

# LICHTGEDANKEN

Das Forschungsmagazin

12

- WASSERCLUSTER DIE SUCHE NACH DER SAUBEREN LÖSUNG
- PORTRÄT DIE STIMME DER OPFER DES STALINISMUS
- UMFRAGE WAS KÖNNEN WIR UNS SPAREN – UND WAS NICHT?



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA



**DAS  
ELIXIER  
DES  
LEBENS**

---

# HOCHSCHUL INFOTAG

**SAMSTAG,  
13. MAI 2023**

ab 9:30 Uhr am Campus  
Ernst-Abbe-Platz, Jena

**ONLINE-  
INFOTAGE**

8. bis 12. Mai 2023



Illustrationen: macrovector/freepik, Foto Person: Christoph Worsch, Foto Campus: Jan-Peter Kasper

FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA

[www.uni-jena.de/infotage](http://www.uni-jena.de/infotage)





**Dr. Ute Schönfelder, Redakteurin**  
 Abteilung Hochschulkommunikation  
 der Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Foto: Anne Günther

#### HERAUSGEBER:

Abteilung Hochschulkommunikation/Bereich Presse  
 und Information im Auftrag des Präsidenten der Friedrich-  
 Schiller-Universität Jena

#### REDAKTION UND GESTALTUNG:

Katja Bär, Axel Burchardt (v.i.S.d.P.), Liana Franke,  
 Thomas Franke-Opitz, Sebastian Hollstein,  
 Janine Kalisch, Dr. Marco Körner, Stephan Laudien,  
 Dr. Ute Schönfelder, Irena Walinda, Laura Weißert,  
 Monika Paschwitz (Redaktionsassistentin)  
 Titelfoto: Jens Meyer

Grafisches Konzept: Timespin – Digital Communication  
 GmbH, Schenkstr. 7, 07749 Jena

#### ANSCHRIFT:

Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Fürstengraben 1, 07743 Jena  
 Telefon: 03641 9-401400  
 E-Mail: presse@uni-jena.de

#### GESAMTHERSTELLUNG:

Druckhaus Gera GmbH, Jacob-A.-Morand-Straße 16,  
 07552 Gera

INTERNET: www.lichtgedanken.uni-jena.de

ISSN: 2510-3849

ERSCHEINUNGSDATUM: Februar 2023

Nachdruck nur mit Genehmigung gestattet. Für unverlangt  
 eingesandte Manuskripte, Fotos u. Ä. wird keine Haftung  
 übernommen. Namentlich gekennzeichnete Artikel müs-  
 sen nicht mit den Auffassungen des Herausgebers und der  
 Redaktion übereinstimmen. Für den Inhalt sind die Unter-  
 zeichner verantwortlich. Zur besseren Lesbarkeit haben  
 wir in den Texten teilweise nur die männliche Sprachform  
 verwendet. Mit den gewählten Formulierungen sind jedoch  
 alle Geschlechter gleichermaßen angesprochen.

## Das Wasser wird knapp

Kennen Sie Ihren Wasserfußabdruck? Also, die Menge Wasser, die Sie täglich verbrauchen. Es sind über 5000 Liter – pro Person, jeden Tag, allein in Deutschland. Neben den rund 126 Litern, die Sie zum Trinken, Kochen, Waschen, Duschen verbrauchen, ist es vor allem das »virtuelle Wasser« für die Produktion und den Transport von Nahrungsmitteln und Konsumgütern, das dabei zu Buche schlägt. Für eine Tasse Kaffee müssen durchschnittlich 140 Liter, für ein T-Shirt aus Baumwolle rund 4000 Liter Wasser aufgewendet werden.

Wie die Luft zum Atmen, brauchen wir Wasser zum Leben. Deshalb haben wir dem Schwerpunkt dieser Ausgabe der LICHTGEDANKEN den Titel »Das Elixier des Lebens« gegeben. Doch die kostbare Ressource Wasser ist begrenzt. Eine »Transformation auf gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Ebene« im Umgang mit Wasser erachtet Umweltchemiker Prof. Dr. Michael Stelter als unerlässlich, um angesichts von Klimawandel und wachsendem Schadstoffeintrag der drohenden Wasserverknappung zu begegnen. Stelter ist Sprecher des neuen »Thüringer Wasser-Innovationsclusters« (ThWIC). Der interdisziplinäre Verbund aus Wissenschaft und Wirtschaft hat in diesem Monat in Jena seine Arbeit aufgenommen und zum Ziel, neue Wassertechnologien zu entwickeln und neue Wege für den gesellschaftlichen Umgang mit Wasser zu etablieren. Im LICHTGEDANKEN-Interview (S. 16) nimmt er eine Standortbestimmung vor und erklärt, warum Jena bereits heute ein Zentrum der Wasserexpertise ist.

In unserem Schwerpunkt stellen wir einige Themen des neuen Clusters

vor, beleuchten aber auch darüberhinausgehende Projekte, in denen sich Forschende unserer Universität mit Wasser befassen. So spricht der Vorsitzende des Thüringer Klimarates, der Hydrogeologe Prof. Dr. Kai Uwe Tottsche über die Folgen des Klimawandels für das Grundwasser (S. 28) und wir stellen Forschung vor, die Wasser als Rohstoff zur Gewinnung von »grünem« Wasserstoff nutzt (S. 32).

Das Bewusstsein für die Endlichkeit von Ressourcen bestimmt angesichts von Ukraine-Krieg und Energiekrise auch Forschung und Lehre an unserer Universität. In einer Umfrage (S. 40) berichten Forschende, worauf sie derzeit verzichten, aber auch darüber, was sie für unverzichtbar halten.

Der Krieg in der Ukraine und seine Folgen stehen im Mittelpunkt des Interviews (S. 38) mit der russischen Historikerin Irina Scherbakowa. Die Mitbegründerin der Menschenrechtsorganisation »Memorial«, die 2022 mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet wurde, ist derzeit Gastprofessorin an unserer Universität. Das Porträt stellt sie vor (S. 36).

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre und freue mich wie immer über Feedback, Anregungen oder Kritik. Sie erreichen das Redaktionsteam und mich unter: presse@uni-jena.de.

Jena, im Februar 2023



SCHWERPUNKT

# Das Elixier des Lebens

---

- 12 DER BLAUE PLANET**  
Wasser formt die Erde und ist die Grundlage des Lebens
- 16 VERZICHT ALLEIN GENÜGT NICHT**  
Interview mit Prof. Dr. Michael Stelter, Sprecher des Wasser-Innovationsclusters »ThWIC«
- 18 DIE SUCHE NACH DER SAUBEREN LÖSUNG**  
Forschende der Umweltchemie entwickeln neue Methoden der Wasseranalytik und -reinigung
- 22 WASSER IN ZAHLEN**  
Wasserwissen in Infografiken
- 24 DER SCHATZ IM DATENSEE**  
Forschende richten einen »Data Lake« ein, um wissenschaftliche Daten nachhaltig zu sichern
- 26 NARRATIVE SIND OFT WIRKUNGSVOLLER ALS STATISTIKEN**  
Wie sich das Thema Wasser in der Literatur Nordamerikas niederschlägt
- 28 KLIMAWANDEL IM UNTERGRUND**  
Interview mit Prof. Dr. Kai Uwe Totsche zu den Folgen des Klimawandels für das Grundwasser
- 31 EINE SOZIOLOGIE DES WASSERS**  
Neue Wege im Umgang mit der knapper werdenden Ressource Wasser
- 32 ENERGIE- UND HOFFNUNGSTRÄGER**  
Wasser als Rohstoff für »grünen« Wasserstoff
- 34 »WIR WOLLEN DIALOGRÄUME SCHAFFEN«**  
Der Wasser-Innovationscluster »ThWIC« bezieht Bürgerinnen und Bürger aktiv ein



FOTO: JENS MEYER

**18** | WASSERCLUSTER  
**DIE SUCHE NACH DER SAUBEREN LÖSUNG**



FOTO: JENS MEYER

**36** | PORTRÄT  
**DIE STIMME DER OPFER DES STALINISMUS**



FOTO: JENS MEYER

**40** | UMFRAGE  
**WAS KÖNNEN WIR UNS SPAREN – UND WAS NICHT?**



FOTO: JENS MEYER

**44** | DAS KALENDERBLATT  
**FAKTEN STATT LEGENDEN**



FOTO: JENS MEYER

**58** | HINTER DEN KULISSEN  
**»ES KANN KEIN KOMET GEWESEN SEIN«**



FOTO: JENS MEYER

**62** | REPORTAGE  
**ZEITREISEN IN DIE VERGANGENHEIT DER ERDE**

NACHRICHTEN

06 | Aktuelles aus dem Uni-Alltag

SCHWERPUNKT

10 | Das Elixier des Lebens

PORTRÄT

36 | Die Stimme der Opfer des Stalinismus

INTERVIEW

38 | »Nicht mehr wegschauen!«

NACHGEDACHT

39 | Multilateralismus am Ende?

GEDANKENAUSTAUSCH

40 | Was können wir uns sparen – und was nicht?

DAS KALENDERBLATT

44 | Fakten statt Legenden

TICKER

46 | Forschung kurz und knapp

THEMEN

48 | Farne haben »Schrott« im Erbgut

50 | Fächerflügler kennen keinen Schmerz

52 | Happy wife – happy life?

54 | Bedeutungsverlust sorgt für Wählerfrust

56 | Kollision mit Schlagseite

HINTER DEN KULISSEN

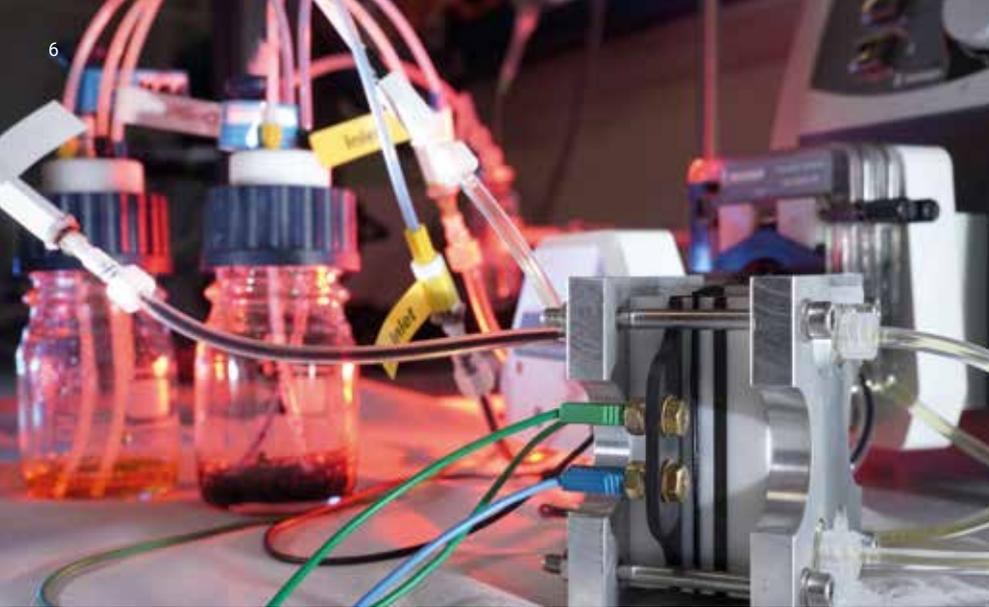
58 | »Es kann kein Komet gewesen sein«

PROJEKTE

60 | Kooperationen und Förderungen

REPORTAGE

62 | Zeitreisen in die Vergangenheit der Erde



Prototyp einer Redox-Flow-Batterie, die im Team von Prof. Schubert entwickelt wurde. · Foto: Jan-Peter Kasper

## ERC Advanced Grant

### Projekt zur Entwicklung nachhaltiger Energiespeicher ausgezeichnet

Die Energiewende kann nur dann gelingen, wenn der Strom, der auf ökologischem Weg produziert wird, zu jeder Tages- und Nachtzeit zur Verfügung steht. Dafür müssen passende Speicher entwickelt werden, die in unterschiedlicher Größe die gewonnene Energie aufnehmen und bei Bedarf wieder abgeben. An dieser »Batterie der Zukunft« arbeitet das Team um Prof. Dr. Ulrich S. Schubert. Sein neues Forschungsvorhaben »FutureBAT« wird nun vom Europäischen Forschungsrat (ERC) mit einem Advanced Grant gefördert. In den kommenden fünf Jahren erhält der Chemiker und Materialwissenschaftler

rund 2,5 Millionen Euro, mit denen acht Stellen für Forschende sowie zwei Stellen für Technikpersonal neu geschaffen werden können.

