immer wieder propagandistisch verzerrte Bezüge auf die Geschichte des Zweiten Weltkriegs genutzt. Mit dem Fortdauern des Krieges im Donbass wird die Erinnerung an den Zweiten Weltkrieg in der Ukraine wieder stärker patriotisch aufgeladen, und die Ukraine wird im neuen Narrativ als unabhängige Siegnation des Zweiten Weltkriegs verstanden. Der aktuelle Kampf um staatliche Integrität im Donbass wird als Fortschreibung des siegreichen sowjet-ukrainischen

Kampfes gegen NS-Deutschland inszeniert. Sichtbar wird dies beispielsweise in der Ausstellung des Museums für den Zweiten Weltkrieg in Kiew, wo die Erinnerungen an den Ersten und Zweiten Weltkrieg sowie an den aktuellen Krieg im Donbass auf für den Besucher manchmal irritierende Art und Weise miteinander verbunden werden. Insgesamt hat der aktuelle Krieg, was kaum überraschen mag, aber eine integrierende Wirkung auf die ukrainische Nation, die sich nun noch stärker von Russland abgrenzt. Ein pragmatischer Gebrauch der ukrainischen und der russischen Sprache, wie er in der Vergangenheit praktiziert wurde, wird angesichts des Krieges jedoch immer schwieriger, und das Russische verschwindet zunehmend aus dem Alltagsleben.

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 die Allianz im ZEGK verstärken sie dabei ihre Kooperationen, nutzen Synergieeffekte und gewinnen in Lehre und Forschung an interdisziplinärer Kompetenz.

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

In der ukrainischen Geschichtswissenschaft dominiert weiterhin ein ethnozentristisches Verständnis der Nationalgeschichte. Alternative Stimmen, die das nationale Paradigma dekonstruieren, finden sich vor allem in einer jüngeren Generation ukrainischer Historiker, die mit pluralen methodischen Zugängen und Ansätzen arbeiten. Gerade für die Historikerinnen und Historiker erwiesen sich die Entkommunisierungsgesetze aber zumindest in einer Hinsicht als Segen, denn sie sahen auch die erstmalige breite Öffnung der ehemaligen Geheimdienstarchive für die Forschung vor. Die nun zugänglichen Materialien, mit denen im Forschungsbereich Osteuropäische Geschichte in verschiedenen Kontexten bereits gearbeitet wird, stellen eine wahre „Goldgrube“ dar und werden zukünftig ganz neue Perspektiven auf verschiedene Perioden der deutsch-sowjetischen Geschichte ermöglichen – insbesondere auf die Geschichte des Zweiten Weltkriegs und der Besatzungszeit, aber auch auf den Kalten Krieg. ●

ZUFELUCHT

IM

SCHATTEN

ZUFLUCHT IM SCHATTEN

DOMESTIZIERTE NATUR IN GÄRTEN

JULIA BOHNENGEL & MARTINA ENGELBRECHT

Wärme und Kälte spielen in der Geschichte der europäischen Gartenkunst eine gestaltende Rolle: Zurückgehend auf antike Gärten, die auf Temperaturmäßigung angelegt waren und mit Schatten und Kühlung Schutz vor der Sommerhitze bieten sollten, entwickelte sich in der Gartentheorie das Ideal eines auf die warme Jahreszeit und die helle Tageszeit konzentrierten Gartenlebens. Erst in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts führte das zunehmende Interesse an der Beobachtung von Naturphänomenen zu einer allmählichen Berücksichtigung auch der kälteren Jahres- und Tageszeiten. Fragen nach der Gartengestaltung bilden eines der zentralen Themenfelder in der europäischen Literatur des 18. Jahrhunderts.

W

„Will man kühlen Schatten genießen, muss man erst eine weite, dürre und heiße Fläche überqueren, der Kies brennt an den Sohlen [...]“ Mit diesen Worten beschreibt der Herzog von Saint-Simon, Zeitgenosse Ludwigs XIV. und berühmt für seine Memoiren über das Leben am Hof des Sonnenkönigs, einen Besuch des Gartens von Versailles. Dort muss der Besucher zunächst die schattenlose Zone der Parterres (eine ebene, dem Schloss vorgelagerte Fläche mit Bodenornamenten) passieren, ehe er das schattigere Boskett (ein mit kunstvoll gestalteten Hecken und Bäumen bepflanztes kleines Wäldchen) erreicht, um ein wenig erleichternde Abkühlung zu finden.

„Die antiken Gärten waren auf Temperatur- mäßigung angelegt.“

Spätestens in den heißen Wochen des Sommers 2018 dürfte so mancher Versailles-Besucher das Erlebnis des Herzogs nachempfunden haben, sind doch historische Gartenanlagen mehr als jede andere in Europa verbreitete Kunstform sommerlicher Hitze, aber auch winterlicher Kälte unmittelbar ausgesetzt. Und mehr als viele andere Kunstformen ist die Gartenkunst von unterschiedlichen Diskursen geprägt, deren Heterogenität sich in der disparaten Quellenlage niederschlägt: Zur „Gartenliteratur“ zählen garten-theoretische Schriften ebenso wie Pflanzbücher, Gartenbeschreibungen, aber auch Anregungen für die Gestaltung von Gärten durch literarische Texte und umgekehrt die Thematisierung von Gartenanlagen in der Literatur. Entsprechend erfordert diese Diversität interdisziplinäre Perspektiven, die dem je unterschiedlichen Umgang mit dem Thema gerecht werden können. Eine solch interdisziplinäre Zusammenarbeit, bei der wie im vorliegenden Fall insbesondere Kunstgeschichte und Literaturwissenschaft zusammenspielen, wird im

Studiengang „Germanistik im Kulturvergleich“ am Institut für Deutsch als Fremdsprachenphilologie (IDF) realisiert. Als eine der wenigen Einrichtungen der Universität Heidelberg bietet das IDF mit seiner komparatistischen Ausrichtung die Möglichkeit, deutschsprachige Texte nicht nur im internationalen Kontext, sondern auch in Bezug auf andere ästhetische Diskurse und Disziplinen zu diskutieren und zu erforschen.

Ein immerwährender Frühling

Ein Konzept, das für den Umgang mit Hitze und Kälte in der Gartenkunstgeschichte kennzeichnend ist, lässt sich auf die Gartenanlagen der griechischen und römischen Antike zurückführen: Die antiken Gärten waren auf Temperaturmäßigung angelegt. Schatten und Kühlung sollten sie spenden und ihren Nutzern Schutz vor den heißen Temperaturen im Sommer bieten. Für die Dauer der Sommermonate wurde das Leben ins Freie verlegt und der Garten gleichsam zum Wohnungersatz.

In der Gartentheorie entwickelte sich fortan das Ideal eines auf die warme Jahreszeit und die helle Tageszeit konzentrierten Gartenlebens. Durch die entsprechende Gestaltung des Gartens sollte ein immerwährender Frühling realisiert werden, der optimales Pflanzenwachstum ermöglichte und Temperaturextreme ausklammerte.

Erst in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts führte das zunehmende Interesse an der Beobachtung von Naturphänomenen zu einer allmählichen Berücksichtigung auch der kälteren Jahres- und Tageszeiten. So formulierte der einflussreiche deutsche Gartentheoretiker Christian Cay Lorenz Hirschfeld in seiner fünfbandigen, ab 1779 erschienenen „Theorie der Gartenkunst“ Pflanzempfehlungen für alle vier Jahreszeiten sowie für den „Morgengarten“, den „Mittagsgarten“ und den „Abendgarten“. Für Hirschfeld hat ein Garten zur Mittagszeit wegen der heißen Temperaturen „gegen die übrigen Anschnitte des Tages die wenigste Anmuth“. Der „Mittagsgarten“ sollte daher „der Unbequemlichkeit der Tageszeit“ Rechnung tragen und durch die Auswahl bestimmter Pflanzen, aber auch durch die Anlage von Felsgrotten „angenehme Zufluchtsörter vor der Hitze“ aufweisen.

Das Bestreben, extreme Einflüsse der Natur wie Hitze und Kälte durch gezielte Maßnahmen in der Gartengestaltung abzumildern, offenbart das für Gärten charakteristische Spannungsverhältnis von Kunst und Natur. Hinter der künstlerischen Konzeption von Gärten steckt der menschliche Wille, die Natur zu domestizieren – oder zumindest nicht steuerbare natürliche Bedingungen wie die vorherrschenden klimatischen Verhältnisse in der Komposition von Gärten gezielt einzusetzen. Dabei konnten die Vorstellungen des gestaltenden Gartenkünstlers durchaus von den Erwartungen des Gartenbesuchers abweichen, wie das eingangs zitierte Beispiel von Versailles zeigt: Während der Herzog von Saint-Simon die heißen Parterres als Fehlplanung kritisierte, steckt hinter der Gestaltung ein von André Le Nôtre, dem Gartenkünstler Ludwigs XIV., ausgeklügeltes Prinzip: Le Nôtre verzichtete in den Parterres absichtlich auf Schatten spendende Elemente und nahm dadurch Hitze in diesem Bereich in Kauf, um eine helle, lichtüberflutete Zone zu kreieren, von der sich die dunklere Boskettzone kontrastreich abhebt. Das durch die Gestaltung beabsichtigte Gartenerlebnis zielte also auf den Gegensatz von Licht und Schatten, von Hitze und Kühlung ab, wobei die sich im Laufe des Tages verändernden Licht- und Temperaturverhältnisse bewusst in die Konzeption einbezogen wurden.

Prinzip des Kontrastes als wesentliches Paradigma

Das Prinzip des Kontrastes wurde durch Gartenkünstler wie Le Nôtre zu einem wesentlichen Gestaltungsparadigma der barocken Gartenkunst. Der Dialektik von Sichtbarkeit und Unsichtbarkeit folgend, galt das Hauptaugenmerk der Gartenkünstler dabei vor allem der Erschaffung räum-

licher Bezüge durch Gestaltungselemente wie flache Beete, Brunnen und Bosketts, deren Anordnung den Blick des Betrachters abwechselnd be- oder entgrenzen sollte, indem je nach Perspektive einzelne Elemente der Gartenkomposition verborgen oder enthüllt wurden. Lichtbrechung und andere optische Tricks trugen dazu bei, dass der barocke Garten als monumentale Raumkunst „erschaubar“ wurde. Der künstlerische Akzent lag dabei stets auf dem Seh sinn, dem alle anderen sinnlichen Empfindungen wie auch die Temperaturwahrnehmung untergeordnet wurden. In der Gartentheorie der Zeit überwiegen dementsprechend die auf visuelle Wahrnehmung ausgerichteten Gegensatzpaare von hell und dunkel, Licht und Schatten über die Attribute „heiß“ oder das gemäßigte und damit erstrebenswerte „Kühl“ – das extreme „Kalt“ spielte selbst für Wintergärten so gut wie keine Rolle, da diese, dem Ideal der Mäßigung folgend, in ihrer Anlage vor rauen Winden geschützt und mit immergrünen Gehölzen bepflanzt werden sollten.

Der Kontrast von hell und dunkel wurde zu einem die Gartengestaltung bestimmenden künstlerischen Prinzip, das selbst die sogenannte „Gartenrevolution“ des 18. Jahrhunderts überdauerte, als man sich, ausgehend von gewandelten weltanschaulichen Überzeugungen und einem damit einhergehenden neuen Naturverständnis, abwandte von den barocken Gestaltungsmaximen eines räumlich-architektonisch gedachten Gartens, um sich im Landschaftsgarten fortan an den kompositorischen Grundsätzen der Malerei zu orientieren. Der von England aus verbreitete Landschaftsgarten griff Kompositionsprinzipien auf, die aus Landschaftsgemälden etwa von Nicolas Poussin und Claude Lorrain bekannt waren. Die Landschaft wurde nicht länger nur als „erschaubare“ Raumkunst, sondern auch als „erlauf- und erfahrbare“ Szene mit Vorder- und Hintergrund und entsprechender Lichtkomposition aufgefasst.

Reflexion in der Dichtung

Die veränderten Prinzipien in der europäischen Gartenarchitektur des 18. Jahrhunderts schlugen sich auch in der Dichtung nieder. Gärten und Parks, vor allem der Umgestaltung älterer Anlagen zu Landschaftsgärten, kommt in der Literatur der Zeit eine herausragende Stellung zu – man denke nur an Jean-Jacques Rousseaus Briefroman „La nouvelle Héloïse“, an Johann Wolfgang von Goethes „Wahlverwandtschaften“, Jane Austens „Mansfield Park“ oder an eines der meistgespielten Dramen der Goethezeit, an August von Kotzebues „Menschenhass und Reue“, das auf einem mit künstlicher Ruine, Einsiedelei und chinesischer Brücke umgestalteten Landgut angesiedelt ist. Der „furor hortensis“ des 18. Jahrhunderts sowohl in der Gartenkunst als auch in der Literatur ist darauf zurückzuführen, dass anhand des Landschaftsgartens über ästhetische Aspekte hinaus virulente politische, anthropologische und philosophische Fragen diskutiert wurden.

Besonders gut lässt sich die kulturgeschichtliche Bedeutung des Landschaftsgartens am Beispiel des kleinen Fürstentums Anhalt-Dessau beobachten, das durch zahlreiche aufklärerische Projekte, vor allem aber aufgrund des „Gartenreichs“ Dessau-Wörlitz von den Zeitgenossen große Aufmerksamkeit erfuhr. Der Wörlitzer Garten wurde von 1769 an nach englischem Vorbild durch Leopold III. Franz von Anhalt-Dessau angelegt und von Beginn an als öffentlich zugänglicher Raum gestaltet; heute zählt er zum UNESCO-Weltkulturerbe. Die Illusion von ästhetisierter freier Natur wurde hier als Abfolge abwechslungsreicher Bilder mit diversen Bauten, See- und Kanalpartien, unterschiedlichen Brücken und Inseln und sogar einer verkleinerten Nachbildung des Vesuvs realisiert. Unter den vielen zeitgenössischen literarischen Zeugnissen, die den weiträumigen Anlagen in den Elbauen gewidmet sind, verdient das Gedicht „Der Garten zu Wörlitz“ (1797) von Sophie Mereau nähere Beachtung. Sophie Mereau, die in zweiter Ehe Clemens Brentano heiratete und bereits 36-jährig an den Folgen einer Geburt in Heidelberg starb, zählt zu den ersten deutschsprachigen Berufsschriftstellerinnen. Ihre Romane, Erzählungen und Gedichte wurden von den Zeitgenossen hoch geschätzt, nicht zuletzt von Friedrich Schiller, der sie kontinuierlich förderte. Den „Garten zu Wörlitz“ nahm er in den „Musen-Almanach für das Jahr 1798“ – den berühmten „Balladenalmanach“ – auf, wohl auch, weil das 16-strophige Gedicht das Programm der Klassik überzeugend in Szene setzt.