#### Motivation für die zukunftsrelevante Forschung

»Die Förderung durch einen ERC Advanced Grant beweist einmal mehr, dass wir mit unserer Forschung auf dem richtigen Weg sind, ressourcenschonende und nachhaltige Energiespeicher für die Welt von morgen zu schaffen«, sagt Schubert.

Prof. Schubert setzt bei seinen Forschungen auf die sogenannten Redox-Flow-Batterien. »Sie sind der einzige Batterietyp, bei dem Leistung und Kapazität intrinsisch unabhängig voneinander variiert werden können, wodurch sich dieser Batterietyp perfekt für skalierbare stationäre Anwendungen eignet«, erläutert er. Die Jenaer Innovation besteht darin, dass die neuen Batterien auf Basis wässriger Elektrolyte mit organischen Makromolekülen (Kunststoffen) arbeiten. Diese Batterie-Systeme ermöglichen den Einsatz kostengünstiger Dialysemembranen zusammen mit pH-neutralen Kochsalzlösungen als Elektrolyten. Die Systeme funktionieren, das haben die Untersuchungen im Labor bewiesen. Allerdings weisen sie bisher noch deutliche Einschränkungen hinsichtlich Kapazität, Lebensdauer und Temperaturstabilität auf.

Solche Einschränkungen sollen im neuen Projekt »FutureBAT« reduziert werden. Konkret will das Team Energiedichte, Temperaturfenster, Effizienz und Lebensdauer der Batterie verbessern und sie zugleich nachhaltiger und günstiger machen. AB

## Transformationszentrum für die Chemie

### Prof. Dr. Ulrich S. Schubert unterstützt das neue »Center for the Transformation of Chemistry«

Im Herbst 2022 ging es als einer von zwei Gewinnern aus dem Wettbewerb »Wissen schafft Perspektiven für die Region!« des Bundesministeriums für Bildung und Forschung des Freistaats Sachsen sowie des Landes Sachsen-Anhalt hervor – Anfang 2023 nahm das neue »Center for the Transformation of Chemistry« (CTC) in Delitzsch seine Arbeit auf.

Prof. Dr. Ulrich S. Schubert (Foto) ist Teil des CTC-Kernteam. »Wir sehen



Der Jenaer Chemiker und Materialwissenschaftler Ulrich S. Schubert. · Foto: Jens Meyer

es als Aufgabe und Herausforderung für die Zukunft, Chemie nachhaltiger zu machen«, unterstreicht er. In einer Zeit geprägt von Energiekrise und Klimawandel, seien Veränderungen nötig, sowohl bei den Rohstoffen als auch bei den Produktionsprozessen. Statt auf Gas und Öl solle man auf Abfallprodukte aus der Natur als Basischemikalien setzen. Kohlenstoffdioxid sollte nicht mehr emittiert, sondern als Rohstoff genutzt werden. sh

# Zwei Leibniz-Preise für Jenaer Forschende

Prof. Dr. Hartmut Rosa und Prof. Dr. Sarah Ellen O'Connor sind mit dem höchstdotierten deutschen Forschungsförderpreis ausgezeichnet worden

Die Welt befindet sich in einer ökonomisch-ökologischen Zangenkrise: Wirtschaftswachstum, wie wir es aus der Vergangenheit kennen, ist nicht mehr möglich, ohne die katastrophalen ökologischen Folgen weiter zu verschärfen. Umgekehrt erfordern Klimaschutz und der Erhalt natürlicher Ressourcen die Abkehr von bisherigen Wirtschafts- und Verkehrskonzepten. Wie die Gesellschaft der Zukunft unter diesen Bedingungen im Einklang mit dem Menschen aussehen kann und wie der Weg dorthin am besten zu schaffen ist, das erforscht Prof. Dr. Hartmut Rosa. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) stellt dem Soziologen der Universität Jena dafür in den kommenden sieben Jahren 2,5 Millionen Euro zur Verfügung: Rosa gehört zu den zehn Forschenden, die den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis 2023 erhalten.

»Der Preis ist eine ebenso große Freude wie Ehre für mich«, sagt Hartmut Rosa. »Ich sehe ihn als Auszeichnung der guten Arbeit an, die alle Mitarbeitenden und Kolleginnen im Arbeitsbereich Theorie und am gesamten Institut für Soziologie der Universität Jena, aber auch am Max-Weber-Kolleg in Erfurt in den letzten Jahren geleistet haben. Und ich will alle Kraft daransetzen, mit Hilfe der Fördergelder Wege für eine bessere menschliche Zukunft zu finden«.

## Von sozialer Beschleunigung, Resonanz und Eigentum

Hartmut Rosa ist seit 2005 Professor für Allgemeine und Theoretische Soziologie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena und seit 2013 zugleich Direktor des Max-Weber-Kollegs an der Universität Erfurt. Darüber hinaus ist er Sprecher des DFG-Sonderforschungsbereiches TRR 294 »Strukturwandel des Eigentums«, der die sozialwissenschaftliche Forschung an beiden Einrichtungen zusammen-

führt und auf andere Fachbereiche erweitert. »Dabei geht es nicht nur um die Verteilung von Einkommen und Vermögen, sondern um eine Vielzahl an Themen, etwa das Eigentum an Daten, an Gensequenzen, an globalen Ressourcen bis hin zum Wind und zu den Rohstoffen auf dem Mond, um die Frage, wem die Stadt gehört, oder ob Körperorgane eigentumsfähig sein können,« nennt Hartmut Rosa einige der aktuellen Forschungsthemen.

Die Forschungen und Publikationen des 57-jährigen Wissenschaftlers insbesondere zur sozialen Beschleunigung bzw. dynamischen Stabilisierung moderner Gesellschaften und zu einer Soziologie der Weltbeziehung bzw. zum Konzept der Resonanz sind in zahlreiche Sprachen übersetzt worden. Seine Stimme hat internationale Beachtung sowohl in der wissenschaftlichen Fachdiskussion als auch in einem weit darüber hinaus gehenden interdisziplinären und öffentlichen Kontext gewonnen. Seine Theorien und Thesen sind inzwischen selbst Gegenstand wissenschaftlicher Diskurse.

## Synthese komplexer Naturstoffe entschlüsseln

Die zweite Jenaer Preisträgerin 2023 ist die Chemikerin und Biologin Prof. Dr. Sarah Ellen O'Connor, die Direktorin des Max-Planck-Instituts für Chemische Ökologie in Jena und zugleich Honorarprofessorin für Biosynthesechemie an der Universität Jena ist. O'Connor erforscht Biosynthesewege in Pflanzen und nutzt Genfunktionen und enzymatische Wirkmechanismen sowie molekulargenetische und genomische Methoden, um die Synthese komplexer Naturstoffe zu entschlüsseln, wie etwa krebshemmende oder neuroaktive Stoffe. Ihrer Arbeitsgruppe ist es kürzlich gelungen, den Biosyntheseweg von Strychnin vollständig aufzuklären, was andere Teams über viele Jahre versucht hatten. AB



Der Soziologe Hartmut Rosa forscht an den Universitäten Jena und Erfurt. · Foto: Anne Günther



Chemikerin und Biologin Prof. Dr. Sarah Ellen O'Connor. · Foto: Sebastian Reuter

## Forschungssprecherin des Jahres 2022



FOTO: JENS MEYER

Katja Bär (Foto), Leiterin der Hochschulkommunikation der Universität Jena, ist zur Forschungssprecherin des Jahres 2022 in der Kategorie »Forschungsinstitute und Hochschulen« gewählt worden. Die Auszeichnung wurde von den drei Kommunikationsverbänden BdKom (Bundesverband der Kommunikatoren), DPRG (Deutsche Public Relations Gesellschaft) und GPRA (Gesellschaft der führenden PR- und Kommunikationsagenturen) vergeben. Deren Ziel ist es, unter Berücksichtigung aller Wissenschaftsdisziplinen beispielhafte Wissenschaftskommunikation auszuzeichnen. AB

## Hochschulmanager 2022

Wochenzeitung »Die Zeit« und CHE Centrum für Hochschulentwicklung zeichnen Universitäts-Präsident Walter Rosenthal aus

Prof. Walter Rosenthal ist zum »Hochschulmanager des Jahres 2022« gekürt worden. Die Jury sieht die Friedrich-Schiller-Universität sehr gut positioniert und begründet die Auszeichnung ihres Präsidenten damit, dass er maßgeblichen Anteil daran habe: »Walter Rosenthal hat die Universität Jena auf die Landkarte gesetzt«, war sich die Jury einig.

### Nachhaltigkeit zur Chefsache gemacht

Besonders betont wurden Rosenthals Leistungen bei der strategischen Stärkung der universitären Profillinien Light, Life, Liberty in der Forschung, der Einführung der Beiräte für die Fakultäten sowie der strategischen Neuausrichtung.

»Rosenthal steht für die angemessene Einbindung aller Hochschulmitglieder in diesen Veränderungsprozess. Er hat dazu auch große Entscheidungsfreude und Durchsetzungsfähigkeit bewiesen«, heißt es von der Jury. Außerdem habe der Präsident die bauliche Ent-

wicklung der Universität vorangetrieben und Nachhaltigkeit zur Chefsache gemacht. Ein von ihm eingesetztes »Green Office« diene als zentrale Koordinierungsstelle der Nachhaltigkeitsstrategie der Universität. Dabei sei er vor allem Ideengeber und leiste Vernetzungsarbeit, um Projekte voranzutreiben und ihren langfristigen Erfolg sicherzustellen. KB



FOTO: JENS MEYER

## Sieg im Science Battle

Im Bild links bejubeln Moderatorin Anne Dünger (v. l.), Physiker und Informatiker Felix Wechsler, Medizinerin Paulina Fuentes Zacarias, Psychologe Dr. Jürgen Kaufman, Mikrobiologin Dr. Katrin Fröhlich, Geomikrobiologin Rachael Akinyede, Philosoph Prof. Dr. Matthias Perkams und Moderator Jack Pop den Gewinn der zweiten Runde des Science Battle der European Campus of City Universities (EC2U) am 30. September 2022. Das Jenaer Team setzte sich gegen Forschende aus Coimbra (Portugal), Iași (Rumänien) und Salamanca (Spanien) durch und tritt nun in diesem Jahr im Finale gegen das Team aus Pavia (Italien) an, das die erste Runde 2021 gewonnen hatte. US



FOTO: JENS MEYER



Ein historischer Herbarbogen in der Bibliothek des Herbarium Haussknecht. · Foto: Jan-Peter Kasper

## Neues Senckenberg-Institut kommt nach Jena

Herbarium Haussknecht wird Teil des Moduls Collectomics im neuen Senckenberg-Forschungsvorhaben

Die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz hat sich für das Erweiterungsvorhaben »Anthropocene Biodiversity Loss« der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung ausgesprochen. Gemeinsam mit der Universität Jena wird

im Rahmen dieses Vorhabens ein neues Senckenberg-Institut in Jena etabliert. Wesentlich dafür ist die langfristige Sicherung und Nutzung des Herbarium Haussknecht – mit etwa 3,5 Millionen Pflanzenbelegen eines der bedeutendsten

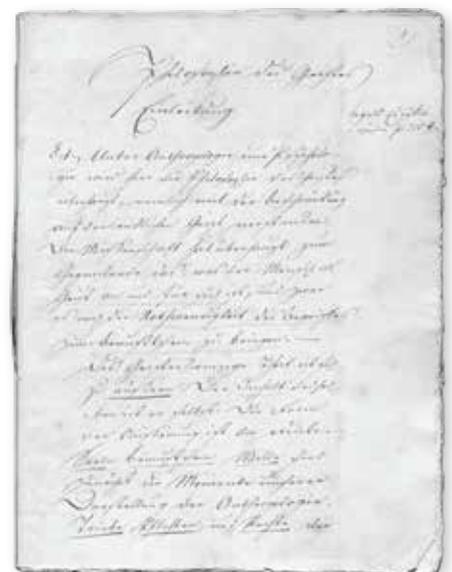
europäischen Herbarien überhaupt. Zwei Professuren werden neu eingerichtet, was den Standort Jena und das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung Halle-Jena-Leipzig weiter stärkt. Jördens

## Philosophie des Geistes

Jenaer Philosoph Klaus Vieweg entdeckt bislang nicht ausgewertete Vorlesungsmitschriften eines Hegel-Schülers

Der Fund bisher nicht ausgewerteter Vorlesungsmitschriften in der Diözesanbibliothek des Erzbistums München und Freising eröffnet neue Zugänge zum Denken des Philosophen Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770–1831). Der Jenaer Hegel-Biograph und -Forscher Prof. Dr. Klaus Vieweg fand in der Bibliothek fünf Archivkartons mit eng beschriebenen Kladden und Papieren, die seit fast 200 Jahren von der Forschung nicht näher betrachtet wurden. Die rund 4000 Seiten umfassenden Mitschriften stammen aus der Feder von Friedrich Wilhelm Carové

(1789–1852), einem der ersten Hegel-Schüler an der Universität Heidelberg. Der katholische Schriftsteller, Publizist und Politiker war einer der führenden Intellektuellen seiner Zeit. Die Handschriften umfassen fast alle Teile von Hegels enzyklopädischer Architektonik, darunter eine schon lange gesuchte Mitschrift einer Ästhetik-Vorlesung in Heidelberg, über die es bisher noch keine anderen Unterlagen gibt. Sie werden nun im Rahmen eines mehrjährigen wissenschaftlichen Projekts für eine Edition vorbereitet. Hinterberger



Erste Seite der Mitschrift zu Hegels Vorlesung von Friedrich Wilhelm Carové. · Foto: Archiv und Bibliothek des Erzbistums München und Freising



Wassertropfen an einer glatten Oberfläche. - Foto: Jens Meyer

SCHWERPUNKT

## Das Elixier des Lebens

---

### Warum wir Wasser brauchen und wie wir es schützen

Ohne Wasser kann kein Lebewesen existieren. Das gilt für den einfachsten Einzeller ebenso wie für uns Menschen. Zwar gibt es auf der Erde jede Menge davon: Mehr als zwei Drittel ihrer Oberfläche ist von Wasser bedeckt. Trotzdem ist Wasser weltweit eine knappe und bedrohte Ressource. Aktuell haben 2,2 Milliarden Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Und auch in Deutschland gefährden Klimawandel und zunehmender Schadstoffeintrag die Verfügbarkeit und Qualität unserer existenziellen Lebensgrundlage. Dem wollen Forschende der Universität Jena und ihre Partnerinnen und Partner im neuen Thüringer Wasser-Innovationscluster begegnen: In dem interdisziplinären Verbund entwickeln sie neue Technologien und Konzepte für einen nachhaltigeren Umgang mit der kostbaren Ressource Wasser und tragen diese in Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.

# Der blaue Planet

Aus der Ferne des Weltalls betrachtet, leuchtet unsere Erde in tiefem Blau. Das verdankt sie dem Wasser, das den überwiegenden Teil ihrer Oberfläche bedeckt. Wasser kommt auch auf anderen Himmelskörpern, in anderen Planetensystemen und Galaxien vor, doch hier, auf unserem »blauen Planeten«, findet es sich in großer Menge in flüssigem Zustand. Diesem kosmischen Umstand verdanken wir unsere Existenz. Ohne flüssiges Wasser hätte sich das Leben, wie wir es kennen, nicht entwickeln können. Doch woher stammt das Wasser auf der Erde und was macht gerade diese außergewöhnliche chemische Verbindung zum »Elixier des Lebens«?

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Geht man dem Ursprung des Wassers im Universum nach, so muss man bis zu seinem Anfang gehen. In den ersten Sekunden nach dem Beginn des Universums kondensierten aus der sich bildenden Materie Wasserstoffatomkerne aus – die positiv geladenen Protonen. Unmittelbar danach begannen sich Protonen, negativ geladene Elektronen und neutrale Neutronen zu den Elementen Helium, Lithium und Beryllium zu verbinden. Alle anderen, schwereren Elemente brauchten für ihre Entstehung die Mithilfe der Schwerkraft: Erst als sich Gaswolken gebildet und Materie zu Sternen verdichtet und erhitzt hatte, konnten auch schwerere Elemente entstehen. Bis heute jedoch besteht fast die gesamte Masse des Universums aus den Gasen Wasserstoff (rund drei Viertel) und Helium (rund ein Viertel). Als dritthäufigstes Element kommt Sauerstoff vor. Da Helium ausgesprochen reaktionsträge ist, ist Wasser die chemische Verbindung der beiden häufigsten Elemente, die überhaupt miteinander reagieren können. Dass Wasser im Universum entsteht, ist also erst einmal nicht verwunderlich.

## Der Weg des Wassers auf die Erde

Wie es aber auf die Erde gelangte, ist bis heute nicht sicher geklärt. Die wahrscheinlichste Möglichkeit ist, dass Wasser durch Einschläge von Asteroiden, Meteoriten und Kometen aus kalten, sonnenfernen Regionen zu uns kam und sich in der Frühphase der Erdentstehung vor rund viereinhalb Milliarden Jahren zunächst als Dampf in der Atmosphäre ansammelte. Als sich die Erde ausreichend abgekühlt hatte, regnete es ab und die entstehenden Ozeane machten die Erde zu dem, was sie bis heute ist: dem blauen Planeten. Mehr als zwei Drittel der Planetenoberfläche ist von Wasser bedeckt. Und auch die Landmassen sind zum Großteil von Wasser geformt: Flüsse schichten Sedimente um, tragen Gebirge ab und schneiden Täler ins Land.

## In welchen Formen kommt Wasser auf der Erde vor?

Das Wasser, das unseren Planeten prägt, ist ständig in Bewegung. Es verteilt sich zwischen der Erdoberfläche und der Atmosphäre, es verdunstet und kondensiert in einem stetigen Kreislauf. Auf der Erde kommt es in allen drei Aggregatzuständen vor: als Eis, als Flüssigkeit und als Dampf. Der geringste Teil, nur etwa ein tausendstel Prozent, verteilt sich als Dampf in der Atmosphäre, dort hat er aber einen enorm großen Einfluss: Wasserdampf sorgt für Niederschläge und wirkt als natürliches Treibhausgas, es hält die Temperaturschwankungen auf der Erde gering und schirmt in Form von Wolken intensive Sonneneinstrahlung ab.

Ein etwas größerer, aber mit rund zwei Prozent insgesamt ebenfalls kleiner Anteil des irdischen Wassers ist gefroren. Diese »Kryosphäre« in den Polregionen der Erde und den Gletschern hatte während der zurückliegenden Eiszeiten ein deutlich größeres Ausmaß als heute: Während der letzten Eiszeit lag der Meeresspiegel deshalb bis zu 100 Meter tiefer als heute. Das gefrorene Wasser enthält rund drei Viertel des gesamten Süßwasserreservoirs der Erde, das meiste davon befindet sich in der Antarktis, wo es einen mehrere Tausend Meter dicken und mehrere Hunderttausend Jahre alten Eisschild bildet.

Ein Boot unterwegs in der Paradise Bay in der Westantarktis. Der Eisschild an den Polen der Erde enthält einen großen Anteil des weltweiten Süßwasservorrats. Doch nur rund zwei Prozent des Wassers auf der Erde liegt in gefrorenem Zustand vor. · Foto: Christina Braun



### Chemische Besonderheiten von Wasser

Trotz seiner weiten Verbreitung ist Wasser – chemisch betrachtet – eine absolute Ausnahmeerscheinung. Es verhält sich in vielen Eigenschaften anders als erwartet und anders als vergleichbare Verbindungen. Diese »Anomalie« führt beispielsweise dazu, dass Wasser in gefrorenem Zustand eine geringere Dichte aufweist als im flüssigen. Das lässt sich unter anderem daran erkennen, dass gefrorenes Eis auf flüssigem Wasser schwimmt und nicht untergeht. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass Gewässer bei Temperaturen unter Null zuerst an der Oberfläche zufrieren und nicht am Boden. Das heißt, ohne die Anomalie des Wassers gäbe es weder Eisschollen, noch könnte man auf einem gefrorenen See Schlittschuh laufen. Vor allem aber sähe das Leben im Wasser ganz anders aus, wenn Fische, Lurche oder Pflanzen nicht am Boden eines Gewässers überwintern könnten.

Das Wassermolekül  $H_2O$  ist gewinkelt und strukturell vom Tetraeder abgeleitet. Ein Tetraeder besteht aus vier gleichseitigen Dreiecken als Seitenflächen und vier Ecken, wobei sich beim Wassermolekül das Sauerstoffatom in der Mitte befindet und die vier Ecken von je zwei Wasserstoffatomen und je zwei Elektronenpaaren des Sauerstoffs besetzt sind. Diese Ladungsverteilung führt dazu, dass sich sogenannte Wasserstoffbrücken ausbilden – die einzelnen Wassermoleküle ordnen sich mit ihren jeweiligen Nachbarn zu einem Verband an. Die Wasserstoffbrücken halten die Moleküle lose zusammen und verhindern, dass sie sich in wässriger Phase völlig ungeordnet und frei bewegen. Das lässt sich beispielsweise als Oberflächenspannung beobachten: Wasser bildet bis zu einem gewissen Volumen runde Tropfen und fließt nicht einfach auseinander; kleine Insekten können auf einer Wasseroberfläche entlanglaufen und sinken nicht ein. Auch die hohe Schmelz- und Siedetemperatur von Wasser resultiert aus dieser chemischen Besonderheit. Zum Vergleich: Methan, das eine ähnliche Molekülgröße wie Wasser und ebenfalls eine tetraedrische Struktur aufweist, siedet bereits bei minus 162 °C. Der Grund: Es bildet keine Wasserstoffbrücken.

Vollends geordnet ist Wasser in seiner festen Form, als Eiskristall. Jedes Molekül ist mit jeweils vier benachbarten Molekülen fest verbunden, wodurch ein regelmäßiges Netzwerk mit einem sechseckigen Grundmuster entsteht. Das ist auch der Grund, warum Eiskristalle – Schneeflocken zum Beispiel – so einzigartig wie in ihrer Form auch sind, immer genau sechs Zacken haben.

Und nicht zuletzt sind die Wasserstoffbrücken auch in anderen Molekülen wirksam, etwa in den großen Biomolekülen, aus denen das irdische Leben besteht. So bleiben Eiweiße in definierten Strukturen gefaltet und DNA-Stränge bilden die berühmt gewordene Doppelhelix – Wasserstoffbrücken machen so die molekularen Grundprozesse in lebenden Zellen erst möglich.



Dank seiner Wasserstoffbrücken – der Wechselwirkung der Wassermoleküle miteinander – besitzt Wasser eine hohe Oberflächenspannung. Diese zeigt sich unter anderem daran, dass Wasser Tropfen bildet. · Foto: Jan-Peter Kasper

### Quelle des Lebens und der menschlichen Zivilisation

Es gibt kein Lebewesen auf der Erde, das ohne Wasser auskommt. Nicht nur ist flüssiges Wasser die Grundvoraussetzung für sämtliche Lebensvorgänge in den Zellen: Es ist Reaktionsraum, Transportmedium und Transportmittel für Nährstoffe und Stoffwechselprodukte. Es war auch die Wiege des Lebens selbst; den überwiegenden Zeitraum seit seiner Entstehung vor mehr als drei Milliarden Jahren hat das Leben ausschließlich im Wasser stattgefunden. Bis heute ist Wasser der mit Abstand größte Lebensraum auf der Erde und beherbergt Millionen von Arten.

Auch wir Menschen kommen ohne Wasser nicht aus. Es ist unser wichtigstes Lebensmittel – ohne Wasser zu trinken, können wir nur wenige Tage überleben. Wir brauchen es zum Waschen, für die Landwirtschaft, für die Industrieproduktion, zur Energiegewinnung, für Verkehrswege und vieles mehr. Die Anfänge der menschlichen Zivilisation lagen an großen Flüssen: an Euphrat und Tigris, am Nil, an Indus und Jangtse. Und bis heute haben die meisten unserer Städte einen Zugang zu einem Fluss oder einem Meer.

**Wasser bildet den größten Lebensraum der Erde. Der umfasst nicht nur die Ozeane, die mehr als zwei Drittel der Erdoberfläche bedecken, sondern auch Flüsse, Seen oder Sümpfe. Selbst in der kleinsten Wasserpfütze wimmelt es von Leben. Diese Medusen sind nicht in ihrem natürlichen Lebensraum, sondern im Phyletischen Museum der Universität Jena fotografiert worden. · Foto Anne Günther**

Dieses Foto der Erde hat die Besatzung der NASA-Mission »Apollo 17« im Jahr 1972 auf dem Weg zum Mond gemacht. Es ist als »Blue Marble« weltweit bekannt. · Foto: NASA

### The »Blue Marble«

Auch wenn es von der kosmischen Außenperspektive so scheint, natürlich ist Wasser nicht wirklich blau, sondern transparent und farblos. Dass es dennoch blau erscheint, resultiert aus verschiedenen Effekten. Zum einen absorbieren seine Moleküle vor allem den langwelligen (roten) Anteil des Sonnenlichts. Wenn weißes Licht, das alle Farben des Lichtspektrums vereint, auf Wasser trifft, wird mit zunehmendem Weg, den das Licht durch das Wasser nimmt, immer mehr des Rotanteils herausgefiltert. Zum anderen wird der verbleibende Anteil des Lichts an Schwebeteilchen im Wasser gestreut und zurück zur Oberfläche geworfen: Dadurch erscheint das Wasser blau.