Der Garten von Wörlitz wird darin als mit besonderer „Zauber Macht“ ausgestatteter Ort beschrieben, dessen Wirkung auf seiner Fähigkeit beruht, Gegensätze aller Art zu mildern und zur „Harmonie“ zu vereinigen. Dieses synthetisierende Potenzial wird durch die jahreszeitliche Situierung des Besuchs im Herbst unterstrichen, wo der Wind „sanft“ weht, die Welle „harmonisch“ rauscht, und „leichte Schatten“ das Tal bewegen. So wird die Zeit zwischen sommerlicher Hitze und winterlicher Kälte genutzt, um einen zwischen den Extremen vermittelnden Chronotopos zu gestalten, ohne dass jedoch die temperaturspezifischen Aspekte im Gedicht eine große Rolle spielten. Zwar ist davon die Rede, dass die Platanen ein „Schattendach für heißer Sonne Glut“ bilden, aber als Gegenpart wird nicht die Kühle unter den Bäumen, sondern ein optischer Effekt benannt: die unter ihnen herrschende Dunkelheit der „sanften Nacht“. Das visuelle Moment bestimmt die Wahrnehmung; die Literatur orientiert sich wie die Gartenkunst der Zeit an der Malerei:

Schon schmilzt, wo dort des Tempels Säulen glänzen,
Der Weide Grün zu leichtem gelbem Flor,
Hier hebt sich noch mit frischen Farbenkränzen
Der Eiche Laub in Jugendkraft hervor.
Am fernen Hügel, wo der See sich kräuselt,



DR. MARTINA ENGELBRECHT ist wissenschaftliche Koordinatorin an der Neuphilologischen Fakultät. Sie studierte Europäische Kunstgeschichte und Englische Philologie an der Universität Heidelberg, wo sie 2013 mit einer Dissertation zum Form- und Funktionswandel von Architekturbeschreibungen im 18. Jahrhundert promoviert wurde. Zu ihren Forschungsinteressen gehören literarische Beschreibungen von Werken der Bildenden Kunst, die Architektur und Gärten des Barock und Rokoko in Süddeutschland sowie die Rezeption von Architektur im öffentlichen Diskurs.

Kontakt: engelbrecht@uni-heidelberg.de

Glüht mancher Busch, von Purpur übermahlt,
Indeß in blauer Luft die Pappel säuselt,
Das schöne Haupt von Silberglanz umstrahlt.

Doch nicht nur um die Erfahrung einer visuell herbeigeführten ästhetischen Harmonie geht es im Gedicht. Sehr viel stärker als mit dem Barockgarten werden mit dem Landschaftsgarten weltanschauliche und philosophische Überlegungen verbunden. So thematisiert das Gedicht eine Aufhebung von Gegensätzen auch in politischer Hinsicht durch die Fischer, die „mit heiterm Sinn“, das heißt in „Frieden“ und in „Lust und Freiheit“, im „hellen See die grauen Netze“ auswerfen. Sie haben keine „stolze Pracht, die in Pallästen glänzt“, nötig – eine im kriegsgebeutelten Revolutionsjahrzehnt ebenso verlockende wie idealisierende Vorstellung. Und vermittelnd ist der Park auch insofern, als sich in ihm die Synthese von Natur und Kunst vollzieht: „Auch hier wohnt Kunst: oft keimt aus öden Steinen / Ein kleiner Garten wie durch Zauber Macht“.

Für den Leser erfahrbar wird diese allumfassende harmonisierende Wirkung des Parks, indem der Sprecher auf seinem Weg durch den Garten unterschiedliche, sich überraschend ergebende Ansichten von Tempeln, aber auch von Pflanzungen vor allem in der Auswirkung auf den Sehsinn, weniger häufig auch auf andere Sinne beschreibt. Auf den ersten Blick kaum erkennbar, für das zeitgenössische Publikum aber durch eigene Besuche oder die zahlreich publizierten Wörlitz-Beschreibungen gut nachvollziehbar, begleitet der Leser das lyrische Ich zunächst auf einer Kahnfahrt, später zu Fuß zu Ausichten auf markante Elemente durch den Park. Zugleich unterscheidet sich das Gedicht von den damaligen Gartenführern und -beschreibungen, weil am Ende Sprecher und Leser keineswegs, wie in diesen üblich, wieder an ihrem Ausgangspunkt ankommen. Vielmehr endet das Gedicht am äußersten Ende des Parks, in der sogenannten mystischen Partie, die 1797 beziehungsweise im Oktober 1796, als Sophie Mereau den Garten besuchte, zum Teil noch in erweiternden Bautätigkeiten begriffen war. Dorthin, auf die nach vermeintlich chinesischem Vorbild erbaute Kettenbrücke mit dem „Betplatz des Eremiten“, einem dunklen, beschatteten Plätzchen, scheint der Park den Besucher selbst zu locken:

Am schwanken Seil springt über feuchte Gründe
Der Brücke Bogen leicht mit dir hinweg,
Und unvermerkt durch lockendes Gewinde
Führt heimlich dich ein unwirthbarer Steg.

Und dort, wo die Felsen ein kleines „Gärtchen“ im großen Park bilden, lotet das Gedicht gleichsam als Ziel- und Endpunkt das Potenzial von künstlich evozierten Sinneseindrücken aus. Den Spaziergänger erfasst nun „ein stilles Grauen“, doch nur, weil „dem getäuschten

„Das Bestreben, extreme Einflüsse der Natur wie Hitze und Kälte durch gezielte Gestaltungsmaßnahmen abzumildern, offenbart das für Gärten charakteristische Spannungsverhältnis von Kunst und Natur.“

„Das Gartenerlebnis zielte auf den Gegensatz von Licht und Schatten, von Hitze und Kühlung ab.“

Sinn“ alles tot „scheint“. An diesem sicherlich kühlen Ort – durch „Grüfte“ geht der Weg dorthin – ist allerdings wiederum der visuelle Effekt ausschlaggebend. Weil sich das Licht „schwermüthig bricht“, gelangt der Besucher zu einer Erfahrung, die das bisherige Natur- und Kunsterlebnis im Park erweitert. Denn indem er sich zunächst durch „sanfte Trauer“ erfassen lässt, wo „Wehmut“ zu „ernster Lust“ wird, kann er schließlich auch den „heil'gen Stral der Hoffnung“ spüren, was auf ein grundsätzlich Anderes verweist, auf etwas, das nicht greifbar, sondern nur als das Ahnen eines anderen Zustandes möglich ist und über die harmonisierende Wirkung des Parks auf ein utopisches Moment hinausweist. Mit den beiden Versen „Der Muth erwacht, die Herzen schlagen freier, / Die doch im Ahnden nur hienieden glücklich sind“ endet das Gedicht.

Dass Hitze und Kälte im Gedicht sowohl für die synthetisierende Funktion des Landschaftsparks wie auch für die durch Sinnestäuschung hervorgerufenen Empfindungen kaum eine Rolle spielen, sollte allenfalls auf den ersten Blick erstaunen. Die Dominanz des Visuellen, für die Mereaus Gedicht nur exemplarisch steht, ist auf die bereits im 17. Jahrhundert entstandene Tradition der Gartengestaltung durch Licht und Schatten und durch die Orientierung der Gartenkunst des 18. Jahrhunderts an der Landschaftsmalerei zurückzuführen. Zwar kommt in der Gartenkonzeption des 18. Jahrhunderts auch der Bewegung und dem Hörsinn große Bedeutung zu, beherrschend bleibt jedoch das Auge, das in der neu begründeten Hierarchie der Sinne im Zeitalter der Aufklärung an erster Stelle vor dem Gehör, dem Geruch, dem Geschmack sowie dem Tasten und Fühlen steht.