# Verzicht allein genügt nicht

Zum 1. Februar ist der »Thüringer Wasser-Innovationscluster« (ThWIC) gestartet – ein interdisziplinärer Verbund aus Wissenschaft und Wirtschaft. Das Ziel: neue Wassertechnologien zu entwickeln und Wege für den gesellschaftlichen Umgang mit der knapper werdenden Ressource zu finden. Im Interview nimmt »ThWIC«-Sprecher Prof. Dr. Michael Stelter eine Standortbestimmung vor und erklärt, warum Jena bereits heute ein Zentrum der Wasserexpertise ist.

INTERVIEW: UTE SCHÖNFELDER

## **Sie haben den Innovationscluster »ThWIC« initiiert und maßgeblich gestaltet. Warum war es Ihnen wichtig, das Thema Wasser in den Fokus zu rücken?**

Wir haben uns bereits seit einigen Jahren hier am Lehrstuhl auf Wasserforschung spezialisiert und einiges an Expertise aufgebaut. Mit der themenoffenen Ausschreibung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung haben wir die Chance gesehen, diese Arbeit auf ein ganz neues Niveau zu bringen und als einen interdisziplinären Forschungsschwerpunkt zu verstetigen. Dass wir unter 120 Konsortien, die eine Bewerbung für einen solchen Zukunftscluster eingereicht haben, nun zu den wenigen geförderten gehören, zeigt, dass wir mit dieser Themenwahl nicht ganz falsch lagen.

## **Woher rührt Ihr wissenschaftliches Interesse an Wasser?**

Unter anderem von den immer deutlicher sichtbar werdenden Folgen des Klimawandels. Ich komme aus dem Erzgebirge und dort wie auch andernorts gab es in den vergangenen Jahren Starkregenereignisse und Fluten, die sehr eindrücklich gezeigt haben, was Wasser für eine Gewalt haben kann. Und auf der anderen Seite sieht man im Wald, was passiert, wenn das Wasser fehlt. Diese Dinge haben aber sicher nicht nur mir die Augen geöffnet, wie existenzbestimmend das Wasser für uns und unsere Umwelt ist.

Ich betreibe seit Jahren Forschung zu Energie- und Umwelttechnik, stets mit einem Anteil an Techniksoziologie. Dabei habe ich immer wieder festgestellt, dass es nicht unbedingt die faszinieren-

den technischen Lösungen sind, die im Fokus der öffentlichen Debatten stehen. Stattdessen rücken Ängste vor den Risiken neuer Techniken in den Vordergrund, die Sorge vor Verzicht und der Notwendigkeit, das eigene Verhalten zu ändern. Man konnte dies bei den erneuerbaren Energien sehr gut beobachten. Und meine Befürchtung war schon früh, dass das beim Thema Wasser angesichts von zunehmender Wasserknappheit und Klimawandel ebenso passieren könnte. Ich denke, wir können aus den Versäumnissen der Energiewende für das Wassermanagement viel lernen und vermeiden, die gleichen Fehler zu wiederholen. Wir müssen neben aller Technik auch die Gesellschaft einbeziehen, und das macht das Thema »Wasser« wissenschaftlich so interessant.

## **Welche Ziele verfolgen Sie im Cluster?**

Wir wollen den Standort Jena zu einem Zentrum für Wasserforschung machen, aus dem relevante wirtschaftliche Produkte und Leistungen hervorgehen. Künftig soll man Jena nicht nur als Optik-Standort wahrnehmen, sondern auch als Zentrum der Wasserexpertise. Dabei setzen wir auf die einzigartige Stärke von Jena: seine Kooperationskultur. Denn neben der Universität und der Ernst-Abbe-Hochschule sind auch starke außeruniversitäre Forschungseinrichtungen wie das Fraunhofer IKTS und das IOF sowie das Leibniz-IPHT und zahlreiche Firmen an »ThWIC« beteiligt, die zum Teil heute bereits weltweit führende Lösungen für die Wassertechnologie bereithalten. Doch bisher fehlte dafür die inhaltliche Klammer, und es fehlte

die Verbindung vor allem zu den Gesellschaftswissenschaften. »ThWIC« bietet diesen Rahmen jetzt. Denn es reicht ja nicht, nur Wasserforschung zu betreiben. Wir brauchen eine Transformation auf gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Ebene.

## **Wie wird das im Cluster umgesetzt?**

Im Cluster gibt es 22 Einzelprojekte, die sich auf drei Zielrichtungen verteilen: Erstens wollen wir Methoden entwickeln, mit denen Mikroschadstoffe aus dem Wasser entfernt werden können, die bisher in Kläranlagen nicht erfasst werden. Und wir wollen den Zustand von Wässern in seinen Systemen, etwa in Flüssen, Seen oder Abwasserleitungen, digital und in Echtzeit messen können (siehe S. 18).

Das zweite Ziel ist die Etablierung eines Wasser-Assessments, das heißt, wir wollen Wasser neu und besser bewerten können, um politische Entscheidungen zur Wassernutzung auf eine rationale Basis zu stellen. Und drittens wollen wir moderne, digitale und klassische Tools entwickeln, um die Öffentlichkeit und die Wirtschaft mit aktuellen und grundlegenden Herausforderungen beim Thema Wasser vertraut zu machen (siehe S. 34).

## **Ist das Thema Wasser außerhalb der Wissenschaft schon hinreichend auf der Agenda?**

Ich glaube, wir sind jetzt gerade an einem Punkt, an dem vielen Menschen bewusst wird, dass wir uns darum kümmern müssen und an dem das Verständnis wächst, dass das Thema uns alle betrifft. Wir sehen die Trockenheit und die Folgen des Klimawandels ja di-



Michael Stelter ist Professor für Technische Umweltchemie der Universität Jena und stellvertretender Leiter des Fraunhofer Instituts für Keramische Technologien und Systeme sowie einer von zwei Sprechern des neuen Wasserclusters »ThWIC«. · Foto: Jürgen Scheere

rekt vor der Haustür oder die Folgen der Flutkatastrophe 2021 im Ahrtal. Wir sehen am Beispiel der Tesla Gigafactory in Brandenburg, welche Verwerfungen entstehen können, wenn wir Arbeitsplätze gegen die Ressource Wasser aufrechnen. Da besteht deutlich Handlungsbedarf. Noch können wir handeln und das sollten wir tun. Aber dazu ist es wichtig, die Situation zu erklären und die Menschen in die Lage zu versetzen, informierte Entscheidungen zu treffen. Übrigens ist beim Thema Wassersparen die Industrie oft schon weiter als die Bevölkerung.

#### **Inwiefern?**

Industrieunternehmen sind heute nicht mehr konkurrenzfähig, wenn sie nicht nachhaltig produzieren. Für Investoren wird Nachhaltigkeit immer wichtiger. Und die meisten Firmen haben beim Thema CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ihre Lektion gelernt. Es ist für Stakeholder inzwischen entscheidend, nicht nur CO<sub>2</sub> einzusparen, sondern auch Wasser, denn das ist eine endliche Ressource. Und gerade im Bereich der Lebensmittelindustrie, der Papierindustrie, bei der Produktion von Wasch- und Reinigungsmitteln wird aktuell noch sehr viel Wasser verbraucht. Da sucht man nach Möglichkeiten, die Wasserbilanz zu verbessern – aus wirtschaftlichen Erwägungen,

aber auch, weil sich sonst Produkte nicht mehr verkaufen lassen.

#### **Aber Wassersparen allein ist sicher nicht die Lösung.**

Richtig. Wir können und sollten natürlich Wasser möglichst sparsam verbrauchen, so wie wir aktuell auch versuchen, Energie möglichst sparsam zu nutzen. Aber wir werden – wie beim Thema Energie – die Probleme nicht allein durch Verzicht lösen können, sondern müssen neue, nachhaltige Technologien entwickeln, die die Ressourcen schonen. In Mitteleuropa und Thüringen haben wir die Situation, dass es eigentlich nicht zu wenig Wasser gibt. Wir haben es aber teilweise zur falschen Zeit. In anderen Regionen der Welt fehlt es tatsächlich an Wasser, da braucht es technologische Lösungen und Investitionen, die Geld kosten, um etwa Meerwasser zu entsalzen. Das erfordert ganzheitliche Strategien.

#### **Welche Impulse und Innovationen können von »ThWIC« für ein globales Wassermanagement ausgehen?**

Zunächst einmal Erkenntnisgewinne. Zum Beispiel ist die Eigentumsfrage bei Wasser international ganz unterschiedlich geregelt. Es gibt Länder, in denen sind Wasserressourcen Privateigentum und werden wie geschäftliche Ressourcen behandelt. In anderen

Ländern ist Wasser dagegen gemeinfrei, was oft dazu führt, dass sich niemand darum kümmert und die Wasserqualität entsprechend gering ist. In Deutschland liegen wir irgendwo in der Mitte. Und genau solche Unterschiede und Perspektiven wollen wir uns im »ThWIC« interdisziplinär anschauen und analysieren. Und wir wollen unsere Technologien, die wir zum Beispiel zur Wasserreinigung entwickeln, nicht nur für Mitteleuropa sondern auch für andere Weltregionen einsetzbar machen. Eine Grundvoraussetzung dafür wird sein, dass diese ausschließlich mit erneuerbaren Energien funktionieren.

#### **Wie gehen Sie selbst nachhaltig mit Wasser um? Und was kann jeder Einzelne im Alltag tun, um nachhaltiger zu leben?**

Das zeigt ein ganz alltägliches Beispiel: Wir versuchen, nur noch Leitungswasser zu trinken. Uns ist klar geworden, welches Geschenk es ist, dass wir hier in Deutschland das Wasser ohne Bedenken direkt aus der Leitung trinken können. Das Gleiche gilt für den Kauf von Pflegeprodukten, wo ich – und das kann ich auch für meine Familie sagen – bewusster darauf achte, dass diese kein Mikroplastik enthalten. Das sind persönliche Konsumentscheidungen, die jeder und jede Einzelne treffen kann. ■



## Die Suche nach der sauberen Lösung

Klares sauberes Wasser, direkt aus der Leitung, verfügbar in jedem Haushalt. Was von den meisten mittlerweile als Selbstverständlichkeit angesehen wird, ist genau das gerade nicht: selbstverständlich. Denn Klimawandel, Industrie und Landwirtschaft und nicht zuletzt unsere Lebensweise gefährden die kostbare Ressource. Chemikerinnen und Chemiker suchen im Wassercluster »ThWIC« nach neuen Wegen, Schadstoffe im Abwasser aufzuspüren, zuverlässig zu entfernen und so die Qualität unseres Trinkwassers nachhaltig zu sichern.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Aus der Dusche, der Waschmaschine, der Toilettenspülung – tagtäglich fließen allein in Deutschland 27 Millionen Kubikmeter Abwasser in die Kanalisation. Rund 96 Prozent davon werden in Kläranlagen wiederaufbereitet. Mechanische und biologische Reinigungsverfahren entfernen Unrat, Kies und Sand, Fette und Öle, aber auch gelöste organische Substanzen, Schwermetalle, Nitrate und Phosphate. Rund zehn Milliarden Kubikmeter werden jedes Jahr in den etwa 10000 Kläranlagen in Deutschland gereinigt und gelangen zurück in den natürlichen Wasserkreislauf.

Doch nicht für alle im Abwasser vorkommenden Substanzen und Rückstände gibt es in den bestehenden Kläranlagen eine saubere Lösung. Viel-

mehr nimmt die Zahl und Menge bislang unberücksichtigter Schadstoffe im Abwasser stetig zu, wie Dr. Patrick Bräutigam betont.

### **Medikamente, Pestizide, Antibiotika – immer mehr Schadstoffe im Abwasser**

»Hier stehen wir vor einem wachsenden Problem«, sagt der Chemiker vom Institut für Technische und Umweltchemie der Universität Jena und dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme. »Vor allem Medikamentenrückstände, Antibiotika, Pestizide aus der Landwirtschaft sowie Industriechemikalien lassen sich mit den bisherigen Anlagen oft nicht oder nur marginal entfernen.«

Oftmals ist das, was durch die Kanalisation in den Klärwerken ankommt, ein wahrer Chemie-Cocktail. Weltweit werden immer mehr und immer neue Substanzen in den Verkehr gebracht und landen damit potenziell auch im Abwasser. In der EU sind derzeit rund 100000 verschiedene Chemikalien zugelassen. Sie stecken in Kunststoffen, Arzneimitteln und Pflegeprodukten, in Textilien und Papierbeschichtungen. »Viele davon kommen in sehr geringen Konzentrationen vor und lassen sich im Abwasser bislang nicht wirksam entfernen«, so Bräutigam. Mit der immer älter werdenden Bevölkerung wachse beispielsweise die Menge an Arzneimittelrückständen stetig; bis zum Jahr 2045 wird der Medikamentenverbrauch allein in Deutschland, laut Entwurf der

**Bild links: Umweltfreundlich, kostengünstig und gesundheitlich unbedenklich – das Trinkwasser in Deutschland. Doch neue Mikroschadstoffe belasten zunehmend den Wasserkreislauf. · Foto: Jan-Peter Kasper**

Bundesregierung zur Nationalen Wasserstrategie, um 70 Prozent zunehmen – und damit steigt auch die Belastung des Wasserkreislaufs.

Manche Schadstoffe lassen sich vermeiden oder durch unbedenkliche biologisch abbaubare Alternativen ersetzen. Ein weiterer zukunftsweisender Ansatz, die Gewässerbelastung zu reduzieren, ist es, Wasser – etwa in der Industrie – in geschlossenen Kreisläufen zu recyceln und damit Abwasser komplett zu vermeiden. »Doch für viele Chemikalien, vor allem Medikamente, ist das nicht möglich«, sagt Bräutigam. Neue effiziente Verfahren der Abwasseranalyse und -reinigung sind daher dringend notwendig.

Und genau hier setzen Dr. Bräutigam und seine Teams an Universität und Fraunhofer-Institut an – und das künftig auch im Wassercluster »ThWIC«, dessen Sprecher Bräutigam ist. Die Jenaer Umweltchemikerinnen und -chemiker forschen an einer Vielzahl von Methoden, Wasser so zu behandeln, dass alle Schadstoffe entfernt werden.

»Daneben entwickeln wir Möglichkeiten, das Auftreten von selbst geringsten Belastungen kontinuierlich zu erfassen«, so Bräutigam weiter, »denn nur dann kann in der Kläranlage angemessen reagiert werden.« Das setze auch voraus, dass es für unterschiedliche Schadstoffe jeweils spezifisch angepasste Behandlungsverfahren gibt und sich anhand der chemischen Struktur vorhersagen lässt, welche Methode zum Abbau der nachgewiesenen Chemikalie am besten geeignet ist – ein Thema, das die Forschenden ebenfalls bearbeiten.

#### **Keramische Filter entfernen Schadstoffe und lassen sich leicht recyceln**

Um Mikroschadstoffe aus dem Abwasser zu entfernen, gibt es unterschiedliche Ansätze: Bereits im Einsatz sind Verfahren, die versuchen, diese durch Bindung an Oberflächen, etwa von Aktivkohle, aus dem Wasser zu entfernen. Doch das funktioniert nicht

für alle Chemikalien effizient. »Hinzu kommt, dass die Aktivkohle anschließend wieder entfernt, transportiert und verbrannt bzw. die Substanzen anschließend von der Aktivkohle wieder entfernt werden müssen, was aufwendig ist und viel Energie kostet«, so Bräutigam. Er und sein Team arbeiten daher an neuen Materialien, die hoch-effektiv Schadstoffe binden und sich »auf Knopfdruck« selbst reinigen. »Dafür entwickeln wir schaltbare Keramiken«, erläutert der Jenaer Chemiker. Schaltbar heißt, dass die Keramiken durch Änderung von äußeren Parametern wie pH-Wert, Licht oder eine Temperaturänderung ihre Oberflächeneigenschaften ändern. In ihrem Ursprungszustand sind diese zum Beispiel wasserabweisend: wird Abwasser durch einen solchen Adsorber geleitet, haften die gelösten Schadstoffe an der Oberfläche. Das Wasser verlässt die Adsorber gesäubert. Anschließend wird das Material durch Änderung der Umgebungsparameter in einen wasserabsorbierenden Zustand überführt

**Umweltchemiker Dr. Patrick Bräutigam ist einer der beiden Sprecher des neuen Wasserclusters »ThWIC« (siehe Kasten S. 25). · Foto: Jens Meyer**



**Bild rechts: Reaktor, in dem Methoden zur Oxidation von Schadstoffen, wie Ultraschall und Ozonung, im Labormaßstab getestet werden.**  
· Foto: Jens Meyer

**Bild unten: Keramische Adsorber lassen Schadstoffe »auf Knopfdruck« anhaften oder als Konzentrat freisetzen.** · Foto: Jens Meyer



und die gebundenen Substanzen können wieder abgewaschen und als Konzentrat entsorgt werden. Mit solchen schaltbaren Materialien lassen sich zukünftig auch Textilien beschichten und als keimabweisende Arbeitskleidung etwa im medizinischen Bereich einsetzen.

#### **Filtern durch das Nanosieb**

Ebenfalls aus Keramik sind die mikroskopisch feinen Filter, mit denen sich Substanzen nach ihrer Molekülgröße und -struktur aus dem Wasser abtrennen lassen. Das Verfahren lässt sich zum Beispiel dazu nutzen, um Öl-Wasser-Emulsionen zu trennen. »Aktuell arbeiten wir mit einem Industriepartner in einem Projekt zur Rückgewinnung von Schmierstoffen aus der Metallverarbeitung in der Automobilindustrie«, sagt Patrick Bräutigam. Schmierstoffe, die auf den Metalloberflächen haften, werden mit Hilfe von Seifen abgewaschen – das Waschwasser, das aus der Waschstraße kommt, muss bislang aufwendig und teuer entsorgt werden. »Unser Ziel ist es, mittels Filtration

die Schmierstoffe vollständig aus dem Wasser zu entfernen, so dass dieses direkt wiederverwendet werden kann und praktisch eine abwasserfreie Fabrik entsteht.«

#### **Mit Ultraschall und Ozon gegen schädliche Chemikalien**

Neben der Abtrennung aus dem Wasser lassen sich Schadstoffe im Abwasser auch durch Oxidation unschädlich machen. »Das kann man sich als eine kalte Verbrennung vorstellen«, veranschaulicht Patrick Bräutigam. »Bei der Oxidation reagieren die Schadstoffe mit Oxidationsmitteln und werden in CO<sub>2</sub> und Wasser umgewandelt.« Um diesen Prozess in Gang zu setzen, erzeugen die Chemikerinnen und Chemiker im Abwasser sogenannte Hydroxyl-Radikale. Diese bilden sich direkt aus dem Wasser selbst, ohne dass zusätzliche Chemikalien eingesetzt werden müssen.

Um Hydroxyl-Radikale entstehen zu lassen, testen die Forschenden diverse Verfahren. Ein Forschungsschwerpunkt in Bräutigams Team ist die



Kavitation. Dabei werden im Wasser Blasen erzeugt und zum Kollabieren gebracht. Die Blasen sind sehr klein, nur wenige Mikrometer im Durchmesser. Wenn sie kollabieren, entstehen jedoch lokal extrem hohe Temperaturen – bis zu 5000 Grad, wie auf der Sonne – wodurch die für die Oxidation benötigten Hydroxyl-Radikale entstehen. Die Kavitation wiederum initiieren die Forschenden durch Hochleistungsultraschall oder starke hydrodynamische Strömungen. Besonders effizient erweist sich die Kavitation, wenn mehrere Methoden miteinander kombiniert werden.



Die zur kalten Verbrennung benötigten Hydroxyl-Radikale lassen sich auch durch Einleiten von Ozon in das Abwasser erzeugen. Dieses aus Luftsauerstoff entstehende Gas wird dabei mit Druck im Abwasser fein verteilt. Neben den Hydroxyl-Radikalen trägt auch das Ozon selbst zur Oxidation von Schadstoffen und zum Abtöten biologischer Keime bei.

#### **Echtzeitmonitoring mit neuen Sensoren**

Neben den unterschiedlichen Möglichkeiten, Abwasser zu reinigen, ent-

wickeln Patrick Bräutigam und seine Kolleginnen und Kollegen auch neue Sensoren, mit denen sich die Abwasserqualität kontinuierlich in Echtzeit bestimmen lässt. Dies sei vor allem mit Blick auf die neuen Mikroschadstoffe wichtig, macht Bräutigam deutlich. So weisen beispielsweise Medikamentenrückstände einen ausgeprägten Tagesrhythmus im Abwasser auf, weil Menschen ihre Arzneimittel z. B. immer morgens oder abends einnehmen. »Idealerweise lässt sich auf diese Schwankungen im Klärwerk direkt reagieren, indem die Reinigungsverfahren an den Schadstoffeintrag angepasst werden.«

Voraussetzung dafür ist jedoch ein kontinuierliches Monitoring – derzeit ist das noch Zukunftsmusik.

Messen zu können, welche Substanzen, zu welchem Zeitpunkt, in welcher Konzentration im Wasser vorkommen, ist nicht nur für das Monitoring des Abwassers von Vorteil. Mit solchen Verfahren könnte künftig auch die Wasserqualität von Flüssen und Seen wesentlich genauer überwacht werden. Damit ließen sich Ereignisse wie das massenhafte Fischsterben in der Oder im vergangenen Jahr wesentlich früher erkennen und rechtzeitig gegensteuern. ■

# Wasser in Zahlen

## 55000

Liter Wasser hat ein Mensch durchschnittlich am Ende seines Lebens getrunken, wenn er bei einem täglichen Konsum von 2 Litern rund 80 Jahre alt wird. Die täglich empfohlene Menge an Wasser liegt zwischen 1,5 und 3 Litern und ist von Faktoren wie dem Alter und der Körpergröße abhängig.



## 6000

Wasserversorgungsunternehmen sorgen deutschlandweit dafür, dass Trinkwasser ein Qualitätsprodukt ist. In kaum einem anderen Land gibt es so strenge Kontrollen wie in Deutschland. 65 Prozent des Trinkwassers werden aus Grundwasser gewonnen und mit Hilfe aufwendiger Prozesse für die Verbraucher aufbereitet.



## 148

Liter Wasser werden im Durchschnitt pro Kopf jährlich in Deutschland in Flaschen verkauft. Damit ist Mineralwasser das Lieblingsgetränk der Deutschen noch vor Fruchtsäften und Kaffee.



## 426

Kilometer Länge misst das längste antike Bauwerk zum Wassertransport. Das Aquädukt von Konstantinopel wurde von den Römern zur Wasserversorgung des heutigen Istanbul erbaut. Auch wenn die Römer in vielerlei Hinsicht ihrer Zeit weit voraus waren, gelten sie nicht als Erfinder der Aquädukte. Erste Wassertransportsysteme fanden bereits im alten Ägypten und Griechenland Verwendung.



ILLUSTRATIONEN: LIANA FRANK

**71**

Prozent der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt. Doch nur 3,5 Prozent davon sind Süßwasser. Ein Großteil des Süßwassers wiederum liegt als Eis an den Polen, in Gletschern oder in Dauerfrostböden gespeichert vor – nur ca. 0,4 Prozent des gesamten Wassers auf der Erde sind für Menschen, Tiere und Pflanzen nutzbar.

**70**

Prozent Wasseranteil machen unseren menschlichen Körper aus. Das klingt viel, doch andere Organismen enthalten noch viel mehr Wasser: Spitzenreiter sind die Quallen, die zu 99 Prozent aus Wasser bestehen. Bei den Pflanzen sind es viele unserer Lebensmittel, wie Blattsalatsorten, Tomaten und Pilze, die mehr als 90 Prozent Wasser enthalten und uns dabei unterstützen, unseren Wasserhaushalt zu regulieren.

**1886**

War das Jahr, in dem August Gärtner, auch bekannt als »Kanal-August«, dem Ruf der Universität nach Jena folgte. Der Schüler von Robert Koch gründete den Lehrstuhl für Hygiene und Bakteriologie, organisierte die Seuchen- und Hygienepolitik ganz Thüringens und führte erstmals Hygienestandards einer öffentlichen Wasserversorgungsanlage ein.