DR. JULIA BOHNENGEL ist Akademische Rätin am Institut für Deutsch als Fremdsprachenphilologie, wo sie Neuere deutsche sowie Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft unterrichtet. Sie studierte Germanistik und Romanistik in Mannheim, Lyon (Frankreich) und Bologna (Italien), wurde 2001 mit einer Arbeit über Sade in Deutschland promoviert und habilitierte sich 2013 mit der Studie „Das gegessene Herz. Eine europäische Kulturgeschichte vom Mittelalter bis zum Ende des 19. Jahrhunderts“. Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehört die Literatur- und Kulturgeschichte der Goethezeit.

Kontakt: bohnengel@idf.uni-heidelberg.de

REFUGE IN THE SHADE

THE DOMESTICATION OF NATURE IN THE GARDEN

JULIA BOHNENGEL & MARTINA ENGELBRECHT

Historical gardens are exposed to the effects of hot weather in summer and cold temperatures in winter to a greater extent than other works of art. Still, in a discussion about the influence of climate on the design of a garden and the well-being of its visitors, it is interesting to note that 17th- and 18th-century garden literature idealises an everlasting spring with moderate temperatures.

In the baroque era, French formal gardens like Versailles were based on the principle of imposing order on nature. Landscape architects like André Le Nôtre created sites that were rich in contrast by juxtaposing shadeless parterres with cool and shady boscajes. Nonetheless, the main contrast intended was the alternation of bright and dark zones, in accordance with the priority of the visual sense in baroque garden design.

From the middle of the 18th century onward, the growing popularity of English landscape gardens throughout Europe led to a veritable “*furor hortensis*”, as these gardens raised not only aesthetic but also political and moral issues. Though the English landscape garden favoured nature in the place of baroque symmetry and created picturesque scenes by drawing inspiration from landscape paintings, visual effects remained predominant. Design principles like vistas of the countryside and focal points such as buildings or trees produced a visual garden experience in which heat and cold became mere side effects. This phenomenon is also described in Sophie Mereau’s poem “*Der Garten zu Wörlitz*” (1797). The poem tells of a stroll and boat trip through the Garden Kingdom of Dessau-Wörlitz, today a UNESCO World Heritage Site. However, far from merely describing design features, Mereau’s poem transcends the aesthetic discourse to create a sensual and even utopian dimension to experiencing the garden. ●

DR MARTINA ENGELBRECHT works as a scientific coordinator at the Faculty of Modern Languages. She studied European Art History and English Philology at the University of Heidelberg. In 2013, she obtained her doctoral degree with a dissertation about the formal and functional evolution of descriptions of architecture. Her research interests include literary descriptions of art; gardens and architecture of the baroque and rococo era in southern Germany as well as the public discourse of architecture.

Contact: engelbrecht@uni-heidelberg.de

DR JULIA BOHNENGEL is a senior lecturer at the Department of German as a Foreign Language Philology where she teaches modern German literature and comparative literature. She studied German as well as French and Italian in Mannheim, Lyon (France) and Bologna (Italy) before obtaining her doctoral degree in 2001 with a dissertation about Sade in Germany. In 2013, she completed her habilitation that deals with the medieval tale "The eaten heart" from a cultural-historical perspective. Her research focuses on the history of literature and culture in the age of Goethe and his contemporaries.

Contact: bohnengel@idf.uni-heidelberg.de

“The endeavour to moderate extreme natural influences such as heat and cold through specific design features illustrates the delicate balance of art and nature that is characteristic for gardens.”

„Die veränderten Prinzipien in der europäischen Garten- architektur des 18. Jahrhunderts schlugen sich auch in der Dichtung nieder.“

Zugleich spiegelt Mereaus Gedicht nicht einfach die Gestaltungsprinzipien der Gartenkunst ihrer Zeit wider. Vielmehr werden visuelle Eindrücke als Medium genutzt, um die Erfahrung umfassender Harmonie des Menschen in der gestalteten Natur für den Leser nachvollziehbar zu machen – und über dieses Nachempfinden hinaus die Macht der Einbildungskraft so anzuregen, dass Sprecher wie Leser die Ahnung eines Zustandes erhalten, zu dem das sinnliche Erleben im Park nur den Anlass bildet. ●

DOCH FÜHL' ICH'S HIER WIE

**FEUER
BRENNEN**

„DOCH FÜHL' ICH'S HIER WIE FEUER BRENNEN“

HITZE UND KÄLTE IN DER MUSIK VOR 1800

JOACHIM STEINHEUER

„Dochühl' ich's hier wie Feuer brennen, soll die Empfindung Liebe sein?“ Wie in Taminos Bildnisarie in Wolfgang Amadeus Mozarts „Zauberflöte“ werden in der Kunst bereits seit der Antike Gefühle wie Liebe, Eifersucht, Verzweiflung oder Hass gerne metaphorisch als Hitze, Feuer und Glut oder Kälte, Schnee und Eis dargestellt. Welche Möglichkeiten hat die Musik, Hitze und Kälte als metaphorisch dargestellte Empfindungen wie auch als tatsächliche Naturereignisse nachzuzeichnen oder sinnbildlich zu verdeutlichen? Ein Blick auf Beispiele der Musik vor 1800.

T

Tamino in Wolfgang Amadeus Mozarts „Zauberflöte“ ist ein Kind des 18. Jahrhunderts: Gerade erst vor der tödlichen Bedrohung durch die giftige Schlange errettet, beobachtet er mit geradezu aufgeklärt wissenschaftlichem Staunen, wie sich ihm angesichts von Paminas Bildnis das „Herz mit neuer Regung füllt“. Aufgrund der Neuartigkeit dieser Herzensbewegung vermag er „dies Etwas“ zwar zunächst nicht auf den Begriff zu bringen, doch da er es in seiner Brust „wie Feuer brennen“ fühlt, wagt er unverzüglich eine kühne Hypothese: „Soll die Empfindung Liebe sein?“ Nur um im nächsten Vers sogleich die ihm selbst unmittelbar evidente Antwort zu präsentieren, die keiner weiteren Verifizierung zu bedürfen scheint: „Ja, ja, die Liebe ist's allein!“ Der anschließend geäußerte Wunsch, Pamina finden zu können und leibhaftig vor sich stehen zu sehen, lässt den in Liebesdingen noch unerfahrenen Jüngling ein weiteres Mal für einen Moment fragend innehalten, was er dann tun würde? Doch dann ruft er sogleich mit Entschiedenheit aus, er werde sie „voll Entzücken / an diesen heißen Busen drücken“, worauf sie – auch dies weiterhin im Konjunktiv – ihm ohne Frage auf ewig angehören würde. Tamino lernt in dieser Situation rasch, er muss dabei nur seiner inneren Natur folgen, die ihn gleichermaßen Begrifflichkeit wie potenzielles Handeln lehrt, doch braucht es dann noch den ganzen Verlauf der von manchen Widrigkeiten und Prüfungen geprägten Opernhandlung, bis seine und, wie sich zeigen wird, auch Paminas Wünsche tatsächlich in Erfüllung gehen.

Lässt sich Taminos inneres Feuer auch musikalisch darstellen? Oder noch weitergehend gefragt: Inwieweit und in welcher Weise ist Musik imstande, Phänomene wie Hitze und Feuer oder umgekehrt auch Kälte und Eis nachzuzeichnen oder sinnbildlich zu verdeutlichen?