**5300**

Liter beträgt der tägliche Wasserbedarf durchschnittlich pro Person in Deutschland. Das entspricht 25 randvoll gefüllten Badewannen. Diese Menge errechnet sich aus dem sogenannten »virtuellen Wasser«, das zur Produktion verschiedenster Alltagsprodukte gebraucht wird. Für eine Tasse Kaffee müssen durchschnittlich 140 Liter, für ein T-Shirt aus Baumwolle rund 4.000 Liter Wasser aufgewendet werden.



Prof. Dr. Birgitta König-Ries (l.) und Felicitas Löffler · Foto: Jens Meyer

## Der Schatz im Datensee

Ob im neu startenden Wasser-Innovationscluster »ThWIC« oder in bereits erfolgreich etablierten Forschungsverbänden – wissenschaftliches Arbeiten produziert eine Fülle von Daten. Messwerte, Texte, Bilder, digitalisierte historische Artefakte oder Computersimulationen werden gesammelt, dokumentiert und gespeichert. Doch was passiert mit den Informationen, wenn das jeweilige Forschungsvorhaben beendet ist und die Ergebnisse publiziert wurden? Um einmal erhobene Daten auch für künftige Forschungsfragen nutzbar zu halten, richten Forschende einen »Data Lake« ein.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Der »Data Lake« – der Datensee – ist eine Cloudinfrastruktur, die im Universitätsrechenzentrum in einem Teilprojekt des Wasserclusters mit dem Titel »ThWICData« aufgebaut wird. Neben dem Rechenzentrum sind das »Kompetenzzentrum Digitale Forschung« der Uni Jena sowie ein externer Wirtschaftspartner beteiligt. Ziel ist es, Daten und Informationen aus sämtlichen der 22 Projekte des »ThWIC« zentral zu bündeln, zu speichern, zu bearbeiten und für die langfristige Nutzung zu archivieren. Die Universität Jena übernimmt dabei die Rolle des Cloud-Providers. In automatisierten »Pipelines« sollen die Daten von jedem Einzelprojekt des Clusters – von gestreamten Sensordaten aus Abwasserleitungen über Informationen aus soziologischen Interviews bis zu Bild-, Ton- und Textdaten – in den Datensee »fließen«. »Dafür wird eine zentrale Zugangsstruktur geschaffen, über die zunächst die be-

teiligten Projektpartner Zugang haben. Langfristig wollen wir aber auch Daten für die Öffentlichkeit zugänglich machen«, sagt Felicitas Löffler vom Institut für Informatik, die den Bereich Datenwissenschaft im Wassercluster koordiniert hat.

Doch welchen Vorteil hat es, eine riesige Cloud aufzubauen und Daten zentral zu bündeln, statt sie dezentral an den Orten zu speichern, wo sie erhoben werden? »Der liegt vor allem in der nachhaltigen Sicherung von Forschungsdaten«, erläutert Prof. Dr. Birgitta König-Ries. Die Inhaberin der Heinz-Nixdorf-Professur für verteilte Informationssysteme verweist darauf, dass eine nachhaltige Datenverfügbarkeit seit einigen Jahren immer stärker ins Bewusstsein gekommen ist – nicht nur in der Forschung. So hat die Bundesregierung 2014 den Rat für Informationsinfrastrukturen eingerichtet und 2020 die Initiative Nationale For-

schungsdateninfrastruktur gestartet, an der König-Ries in einem Projekt zum Management von Daten aus der Biodiversitätsforschung beteiligt ist. »Um die Forschungsdaten nachhaltig, disziplinen- und länderübergreifend nutzbar zu machen, werden sie nach den sogenannten FAIR-Prinzipien gespeichert«, so König-Ries. FAIR steht für Findable, Accessible, Interoperable und Reusable.

### Offene Formate und präzise Metadaten

Nachhaltiges Forschungsdatenmanagement umfasst deutlich mehr als langfristige Speicherung. Daten über Jahre aufzubewahren, gehörte bereits länger zu den Regeln guter wissenschaftlicher Praxis. »Oft bedeutete das allerdings, dass Daten einfach irgendwo abgelegt und nicht für andere nutzbar waren, weil sie weder gefun-

den noch verstanden wurden«, so König-Ries. Entscheidend sei es daher, die Daten möglichst präzise zu beschreiben. Solche Metadaten enthalten Zusatzinformationen, die es auch Personen ermöglichen, die die Daten nicht selbst erhoben haben, diese zuzuordnen und verstehen zu können: etwa Angaben darüber, mit welchen Methoden und mit welcher wissenschaftlichen Fragestellung sie erfasst wurden. »Ebenso wichtig ist es, dass die Metadaten in offenen Formaten abgelegt werden, die universell verständlich sind.«

Im Wassercluster arbeiten Birgitta König-Ries und Felicitas Löffler im Projekt »ThWICSonar«: Darin geht es darum, Textdokumente automatisch zu erfassen und zu verschlagworten. »Wir wollen ein Informationssystem aufbauen, mit dem Dokumente automatisch überwacht, thematisch klassifiziert und beschrieben werden.« Dafür arbeiten sie mit Künstlicher Intelligenz. »Zunächst müssen wir Dokumente manuell verschlagworten, um im Anschluss Algorithmen trainieren zu können. Das entstehende Sprachmodell ermöglicht anschließend eine automatische Verschlagwortung.« Diese aufbereiteten Dokumente werden dann verschiedenen Benutzergruppen im Cluster proaktiv empfohlen.

Bei ihrer Arbeit für »ThWIC« bauen die Forschenden auf bereits bestehende Erfahrungen auf. So wird in der Initiative Nationale Forschungsdateninfrastruktur seit 2020 an der Uni Jena und der Technischen Informationsbibliothek in Hannover ein »electronic lab notebook« (ELN) für das Forschungsdatenmanagement in der Chemie entwickelt. Der Projektkoordinator Prof. Dr. Christoph Steinbeck ist ebenfalls im Wassercluster aktiv. »Das ELN ist eine elektronische Variante des klassischen Laborbuchs, bietet darüber hinaus aber hinsichtlich der nachhaltigen Datennutzung viele Vorteile«, betont Felicitas Löffler. Werden die Daten etwa mit anderen Forschenden geteilt und in einer Cloud abgelegt, sind sie weltweit verfügbar und können mit anderen Quellen verknüpft werden. »Dadurch wird es möglich, sie auch standortübergreifend zu nutzen und größere Zusammenhänge festzustellen und zu verstehen.« ■



## Der Thüringer Wasser-Innovationscluster

»ThWIC« ist ein interdisziplinäres Zentrum, das neue Lösungen für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser entwickelt und die Gesellschaft für die weitreichende Bedeutung des Themas sensibilisieren will. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbund haben sich 28 universitäre und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Unternehmen und Verbände zusammengeschlossen.

Der von der Universität Jena gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS und der Ernst-Abbe-Hochschule initiierte Innovationscluster hat sich im Wettbewerb »Clusters4Future« als einer von wenigen unter 120 Bewerbungen durchgesetzt und wird seit 1. Februar 2023 vom Bund gefördert. Über die nächsten neun Jahre fließen bis zu 45 Millionen Euro Fördermittel in die Entwicklung neuer Wassertechnologien und die Erforschung des gesellschaftlichen Umgangs mit der knapper werdenden Ressource. Die mehr als 20 Teilprojekte des Innovationsclusters fokussieren sich auf folgende vier Felder:

### Wasser analysieren

Ziel ist es, Wasser künftig umfassend, schnell, digital und kostengünstig analysieren zu können. Dafür bedarf es neuer Sensoren, die Wasserdaten direkt und ohne langwierige Laboranalysen erfassen können. Im Teilprojekt »KontiMonit« etwa wird ein elektrochemischer Sensor entwickelt, der in kommunalen Abwasseranlagen und zum Umweltmonitoring eingesetzt werden kann. Auf jeweils spezifische Mikroschadstoffe zielt das Sensor-Prinzip ab, das im Projekt »MIKA« entwickelt wird – hierbei kommen photonische Spektroskopieverfahren zum Einsatz.

### Wasser reinigen

Hier geht es darum, anthropogene Schadstoffe aus dem Abwasser zu entfernen, die mit den traditionellen Methoden heutiger Kläranlagen

nicht erfasst werden können. In den miteinander gekoppelten Teilprojekten »Kerasorb« und »Technische Niere« sollen Mikroschadstoffe durch Adsorption entfernt, im Projekt »UltraStaRK« durch vollständige Oxidation unschädlich gemacht werden.

### Wasser bewerten

In umfangreichen und systematischen Ansätzen wird ein Pool an möglichen Kennzahlen aufgebaut, der eine neue Wertzuschreibung des Wassers zum Ausdruck bringt: dafür muss der Aufwand der Entfernung von Schadstoffen erfasst werden, was etwa als »Wasserfußabdruck« beziffert werden kann. Daneben werden soziologische Kriterien herangezogen, um einen möglichen Bewusstseinswandel im Umgang mit Wasser herauszustellen.

### Wasser verstehen und erklären

Ein wesentliches Ziel von »ThWIC« ist es, die »Water Literacy« in der Gesellschaft zu stärken. Damit ist ein umfassendes Wissen gemeint, das zu informierten Entscheidungen im Umgang mit der Ressource ermächtigt. Die Projekte nehmen Alltagspraktiken der Nutzung von Wasser in privaten Haushalten in den Blick, ebenso komplexe Wasserkreisläufe und wassertechnische Infrastrukturen. Auch für die Wirtschaft ergeben sich durch eine Verbesserung des Wasserwissens Chancen, frühzeitig und passgenau auf antizipierte Wasserprobleme reagieren zu können.

# Narrative sind oft wirkungsvoller als Statistiken

Das gewandelte Verhältnis von Mensch und Natur rückt immer mehr in den Fokus von Kunst und Kultur – und hat sich als Forschungsthema der Geisteswissenschaften etabliert. Kein Wunder also, dass die Geisteswissenschaften auch im Thüringer Wasser-Innovationscluster »ThWIC« eingebunden sind. Die Amerikanistin Caroline Rosenthal erforscht, wie sich Wasser in der Literatur Nordamerikas niederschlägt und somit ganze Regionen prägen, definieren und verändern kann.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN

»Das Prinzip aller Dinge ist das Wasser, denn Wasser ist alles und ins Wasser kehrt alles zurück.« Diese Weisheit des antiken Philosophen Thales von Milet haben sich über die Jahrtausende nicht nur Wissenschaften zur Grundlage genommen, sondern auch die Kunst. Nichts Geringeres als Leben und Tod finden seit Jahrtausenden symbolischen Ausdruck in flüssiger Gestalt: ob als unbezähmbare, göttliche Naturgewalt wie in den Fluten des Gilgamesch-Epos oder der biblischen Sintflut sowie in Form mythologischer Wesen wie Meerjungfrauen und Wassermännern oder als lebendiger Kosmos wie im Kinospetaktel »Avatar: The Way of Water«. Flüsse in literarischen Werken liefern perfekte Metaphern für den mäandernden Lauf des Lebens, die scheinbare Unendlichkeit der Meere öffnet literarischen Heldinnen und Helden sowie den Lesenden selbst Reflexions- und Möglichkeitsräume.

Doch in den zurückliegenden Jahrzehnten haben sich in der Literatur verschiedene Strömungen entwickelt, die Wasser – und Natur im Allgemeinen – nicht mehr nur als bloße Kulisse oder als stilistisches Mittel verwenden, sondern seine Bedeutung und die zunehmenden ökologischen Probleme konkret thematisieren. »Literatur und Kunst haben eine große Bedeutung und Kraft, um Probleme zu artikulieren und in die Gesellschaft zu tragen«, sagt

Prof. Dr. Caroline Rosenthal. »Narrative sind oft wirkungsvoller als bloße Statistiken.«

## Politische Dimension der Naturbetrachtung

Die Amerikanistin beschäftigt sich bereits seit einigen Jahren damit, wie sich das Anthropozän – das vom Menschen geprägte Zeitalter der Erdgeschichte – in der nordamerikanischen Literatur niederschlägt. »Im 19. Jahrhundert, in der Epoche der Romantik, entwickelte sich vor allem in Großbritannien und den USA das Genre des Nature Writing, in dem Autorinnen und Autoren das Erleben von Landschaft, Flora und Fauna in den Mittelpunkt stellten. Diese Begegnung hat dabei häufig auch eine politische Dimension, beispielsweise hinsichtlich des nationalen Selbstverständnisses der Vereinigten Staaten.« Weite Landschaften und scheinbar unberührte Natur vermittelten Größe und Freiheit.

Auf diese Weise wird Literatur zum Seismographen der Gesellschaft, nimmt heute die ökologischen Diskussionen unserer Zeit auf und gibt sie weiter. Angesichts von Bedrohungen wie Umweltverschmutzung, Artensterben und Klimawandel hinterfragen Strömungen wie der in den 1970er Jahren in den USA entstandene Ecocri-

ticism das Verhältnis von Mensch und Natur kritisch. Die Vertreterinnen und Vertreter dieser Denkrichtung fordern unter anderem, dass sich der Mensch als Teil des Ökosystems betrachten und sich seiner Verantwortung dafür bewusst werden muss. Gerade der Literatur fällt hier eine Schlüsselposition zu: Sie kann sensibilisieren, Gefahren vor Augen führen, Möglichkeitsräume für Veränderungen öffnen und damit direkt in die Gesellschaft wirken.

## Gewässer definieren Identität von Regionen

Solche Denkansätze sind längst Thema der Literaturwissenschaften – auch in Jena. An Caroline Rosenthals Lehrstuhl für Amerikanistik haben sich Doktorandinnen und Doktoranden, die zu diesem Themenkomplex promovieren, zu einem »Ecocriticism Research Collective« zusammengefunden.

Zudem ergründen Jenaer Amerikanistinnen und Amerikanisten in einem Teilprojekt des »Thüringer Wasser-Innovationsclusters«, wie Wasser und Gewässer die Identität einer Region prägen. Ziel des Projektes ist es, ein Modell des Hydroregionalismus zu entwickeln. Ausgangspunkt ist hierbei die Idee des Bioregionalismus – ein im Kalifornien der 1970er Jahren entstandenes Konzept, nach dem geologische

**Prof. Dr. Caroline Rosenthal** untersucht, wie sich das Anthropozän und seine Folgen in der nordamerikanischen Literatur ausdrücken. Im Rahmen von »ThWIC« möchte sie ein Modell des Hydroregionalismus entwickeln. · Foto: Jens Meyer



und geografische Faktoren und kulturelle Praktiken eine Region definieren und nicht politische Grenzen. Wasserscheiden, Gebirgszüge und beispielsweise gemeinsame Erzähltraditionen spielen dabei eine entscheidende Rolle. »Wir gehen davon aus, dass auch Wasser in all seinen Erscheinungsformen für ein jeweiliges Bezugsgebiet eine solche verbindende Funktion erfüllen kann«, sagt Caroline Rosenthal. »Das betrifft sowohl das tradierte Wissen über Wasser in einer Region als auch symbolische Zuschreibungen wie Mythen und Sagen, die bis heute in verschiedener Form existieren.« Um anhand einer Beispielregion an der Westküste Kanadas das Modell zu entwerfen, suchen die Literaturwissen-

schaftlerinnen und -wissenschaftler zunächst nach fiktionalen und nicht-fiktionalen Quellen, die Informationen über Wasser vor Ort speichern. Wo hat das Wasser seinen Ursprung? Wo fließt es hin? Welche Niederschlagszyklen gibt es? Wie ist die Qualität des Wassers? Welchen Bezug haben die Bewohnerinnen und Bewohner zu einzelnen Gewässern? Welche Geschichten und symbolischen Aufladungen von Raum hat Wasser hervorgebracht? Hinsichtlich solcher Fragen gilt es, Texte auszuwerten und im nächsten Schritt Bedeutung und Funktion des Wassers für das entsprechende Gebiet herauszufiltern. So erfahren die Forschenden mehr über die kulturellen Traditionen der Region – und le-

gen möglicherweise eine gemeinsame, vom Wasser definierte Identität in der Region frei, die mehr Bewusstsein für die Umwelt schafft und Verhaltensänderungen anregt.

#### **Literatur als Möglichkeitsraum für den Umgang mit Wasser**

»Wir wollen Literatur als hypothetischen Möglichkeitsraum betrachten, der verschiedene Szenarien für den zukünftigen Umgang mit der materiellen und kulturellen Ressource Wasser erlaubt«, erklärt Caroline Rosenthal. »Und Menschen, die sich mit dem Wasser in ihrer Umgebung identifizieren, schützen es auch mehr.« ■



## Klimawandel im Untergrund

In der Werbung sprudelt Grundwasser rein und klar aus scheinbar unversiegbaren Quellen in idyllischen Berglandschaften. Doch in Wirklichkeit befindet es sich oft nur einige Meter unter unseren Füßen und ist alles andere als unerschöpflich. Was genau ist Grundwasser? Woher kommt es? Und was können wir dafür tun, dass es uns so schnell nicht ausgeht? Antworten darauf liefert der Hydrogeologe und Sprecher des Thüringer Klimarats Prof. Dr. Kai Uwe Totsche im Interview.

INTERVIEW: SEBASTIAN HOLLSTEIN

### **Hinter uns liegt ein Dürresommer, viele weitere stehen uns vermutlich bevor – welche Folgen hat der Klimawandel für das Grundwasser?**

Zum einen sehen wir – zum Teil deutlich – fallende Grundwasserspiegel. Das gilt nicht nur für das zurückliegende Jahr, sondern die vielerorts auftretenden Verluste passierten verstärkt innerhalb der zurückliegenden anderthalb

Jahrzehnte. Zum anderen stellen wir Veränderungen in der Beschaffenheit des Grundwassers fest, was sich auf die Qualität auswirkt. Beispielsweise ist die Wassertemperatur angestiegen, was gleichermaßen besorgniserregend und beeindruckend ist. Besorgniserregend, da sich dadurch viele Prozesse beschleunigen, beeindruckend, da sich dafür auch das umgebende Gestein

aufgeheizt haben muss, was aufgrund der Wärmekapazität des Gesteins lange dauert. Ein untrügliches Zeichen, dass der Klimawandel im Untergrund angekommen ist. An unseren Messstationen können wir beobachten, dass mit der Erwärmung auch eine Veränderung der Biogeochemie des Grundwassers einhergeht. Je höher die Temperatur des Grundwassers, umso mehr lösliche



Dürresommer 2022: Das ausgetrocknete Flussbett der Leutra bei Jena. · Foto: Jens Meyer

formation trifft, die eine weitere Tiefsickerung verhindert. Im darüberliegenden Gestein sammelt sich dieses Wasser an: Ein Grundwasserleiter hat sich gebildet. Hervorzuheben ist dabei, das Grundwasser nicht nur »Wasser im Gestein« ist: Vielmehr sind Grundwassersysteme belebt und weisen eine große biologische Vielfalt auf, die in komplexen Nahrungsnetzen organisiert ist: Grundwassersysteme sind Ökosysteme!

Auf seinem Weg durch funktionstüchtige Böden und den tieferen Untergrund werden – im Idealfall – die im Sickerwasser enthaltenen Fremdstoffe herausgefiltert, umgewandelt oder sogar abgebaut. Ein großer Anteil des infiltrierenden Niederschlags kommt allerdings nie im Grundwasser an, sondern wird oberflächennah im Boden gespeichert, wo es unter anderem den Pflanzen zur Verfügung steht oder über die Verdunstung wieder an die Atmosphäre abgegeben wird.

#### **In welchen Bereichen sind wir auf das Grundwasser angewiesen?**

Etwa zwei Drittel unseres Trinkwassers stammen aus dem Grundwasser – Tendenz steigend. Hierfür wird es in unseren Breiten meist aus Sediment- oder aus Kluftgestein herausgepumpt, aufbereitet und den Haushalten oder der Getränkeindustrie zur Verfügung gestellt. Zudem erhält das Thema Bewässerung in der Landwirtschaft und im Obst- und Gartenbau eine immer größere Bedeutung. Grundwasser wird außerdem in der Industrie verwendet, als Löschwasser – sowohl in Siedlungen als auch zunehmend bei Waldbränden – und es speist unsere Flüsse und ist daher auch für die Fischerei und den Binnenschiffsverkehr wichtig.

#### **Was erschwert neben den geringeren Niederschlagsmengen außerdem die Neubildung von Grundwasser?**

Ein zentraler Faktor für die Grundwasserbildung und -beschaffenheit ist die Landnutzung. Natürlich spielt die Bodenversiegelung dabei eine wichtige Rolle, die grundsätzlich erschwert

oder sogar verhindert, dass der Niederschlag im Boden landet. Aber auch dort, wo nicht alles zubetoniert ist, kann das Wasser nicht immer so versickern, wie es soll. Wenn etwa aufgrund von starkem Druck – sogenannte Auflast – der Boden zu stark verdichtet wird, dann versickert das Wasser nicht verlangsamt, sondern schnell und konzentrierter in groben Poren und Rissen. Die Filterfunktion fällt dadurch aus und es gelangen Stoffe in die Tiefe, die da nicht hingehören, wie zum Beispiel Pflanzenschutzmittel.

Um diese Stoffe abzubauen, braucht es übrigens das Ökosystem Grundwasser mit seinen vielzähligen Lebensformen und mannigfaltigen Funktionen. Dies erforsche ich gemeinsam mit meinen Kolleginnen Prof. Dr. Kirsten Küsel und Prof. Dr. Susan Trumbore seit rund zehn Jahren im Sonderforschungsbereich AquaDiva. Wir wollen herausfinden, wie Oberflächenökosysteme und Grundwasserökosysteme zusammenhängen und wie die Landnutzung an der Oberfläche die biologische Vielfalt sowie die Funktionen im Untergrund beeinflusst. Das Reinigungsvermögen der Grundwasserökosysteme und der darüber liegenden Schichten hängt stark von den unterschiedlichen Organismengruppen ab, die dort siedeln. Deshalb investieren wir viel Zeit und Aufwand, um mehr Licht in diese Terra incognita zu bringen.

#### **Wie kann man die Landnutzung beeinflussen, damit sich wieder mehr und qualitativ hochwertiges Grundwasser bildet?**

Grundsätzlich sollte man die Grundwasserneubildung und die Grundwasserqualität als wichtige Ziele der Landnutzung betrachten. Dann gibt es viele Wege, dies zu begünstigen – als erstes sollten wir aufhören, Boden zu versiegeln und mehr Fläche entsiegeln. Zudem müssen wir eine Landbewirtschaftung schaffen, die das Wasser im Raum hält, indem wir das Sickerungs- und Reinigungsvermögen wieder erhöhen und den Abfluss durch die Fließgewässer wieder deutlich

Stoffe können darin enthalten sein. Das bedeutet einen höheren – und damit teureren – Aufwand bei der Trinkwasseraufbereitung.

#### **Was ist Grundwasser eigentlich?**

Grundwasser ist das Wasser, was sich in den zusammenhängenden Hohlräumen im Gesteinsuntergrund angesammelt hat. Es umfasst zum einen Tiefenwässer, die in erster Linie das Produkt geochemischer Prozesse sind. Sie können Millionen Jahre alt sein und sind bisher kaum vom Menschen genutzt, was sich in Zukunft vermutlich ändern wird. Zum anderen handelt es sich um Wasser, das sich aus dem Anteil des Niederschlags speist, der in den Boden eindringen und in die Tiefe sickern kann. Je nach Tiefe und Untergrundbeschaffenheit kann es wenige Tage bis viele Jahrzehnte dauern, bis das Sickerwasser auf eine Gesteins-



Prof. Dr. Kai Uwe Totsche (I.) und Umweltschutztechniker Heiko Minkmar entnehmen Grundwasserproben aus einer Forschungsmessstelle im forstlich genutzten Grundwasserneubildungsgebiet bei Hummelshain. · Foto: Anne Günther

verlangsamen. Dafür haben wir viele Möglichkeiten – in Siedlungen, in der Landwirtschaft und auch im Wald. Ein Laubwaldökosystem beispielsweise gibt eine bedeutend höhere Grundwasserspende ab als Nadelwald. Gleichzeitig können wir nicht nur über die Vegetation Kondensationsprozesse wie die Taubildung oder auch die Evaporation und Transpiration – kurz gesagt: die Verdunstung – beeinflussen. Über unser Landnutzungsmanagement können wir dafür sorgen, dass mehr Wasser in den Boden sickert, anstatt wieder zurück in die Atmosphäre zu gelangen.

#### **Welche weiteren Angriffspunkte sehen Sie, beispielsweise in der Landwirtschaft?**

Wir brauchen wieder Flächen, auf denen Wasser nicht als Störelement gilt, sondern Zeit hat zu versickern. In der Landwirtschaft beispielsweise hat man während der Flurbereinigung im 20. Jahrhundert durch Drainagen große Flächen trockengelegt, um sie nutzen zu können und um Überschwemmungen zu vermeiden. Außerdem nahm die Strömungsgeschwindigkeit von fließenden Gewässern durch die Begründung ihrer Läufe in der Vergangenheit immer mehr zu – dadurch trocknen auch die Oberböden in ihrer Umgebung aus. Unser Ziel muss aber sein, Wasser im Raum zu halten, vor allem im unterirdischen Raum. Also müssen

wir solche Eingriffe wieder rückgängig machen. Viele solcher Maßnahmen würden auch der Landwirtschaft zugutekommen und bei der Anpassung an die Folgen des Klimawandels helfen.