Weitverbreiteter literarischer Topos

Im Falle der Bildnisarie („Dies Bildnis ist bezaubernd schön“) unternimmt Mozart in seiner Vertonung auf den ersten Blick keinen unmittelbar nachvollziehbaren Versuch einer mimetischen Darstellung des Feuers, das der Prinz in seiner Brust verspürt, er ist weit eher an der Zeichnung von dessen aufkeimender Liebe interessiert. Die Überraschung beim Anblick des Bildnisses unterstreicht Mozart, indem er den Sänger die ersten beiden Verse fast

„Bereits bei Sappho sind Feuer sowie Kälte und Zittern als körperliche Manifestationen des von starker Eifersucht geprägten Außer-sich-Seins des lyrischen Ichs zu verstehen.“

unbegleitet vortragen lässt und durch einen Sextsprung in die hohe Tenorlage (von „dies“ zu „Bildnis“) nachdrücklich hervorhebt. Harmonisch steht die Passage klar in der Grundtonart Es-Dur, doch streift die Melodie der Singstimme den Grundton merkwürdigerweise nur einmal eher beiläufig, ganz so, als sei der Sänger ein Stück weit dem Boden der Tatsachen entrückt. Auf „Götterbild“ wird der Sprung in der Singstimme dann sogar noch zur kleinen Septime ausgeweitet und zusätzlich durch ein Orchester-Sforzato und einen Septakkord unterstrichen.

Die Antwort auf Taminos Frage in der zweiten Strophe, ob die unbekannt empfundene Liebe sei, lässt Mozart motivisch durch die Klarinetten und Fagotte zweimal vorwegnehmen; sie wird dem Sänger damit gleichsam in den Mund gelegt. Die gesamte dritte Strophe ist dann durch einen vorwärtsdrängend pulsierenden Orgelpunkt auf der Dominante B geprägt, die Singstimme füllt nun in einem stufenweisen Gang aufwärts melodisch die gleiche Septime aus, die schon bei „Götterbild“ als Sprung erklingen war. Dabei unterstreichen die ersten Violinen das Vorwärtsdrängen dieser Passage noch, indem sie den Septimgang in doppelt so rascher Zweiunddreißigtel-Bewegung umspielen und auch hier das Motiv bereits einmal vor Einsatz der Singstimme vorwegnehmen. Für die Frage „Was würde ich?“ verwendet Mozart noch einmal den gleichen dominantischen Septakkord wie schon bei „Götterbild“, doch lässt er hier im Anschluss daran einen ganzen Takt Generalpause folgen, bevor

nun mit der Rückkehr in die Grundtonart Tamino sich ausmalt, wie er Pamina entzückt an sich drücken würde. Mozart greift hier nicht nur den pulsierenden Orgelpunkt aus der dritten Strophe auf, sondern lässt zusätzlich in den Bratschen vier Takte lang ein eintaktiges Ostinato in Zweiunddreißigtel-Bewegung erklingen, das vielleicht an dieser Stelle sogar das von den hohen und tiefen Streichern gleichsam umschlossene „Feuer“ im „heißen Busen“ des Jünglings andeuten soll. Doch zeigt sich dieses Feuer musikalisch nicht plakativ, sondern ist eher subkutan im Orchestersatz verborgen.

Mit der Metapher des Feuers, das Tamino im heißen Busen brennt, greift Mozarts Librettist Emanuel Schikaneder auf einen seit der Antike weitverbreiteten literarischen Topos zurück. Hitze, Feuer und Glut wie auch Kälte, Schnee und Eis wurden nicht nur als faktisch wahrnehmbare Begebenheiten mit messbaren Temperaturen und physikalischen Gesetzmäßigkeiten angesehen, sondern häufig ebenso metaphorisch für psychische Erfahrungen verwendet. Bereits im 6. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung verwendete die Dichterin Sappho in einem ihrer berühmtesten Gedichtfragmente, das in der poetischen Abhandlung des Autors Pseudo-Longinus „Über das Erhabene“ überliefert ist, am Anfang der dritten und vierten Strophe die Gegenüberstellung von Feuer sowie Kälte und Zittern. Diese sind hier als körperliche Manifestationen des von starker Eifersucht geprägten Außer-sich-Seins des

lyrischen Ichs zu verstehen, die durch die Beobachtung des Gesprächs einer begehrten jungen Frau mit einem Mann ausgelöst wurden. In der Übersetzung von Walter Jens lautet die zweite Gedichthälfte wie folgt:

Ein Feuer zuckt unter der Haut, / brennt und brennt, /
und prickelt jäh und süß. / Über die Augen sinken, /
schwarz und dicht, / Schleier, / die Ohren dröhnen, /
Sturmwind braust, / und ich bin taub.

Kalter Schweiß bedeckt meinen Leib, / Zittern erfasst
mich, / ich schaue mich an: / Bleicher als Gras, das ver-
welkt, / ist das Spiegelgesicht. / Ganz nah der Tod. / Ich
liebe / und glaube zu sterben. / Und muss es ertragen.

Bereits Pseudo-Longinus rühmte die Intensität der dargestellten Emotionen und wie Sappho einander widersprechende Wahrnehmungen hier gezielt miteinander verbindet. Den Zustand des lyrischen Ichs benannte er in seinem Kommentar zudem dezidiert als Liebeswahnsinn. Catull nahm dieses Gedicht zum direkten Vorbild für sein eigenes, nun an seine Muse Lesbia gerichtetes „Carmen 51“, und zwar sowohl formal im Aufgreifen der sapphischen Odenstrophe wie auch in der konkret verwendeten poetischen Metaphorik. Ganz unmittelbar auf Sapphos Vorlage bezog sich auch Theokrit in seiner zweiten Ekloge, in der die eifersüchtige Simaitha den untreuen Delphis mit Zaubermitteln zurückzugewinnen sucht. Hier wird in einer Passage die von Eros entzündete Liebesglut sogar dezidiert als noch heißer als jene reale Glut beschrieben, mit welcher der Feuer- und Schmiedegott Hephaistos umzugehen pflegt.

Wirkungsvolle musikalische Chiffren

Verschiedene Übersetzungen von Sapphos Gedicht sind zu unterschiedlichen Zeiten in Musik gesetzt worden, die zitierte Übersetzung von Walter Jens legte etwa Aribert Reimann im zweiten der „Drei Gedichte der Sappho“ für Sopran und neun Instrumente zugrunde, die bei der Expo in Hannover im Jahre 2000 uraufgeführt wurden. Schon 300 Jahre zuvor veröffentlichte der englische Komponist John Blow (1649–1708) in seinem „Amphion Anglicus“ aus dem Jahre 1700 seine Vertonung einer anonymen englischen Textfassung mit dem Anfangsvers „Happy the man who languishing does sit“, deren beide letzten Strophen wie folgt lauten:

4. Oh! now I burn; the subtle flame does rise
thro' ev'ry Vein, and fixes in my Eyes;
the day to me seems but a misty light;
My hearing, as confus'd too, as my sight:

5. Now a cold sweat my trembling limbs bedew;
and like a wither'd plant my Visage shews;
pale, cold and speechless, without breath I lye,
in the sweet transports of my soul, I die.

4. Oh, wie ich brenne nun! Die kaum merkliche Flamme steigt / hinauf durch jede Ader, und hält dann in meinen Augen inne. / Der Tag erscheint mir bloß als ein verschwommenes Licht, / mein Hören, es ist ebenso verwirrt wie auch mein Sehen.

5. Als Tau bedeckt nun kalter Schweiß die zitternden Glieder, / und wie eine welke Pflanze zeigt mein Antlitz sich. / Bleich, kalt und sprachlos liege ich darnieder ohne Atem, / und in den süßen Verzückungen meiner Seele muss ich sterben.

In seiner den fünf Textstrophen korrespondierenden fünfteiligen Vertonung für eine Singstimme mit Generalbassbegleitung arbeitet John Blow zur Zeichnung der vielfältigen, oft rasch wechselnden Affekte mit häufigen Kontrasten von Tonart beziehungsweise Tongeschlecht, der Änderung von Tempovorzeichnungen und Satzcharakteren sowie vor der letzten Strophe zusätzlich mit einem Wechsel der Taktart. So wendet sich der mit der Vorschrift „Slow“ zweimal vortragene erste Halbvers der vierten Strophe „Oh! now I burn“ von der Haupttonart F-Dur nach f-Moll, die Umsetzung der folgenden anderthalb Verse besteht demgegenüber aus rasch deklamierten C-Dur-Dreiklangsbrechungen mit der Tempovorschrift „Brisk“, während die nächsten beiden Verse wieder „Slow“ zu singen und unerwartet nach A-Dur gewendet sind. Für die abschließend noch einmal insgesamt zu wiederholende, hochexpressive letzte Strophe schreibt Blow dann erstmals im Stück einen langsamen Dreiertakt vor. Durch die Wahl einer durchgehenden Viertelbewegung in der Continuostimme mit überwiegend absteigendem Gestus, erneute harmonische Ausweichungen nach c-Moll, f-Moll und b-Moll, chromatische Einfärbungen auf „cold“ sowie eine zweitaktige, irregulär punktierte Achtelkette auf „trembling“ erfindet er hier wirkungsvolle musikalische Chiffren für die Umsetzung der Strophe insgesamt wie auch einzelner hervorgehobener Worte, nicht zuletzt für die Kälte und das dadurch ausgelöste Zittern. Mit diesen häufigen, flexibel auf den Text reagierenden Änderungen in den unterschiedlichsten Parametern näherte John Blow, durchaus in Übereinstimmung mit der Einschätzung des Pseudo-Longinus, dass hier Liebeswahnsinn dargestellt sei, seine Vertonung von Sapphos Gedicht dem Typus des sogenannten Mad Songs an, wie er im späten 17. Jahrhundert in England eine Blüte erlebte.

Vielfältige Metaphern

Ein weiteres Beispiel hierfür bildet auch Henry Purcells „Let the dreadful engines of eternal will“, komponiert im Todesjahr des Komponisten (1695) für den Anfang des vierten Akts in Thomas D'Urfey's „The Comical History of Don Quixote“, einer sehr freien, dramatisierten Version des Romans von Cervantes. Das Stück ist ein Monolog des aus Liebe wahnsinnig gewordenen Edelmanns Cardenio, dem Don Quixote und Sancho Pansa im Gebirge begegnen.



DR. JOACHIM STEINHEUER forscht und lehrt seit 1996 am Musikwissenschaftlichen Seminar der Universität Heidelberg, seit 2007 als Akademischer Direktor. Zuvor war er nach einem Studium der Philosophie und Kunstgeschichte an den Universitäten Heidelberg und Paris (Frankreich) und einem anschließenden Musikwissenschaftsstudium in Berlin und Paderborn ab 1993 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Musikwissenschaftlichen Seminar Detmold/Paderborn. Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der italienischen Musikgeschichte des 16. und 17. Jahrhunderts, der französischen Musik des 17. und 18. Jahrhunderts sowie Aspekten der europäischen und amerikanischen Musikkultur in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Seit 20 Jahren leitet er am Musikwissenschaftlichen Seminar die „Marionettenoper“, bei der Studierende gemeinsam mit Lehrenden auf einer eigenen Bühne mit selbst gebauten Figuren jährlich wechselnde Stücke aufführen. Joachim Steinheuer ist zudem seit 2011 künstlerischer Leiter des Musikfestivals „Musica Insieme Panicale“ in Umbrien (Italien).

Kontakt: joachim.steinheuer@zegk.uni-heidelberg.de

Cardenio glaubt fälschlich, die von ihm geliebte Lucinda habe ihn verraten und sei die Ehe mit einem Grafensohn eingegangen, der einmal sein engster Freund war. Seitdem lebt er als wilder Mann im Gebirge, und nichts und niemand ist vor seiner unberechenbaren Raserei sicher – fraglos hatte für die Figur des Cardenio schon bei Cervantes der Liebeswahnsinn des rasenden Roland bei Ariosto Pate gestanden. Über weite Strecken arbeitet d'Urfeys umfangreicher Text für Cardenios Monolog mit vielfältigen Metaphern, die durchgängig auf der Gegenüberstellung von Hitze und Kälte beruhen, so exemplarisch bereits im ersten Textabschnitt:

*Let the dreadful engines of eternal will,
the thunder roar and crooked lightning kill,
my rage is hot as theirs, as fatal too,
and dares as horrid execution do.
Or let the frozen North its rancour show,
within my breast far greater tempests grow;
despair's more cold than all the winds can blow.*

Lass die schrecklichen Waffen des ewigen Willens, / den Donner brüllen und den zackigen Blitz töten, / meine Wut ist heiß wie ihre, und ebenso verhängnisvoll, / sie ist so kühn wie die fürchterlichste Vollstreckung! / Lass andernfalls den eisigen Nordwind seinen Groll zeigen, / in meiner Brust entstehen noch weit heftigere Stürme, / denn die Verzweiflung ist kälter, als alle Winde blasen können.

In den ersten vier Versen vergleicht Cardenio seine Wut mit den zerstörerischen Gewalten von Donner und Blitz, denen sie sowohl hinsichtlich ihrer Hitze als auch ihrer tödlichen Wirkungen vergleichbar sei. Die Verse 5 bis 7 stellen dagegen den eisig kalten Nordwind vor, der noch von den Stürmen in Cardenios Innerem übertroffen werde, da die Verzweiflung („despair“) noch kälter sei als alle Winde zusammengenommen. Durchgängig ordnet Purcell in seiner Vertonung dem Bereich der Hitze die Dur-Tonarten F-Dur und C-Dur, dem Bereich der Kälte insbesondere die Moll-Tonart f-Moll zu. Dies wird mehrfach durch expliziten Wechsel der Tonartenvorzeichnung für einzelne Abschnitte deutlich gemacht, so erstmalig nach den ersten vier Versen in F-Dur, wo ein kurzes Zwischenspiel in der Continuostimme zum ersten f-Moll-Abschnitt für die drei Folgeverse hinleitet. Mit vielfältigen Mitteln sucht Purcell darüber hinaus, den Text in ganz plastischer Weise umzusetzen: mit ausgedehnten, raschen melismatischen Passagen auf hervorgehobenen Einzelworten wie „thunder“, „crooked“, „rancour“ oder „greater“, einem durchweg großen Ambitus der Singstimme mit häufigem Wechsel der Lage und gelegentlich großen Sprüngen wie etwa dem Dezimsprung zwischen „horrid“ und „and dares“, häufigem Wechsel im Deklamationstempo und Vielfalt der rhythmischen Gestaltung sowie nicht zuletzt gezieltem Einsatz von dissonanten Wendungen, insbesondere auf den Worten „fatal“ und „despair“. Auch die anschließenden Teile von Cardenios

Monolog sind in ähnlich prägnanter Weise vertont, so dass insgesamt eine höchst vielgestaltige Komposition entsteht, die den unkontrollierten Wechsel der Affekte und damit den Wahnsinn Cardenios eindrucksvoll hervortreten lässt.

Neben den bereits dargestellten Beispielen ließen sich noch weitere Linien jener literarischen Tradition nachzeichnen, in der Hitze und Kälte, Feuer und Eis als Metaphern für Liebeserfahrungen eingesetzt wurden. In Francesco Petrarca's „Canzoniere“ wie auch bei den italienischen und europäischen Petrarkisten des 16. und 17. Jahrhunderts spielt dieser metaphorische Komplex eine wichtige Rolle und führt zu vielfältigen, nicht selten gezielt antagonistischen oder auch paradoxen Formulierungen, noch pointierter dann sogar bei Giovanni Battista Marino und seinen konzeptistischen Nachfolgern. Trotz der intensiven musikalischen Rezeption vieler dieser Gedichte in einer großen Zahl von Madrigalen und Arien scheint es kaum zur Herausbildung einer konkret greifbaren musikalischen Topik hierfür gekommen zu sein: Für Kälte und Eis findet sich häufig verlangsamte Bewegung, nicht selten in Verbindung mit dissonanten Vorhaltbildungen oder Chromatik, für Hitze und Feuer dagegen umgekehrt rasche, zum Teil ausgedehnte melismatische Bewegung. Doch konnten Vorhaltbildungen wie auch Melismen in durchaus vergleichbarer Weise noch in einer Vielzahl von anderen semantischen Kontexten eingesetzt werden, insofern handelt es sich dabei nicht um wiedererkennbare, vom Kontext einer bestimmten Komposition unabhängige und damit feststehende Motivbildungen.

Tonrepetitionen als Zittern

Nur in einem einzigen Fall der Darstellung von Kälte und Frost wurde eine konkrete musikalische Idee von unterschiedlichen Komponisten aufgegriffen und damit zu einer Art von musikalischem Topos. In Jean-Baptiste Lully's tragédie en musique „Isis“ auf ein Libretto von Philippe Quinault aus dem Jahre 1677 steigt auf Befehl Junos eine Furie aus der Unterwelt empor, die den Auftrag erhält, die verhasste Rivalin Isis aus Rache für ihre Liebe zu Jupiter an die schrecklichsten Orte der Welt zu führen. Zu Beginn des vierten Aktes gelangen beide an den eisigsten Ort in Skythien („l'endroit le plus glacé de la Scythie“), wie es im Libretto heißt, wo sie von einem Chor frierender Einwohner mit den Worten begrüßt werden:

*L'hiver qui nous tourmente
S'obstine à nous geler,
Nous ne sçaurions parler
Qu'avec une voix tremblante.*

*Der Winter, der uns peinigt,
beharrt darauf, uns frieren zu lassen.
So können wir nicht sprechen
als mit zitternder Stimme.*

Lully verwendet für das im Text angesprochene Sprechen mit zitternder Stimme eine musikalische Chiffre, die aus repetierten, auf einer Silbe zu singenden Achtelnoten besteht und im ganzen Stück eingesetzt wird. In dem gänzlich homophonen Satz überwiegen Gruppen von je zwei repetierten Achteln pro Silbe, doch kommt es besonders an Versenden auch zu Wiederholungen von vier oder fünf Noten. Dadurch entsteht eine sehr ungewöhnliche, zwar gleichmäßige, aber gewissermaßen ständig stockende Art der Deklamation, durch die das von der Kälte verursachte Zittern sinnbildlich verdeutlicht wird. Lully war nicht der Erfinder solcher Tonrepetitionen für Zittern – einzelne Stellen finden sich nicht selten auf bestimmten Worten in unterschiedlichsten Kompositionen vor allem in Italien, wie etwa auf „et tremebat“ im einstimmigen „Stabat mater“ von Giovanni Felice Sances aus dem Jahre 1638. Doch war Lully der Erste, der dieses Stilmittel für einen wenn auch kürzeren vollständigen musikalischen Satz verwendete. Auch bei folgenden knappen Einwüfen des Chores im weiteren Verlauf der Szene setzte Lully diese Technik als Mittel der Charakterisierung ein, so dass die ganze Szene dadurch geprägt war.

Henry Purcell muss diesen Chor aus Lullys „Isis“ gekannt haben, denn als er 1691 seine Bühnenmusik für „King Arthur“ von John Dryden komponierte, griff er in „The Frost Scene“ in der zweiten Szene des dritten Aktes gezielt darauf zurück. Der Zauberer Osmond lässt einen „Prospect of Winter in Frozen Countries“ auf der Insel Island erscheinen, vor dem Amor auftritt und den allegorischen Cold Genius dazu auffordert, aufzuwachen und sich seiner Macht zu unterwerfen. Es folgt eine der berühmtesten musikdramatischen Szenen des 17. Jahrhunderts: Das langsame Erwachen des Cold Genius wird vorbereitet von einem Prelude in c-Moll, bei dem alle Streicher zunächst Gruppen von vier repetierten, mit sogenanntem Bogenvibrato auszuführenden Achteln spielen. Nach acht Takten setzt die vokale Bassstimme mit einem ebenfalls auf acht Takte ausgedehnten, fast durchgängig chromatischen Oktavgang aufwärts ein, der das allmähliche Erwachen und Aufstehen der Figur symbolisiert. Dabei werden die ersten drei der folgenden Verse vorgetragen und in Anlehnung an Lully meist zwei oder drei, an einer Stelle sogar sieben repetierte Achtel auf einer Textsilbe gesungen.

What Power art thou, who from below,
Hast made me Rise, unwillingly and slow,
From Beds of Everlasting Snow!
Sees't thou not how stiff, and wondrous old
Far unfit to bear the bitter Cold,
I can scarcely move, or draw my Breath:
Let me, let me Freeze again to Death.

Was für eine Macht bist Du, die Du mich aus der Tiefe /
hast aufstehen lassen, ganz gegen meinen Willen und
langsam, / aus einer Bettstatt von immerwährendem
Schnee? / Siehst Du nicht, wie ich, steif und wundersam

„Für Kälte und
Eis findet sich häufig
verlangsamte
Bewegung, für Hitze
und Feuer dagegen
umgekehrt rasche,
zum Teil ausge-
dehnte melismatische
Bewegung.“

gealtert, / ganz ungeeignet, die bittere Kälte zu ertragen,
mich kaum rühren oder Atem holen kann? / Lass mich,
lass mich doch wieder gefrieren zu Tode!

In den beiden mittleren Abschnitten für die drei Folgeverse erreicht die Singstimme sogar die kleine Terz über der Oktave in hoher Lage, doch schließt sich für den letzten Vers ein stufenweiser Dezimgang abwärts an, mit dem der Cold Genius wieder zum Ausgangspunkt zurückkehrt. Dieselbe Technik der Tonrepetitionen verwendet Purcell noch ein weiteres Mal im weiteren Verlauf der Szene für den Chorus of Cold People, und sogar der anschließende Tanz basiert auf den gleichen Figurationen.

Wiederverwendbarer musikalischer Topos

Ob Antonio Vivaldi Lullys „Isis“ oder Purcells „King Arthur“ gekannt hat, ist mehr als fraglich. Dennoch findet sich zu Beginn des ersten Satzes seines bekannten Violinkonzerts mit dem Titel „L'inverno“, dem vierten Konzert aus „Le quattro stagioni“, eine Passage, die deutlich macht, dass

in der Zwischenzeit die bei Lully und Purcell anzutreffende Motivik zu einem wiederverwendbaren musikalischen Topos für Zittern in der Kälte geworden war, wie der Anfangsvers des zugehörigen programmatischen Sonetts unmissverständlich deutlich macht.

Agghiacciato tremar tra nevi argenti
Al Severo Spirar d' orrido Vento,
Correr battendo i piedi ogni momento;
E pel Soverchio gel batter i denti;

Frostiges Zittern im eiskalten Schnee,
dabei bläst streng ein schrecklicher Wind,
beim Laufen schlagen die Beine ständig gegeneinander
und vor bitterer Kälte klappern die Zähne.

Der erste Vers schildert das durch den eisigen Frost hervorgerufene Zittern im tiefen Schnee, und Vivaldi ordnet diesen Worten das Anfangsritornell des ersten Satzes für die Tutti-Gruppe der Streicher zu. Zunächst setzt der Bass auf dem Grundton von f-Moll mit repetierten, staccato auszuführenden Achtelnoten allein ein, doch mit den Folgeinsätzen der anderen Stimmen baut sich ein herb dissonanter Sekundakkord auf, der durch die zusätzlichen Triller auf jeder Note in der Solovioline ab Takt 4 klanglich zusätzlich verfremdet wird. Besonders die Unterstimmen bewegen sich dabei in einem sehr engen Ambitus, der Bass nur in Halbtonschritten, und die fortlaufenden Dissonanzketten werden erst in Takt 12 für den Einsatz des ersten Solos mit einer regelrechten Kadenz abgeschlossen. Dieses Eingangsrornell erklingt im weiteren Verlauf des Satzes zwischen den verschiedenen Soloepisoden nur bruchstückhaft und wird im Schlussritornell, wo nun statt des Zitterns das im vierten Vers benannte Klappern der Zähne vor Kälte dargestellt werden soll, zu Sechzehntel- beziehungsweise Zweiunddreißigstelrepetitionen beschleunigt, so dass es nun in stark transformierter Form erklingt. Auch in den weiteren Sätzen des Konzerts werden winterliche Szenen musikalisch geschildert, so etwa das Schlittschuhfahren auf dem Eis, das Ausrutschen und Hinfallen und sogar das Einbrechen des Eises, doch scheint Vivaldi sich primär mit dem Anfang bewusst in eine zum Topos gewordene Tradition einzureihen.

Eine Darstellung von Hitze und Kälte, von Feuer und Eis für psychische Zustände wie auch für Naturschilderungen haben Komponisten in der Musik vor 1800 immer wieder unternommen, doch überwiegend kam es dabei zu Einzellösungen bei der Vertonung eines bestimmten Texts, wie in den dargestellten Beispielen bei Mozart, Blow und Purcell. Nur für das Zittern vor Kälte scheint sich für einen kürzeren Zeitraum ein bestimmter musikalischer Topos mit charakteristischer Motivik herausgebildet zu haben, der von so verschiedenen Komponisten wie Lully,

„Nur in einem einzigen Fall der Darstellung von Kälte und Frost wurde eine konkrete musikalische Idee von unterschiedlichen Komponisten aufgegriffen und damit zu einer Art musikalischem Topos.“

Purcell und Vivaldi in jeweils unterschiedlicher Gestalt eingesetzt wurde. In der Musik des 19. und 20. Jahrhunderts sollte es dann eine große Vielfalt an höchst unterschiedlichen Werken geben, in denen vor allem Schnee und Eis eine zentrale Rolle spielen, genannt seien hier nur Franz Schuberts „Die Winterreise“ und Ralph Vaughan Williams' „Sinfonia antarctica“. ●

"I FEEL IT BURN LIKE FIRE WITHIN ME"

HEAT AND COLD IN PRE-19TH CENTURY MUSIC

JOACHIM STEINHEUER

Ever since Antiquity, heat, fire and embers, like cold, snow and ice, have been viewed not just as factual conditions with measurable temperatures that are subject to the laws of physics, but – especially in portrayals of love – metaphorically as a literary topos for emotional experiences that was widely used in many different forms throughout history.

Composers of pre-19th century music also used heat and cold, fire and ice to describe emotional states as well as natural conditions, but they used their own particular devices to set a specific text to music. When Tamino sings his aria “Dies Bildnis ist bezaubernd schön” in Mozart’s “The Magic Flute”, there is a single passage alluding to the fire in the prince’s breast, and even there the allusion is brief. In contrast, the musical depiction of love’s madness in compositions of John Blow and Henry Purcell, whose lyrics thematise the antagonism of heat and cold, use strong contrasts of key and melody, which nevertheless represent unique compositional solutions.

Only the state of trembling with cold was apparently represented for a brief period by a musical topos with a characteristic motif: in the sung frost scenes of “Isis” and “King Arthur”, both Jean-Baptiste Lully and Henry Purcell use tone repetitions on individual syllables in an eighth-note movement as the musical equivalent of such trembling. At the beginning of his “L’inverno” concert from “The Four Seasons”, Antonio Vivaldi uses the same motif in his instrumental music and makes reference to it in the first verse of the accompanying programmatic sonnet. ●

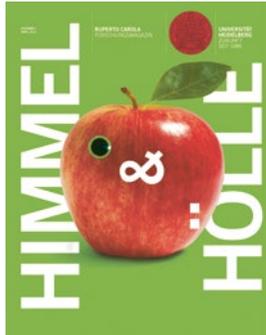
DR JOACHIM STEINHEUER has been a faculty member of Heidelberg University's Department of Musicology since 1996, and in 2007 became its academic director. He studied philosophy and art history at the universities of Heidelberg and Paris (France), and musicology in Berlin and Paderborn; in 1993 he accepted a position as research assistant at the Department of Musicology Detmold/Paderborn. His research interests are the history of 16th and 17th century Italian music, 17th and 18th century French music and aspects of European and American music culture in the first half of the 20th century. For the past 20 years, he has directed the "Puppet Opera" at the Department of Musicology, in which students and teachers perform a new piece every year on their own stage using self-made puppets. In 2011 Joachim Steinheuer also became the artistic director of the "Musica Insieme Panicale" festival in Umbria (Italy).

Contact: joachim.steinheuer@zegk.uni-heidelberg.de

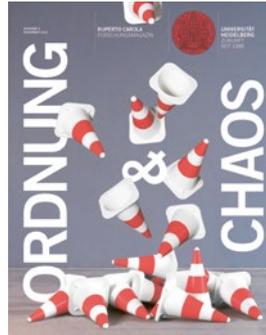
“Cold and ice are often represented by slowed movement, while heat and fire are brought to life by fast, sometimes extensive melismatic passages.”



ALT & JUNG
AUSGABE 1
OKTOBER 2012



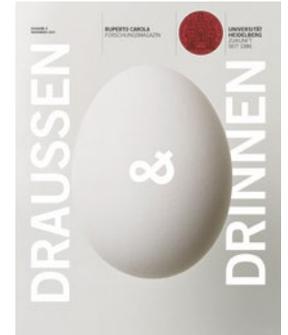
HIMMEL & HÖLLE
AUSGABE 2
APRIL 2013



ORDNUNG & CHAOS
AUSGABE 3
NOVEMBER 2013



KRIEG & FRIEDEN
AUSGABE 4
MAI 2014



DRAUSSEN & DRINNEN
AUSGABE 5
NOVEMBER 2014



GESUND & KRANK
AUSGABE 6
JUNI 2015



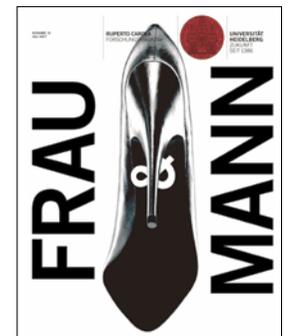
SCHATTEN & LICHT
AUSGABE 7
DEZEMBER 2015



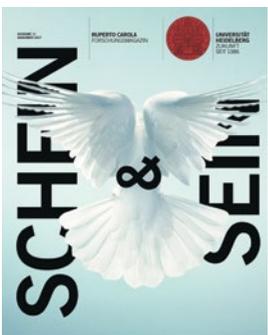
NORD & SÜD
AUSGABE 8
JULI 2016



STOP & GO
AUSGABE 9
DEZEMBER 2016



FRAU & MANN
AUSGABE 10
JULI 2017



SCHEIN & SEIN
AUSGABE 11
DEZEMBER 2017



STADT & LAND
AUSGABE 12
JUNI 2018



HEISS & KALT
AUSGABE 13
DEZEMBER 2018