#### **Inwiefern?**

Die Bodenfeuchtigkeit ist eine wichtige Voraussetzung für die Humusbildung und damit elementar für fruchtbare Böden. Außerdem wird über den Humusaufbau der Atmosphäre effektiv CO<sub>2</sub> entzogen und in Form von organischen Substanzen im Boden gespeichert. Einige der fundamentalen Prozesse hierbei untersuchen wir in meiner Forschungsgruppe MAD Soil. Im Fokus stehen dabei die kleinsten Strukturelemente in Böden, die sogenannten Mikroaggregate, die im Größenbereich von wenigen Nanometern bis 250 Mikrometern liegen und organischen Kohlenstoff besonders effektiv in Form von mineralorganischen Assoziaten binden können. Hier konnten wir unter anderem zeigen, dass biogene Polymere als Klebstoffe und Stabilisatoren für die Bildung und die Stabilität dieser »Bodenbausteine« eine wesentliche Rolle spielen.

Die konventionelle landwirtschaftliche Nutzung hat weltweit zu einem erheblichen Humusschwund der Böden geführt und damit einen bedeutenden Anteil am Treibhausprozess. Die Landwirtschaft muss sich daher als Ziel

setzen, den Bodenhumusgehalt wieder deutlich zu steigern.

#### **Wie können Sie als Wissenschaftler und als Sprecher des Thüringer Klimarats Maßnahmen zur stärkeren Grundwasserbildung anregen und unterstützen?**

Wir helfen unter anderem dabei, neue Managementsysteme zu entwickeln – das gilt übrigens nicht zuletzt auch für die Siedlungswasserwirtschaft, bei der beispielsweise wichtig ist, den Niederschlag auf versiegelten Flächen zu sammeln. Wir arbeiten eng mit Partnern aus der Forstwirtschaft und Wasserwirtschaft zusammen und liefern Informationen, wie sich Landschaft neu gestalten lässt.

Beispielsweise beobachten und modellieren wir mit digitalen Methoden die Hydromorphie und ihre Veränderungen durch den Menschen nicht nur als Basis für die Entwicklung von Managementstrategien für Grundwasser-einzugsgebiete, sondern auch zur Ableitung von konkreten Maßnahmen in Forst-, Landwirtschaft und Siedlungswasserwirtschaft. Außerdem trage ich als Sprecher des Thüringer Klimarats das Thema von wissenschaftlicher Seite in die Politik und in die Öffentlichkeit, um für noch mehr Bewusstsein für die Probleme und für die Bereitschaft, diese auch anzugehen, zu sorgen. ■

# Eine Soziologie des Wassers

Wo das Wasser knapp wird, kommt es zu Konflikten. Das betrifft nicht nur Weltgegenden, die ohnehin mit Dürren und Wasserknappheit zu kämpfen haben, sondern findet auch direkt vor unserer Haustür in Thüringen statt. Forschende der Soziologie untersuchen im Wassercluster »ThWIC« den gesellschaftlichen Umgang mit der lebenswichtigen Ressource.

TEXT: STEPHAN LAUDIEN

In Apfelstädt im Landkreis Gotha schwelt der Streit um das Wasser der Apfelstädt. So heißt ein Flüsschen, das aus der Talsperre Tambach-Dietharz kommt und nach etwa 34 Kilometern in die Gera mündet. Anrainer der Apfelstädt werfen der Talsperrenverwaltung vor, zu viel Wasser für die Erzeugung von Strom abzuleiten und damit in Kauf zu nehmen, dass der Fluss im Sommer temporär trockenfällt. Eine Bürgerinitiative hat sich gegründet, eine Lösung ist noch nicht gefunden.

## Vielfältige Konfliktlinien

So unschön der Streit für die Region ist, so aufschlussreich ist dieser Fall für Dr. Diana Lindner. Zeigt die Auseinandersetzung doch wie unterm Brennglas Konfliktlinien auf, die vielerorts in ähnlicher Form aufzubrechen drohen. »Dieser Streit um eine sich verringern- de Ressource hat viele Facetten, die wir genauer untersuchen wollen«, sagt Diana Lindner. Die Soziologin von der Universität Jena koordiniert am Lehrstuhl von Hartmut Rosa die insgesamt sechs Teilprojekte für den Thüringer Wasser-Innovationscluster »ThWIC«, die sich mit soziologischen Fragestellungen befassen. Grundlegendes Ziel sei es, eine Soziologie des Wassers zu erstellen, sagt Diana Lindner. Im Apfelstädt-Streit seien vielfältige Aspekte zu beobachten, so die Soziologin. Da würde beispielsweise um Zahlen gestritten, was Fragen des richtigen Monitorings berührt. Zudem gebe es die unterschiedlichsten Wahrnehmungen auf das Gewässer. Ein Angler sehe den Fluss mit ganz anderen Augen als beispielsweise ein Landwirt, der den Fluss nutzt, um seine Felder zu bewässern.

Ein weiterer Aspekt in der Auseinandersetzung um die Ressource Wasser sei das Gefühl der Landbevölkerung, abgehängt zu werden. »Dieses Gefühl verstärkt sich zunehmend«, sagt Diana Lindner.

Bei aller Brisanz des Themas zeigt ein Blick über Ländergrenzen hinweg, dass andernorts weitaus größere Probleme zu bewältigen sind: In einem »ThWIC«-Teilprojekt erforscht Alexis Gros die Situation an den Flüssen Riachuelo und Rio de la Reconquista in Buenos Aires. Die beiden Zuflüsse des Rio de la Plata sind so hochgradig verschmutzt, dass jegliches Leben in ihnen erloschen ist. Sie gehören zu den weltweit meist verschmutzten Flüssen. »Alexis Gros wird erkunden, wie die lokale Bevölkerung damit umgeht, dass

eine lebenswichtige Ressource nicht mehr zur Verfügung steht«, sagt Diana Lindner. Bei den Thüringer Projekten wird es eher darum gehen, welche neuen Wege im Umgang mit der Ressource Wasser beschritten werden müssen. Doch sowohl in Thüringen als auch in Argentinien geht es den Soziologinnen und Soziologen darum, lokales Wissen einzuholen und nutzbar zu machen. »Wir wollen Geschichten über das Wasser schreiben und diese Geschichten auch erzählen«, sagt Diana Lindner. Die Projekte sind gerade erst angelaufen; die Ergebnisse werden mit Spannung erwartet, sowohl in Bezug auf lokale Auseinandersetzungen als auch im globalen Maßstab. Ist die lebenswichtige Ressource Wasser doch weltweit bedroht – über alle Grenzen hinweg. ■

Dr. Diana Lindner arbeitet mit ihren Kollegen und Kolleginnen an einer Soziologie des Wassers. · Foto: Jürgen Scheere



# Energie- und Hoffnungsträger

Wasserstoff gilt seit vielen Jahren als Hoffnungsträger der Energiewende – erst recht jetzt während der Energiekrise. Aber nur, wenn Wasserstoff aus Wasser und mit Hilfe erneuerbarer Energiequellen gewonnen wird, ist er als Energieträger auch wirklich nachhaltig. Wie solch »grüner« Wasserstoff produziert werden kann – und zwar am besten direkt mit frei verfügbarer Sonnenenergie – das wird an der Universität Jena im Sonderforschungsbereich »CataLight« erforscht.

TEXT: MARCO KÖRNER

Auch wenn Wasserstoff dem Wasser seinen Namen verdankt, wird er in der Praxis bislang häufig aus Erdgas gewonnen. Dabei entsteht Kohlendioxid. Je nachdem, ob das Treibhausgas in die Atmosphäre gelangt oder aber abgeschieden und gelagert wird, ist

die Rede von »grauem« oder »blauem« Wasserstoff. »Türkisen« Wasserstoff gibt es auch; hierbei wird Erdgas (Methan) durch Hitze direkt in Wasserstoff und festen Kohlenstoff aufgespalten. Egal ob grün, grau, blau oder türkis – Wasserstoff zu erzeugen, benötigt

Energie, was wiederum darüber entscheidet, wie nachhaltig der Energieträger letztendlich ist. Idealerweise lässt sich mit grünem Wasserstoff aber ein Problem lösen, das den erneuerbaren Energiequellen häufig angelastet wird: nämlich die Schwankungen ihrer Verfügbarkeit. Je nach Tageszeit und Wetterlage liefern Solaranlagen und Windräder mal mehr oder weniger Energie als benötigt wird. Die Möglichkeit, überschüssige Energie in Form von Wasserstoff zu speichern und bei Bedarf an anderer Stelle zu nutzen, ist unter anderem das, was den Energieträger Wasserstoff so vielversprechend macht.



In der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Kalina Peneva wird an metallfreien Rylene-Farbstoffen geforscht, die Sonnenlicht absorbieren und mit helfen, Wasserstoff aus Wasser zu gewinnen. · Foto: Anne Günther

## Nach dem Vorbild der Natur

Wasserstoff direkt aus Wasser und Sonnenlicht zu gewinnen, das ist das große Ziel der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Transregionalen Sonderforschungsbereich 234 »CataLight« der Universitäten Jena und Ulm. Vorbild ist die Natur: Denn die Art und Weise, wie Pflanzen mit Hilfe der Photosynthese Sonnenlicht in chemische Energie umwandeln, liefert hier wertvolle Inspiration. Jedoch ist bei den photochemischen Systemen, die



Prof. Dr. Wolfgang Weigand (l.) und sein Team erforschen den Reaktionsweg zur elektrokatalytischen Wasserstoffbildung. · Foto: Jens Meyer

der Sonderforschungsbereich entwickelt und erforscht, ein hohes Maß an Expertise und Zusammenarbeit verschiedenster Fachbereiche gefragt.

#### Aus Wasser wird Wasserstoff

Denn Photonen, also Lichtteilchen, unterliegen den Regeln der Quantenmechanik. Entsprechend müssen die quantenmechanischen Eigenschaften der chemischen Systeme, auf die das Licht trifft, präzise verstanden werden. Die gewünschten chemischen Photosysteme wiederum sind im Labor oftmals nur aufwendig herstellbar. Und schlussendlich dient das Photosystem dazu, einem eigens darauf abgestimmten Katalysator möglichst verlustarm Energie zuzuführen, mit der dieser letztendlich Wasser in Wasserstoff umwandelt. Idealerweise entsteht so durch die Zusammenarbeit diverser Teildisziplinen der Chemie ein System, das nicht nur den begehrten Energieträger aus Sonnenlicht und Wasser erzeugt, sondern auch günstig, langlebig und robust ist.

Die Frage, wie Farbstoffe durch Licht quantenchemisch angeregt werden, wird im Rahmen von »CataLight« durch Prof. Dr. Kalina Peneva erforscht. Die

Chemikerin und ihr Team konzentrieren sich dabei auf sogenannte Rylen-Farbstoffe. Deren Vorteil: Im Vergleich zu den gängigen Farbstoffen, die auf Metallkomplexen mit Iridium oder Ruthenium basieren, sind die rein organischen Rylen-Farbstoffe stabiler gegenüber Licht und zugleich kostengünstiger.

Den chemischen Schritt der Wasserstofferzeugung untersucht Prof. Dr. Wolfgang Weigand am Vorbild der sogenannten Hydrogenasen. Diese Enzyme werden von bestimmten Mikroorganismen verwendet, die sich von dem Energieträger »ernähren«. Um herauszufinden, wie diese Enzyme arbeiten, erzeugen Weigand und sein Team chemische Modellverbindungen dieser Enzyme, die anschließend bis zu deren quantenmechanischen Eigenschaften genauestens untersucht werden. Die Betrachtung auf Ebene der Theoretischen Chemie findet im Team von Prof. Dr. Stefanie Gräfe statt.

Doch auch wenn es bereits einige Systeme gibt, die durch Lichteinstrahlung Wasserstoff aus Wasser erzeugen können, bleiben noch viele Hürden für die praktische Umsetzung: Denn Sonnenlicht enthält Licht verschiedener Wellenlängen, zu denen auch harte UV-Strahlung gehört, der ein solches

chemisches System standhalten muss. Und Wasser ist im Alltag mehr als nur  $H_2O$  – es enthält Salze, Schwebstoffe und andere Verbindungen in unterschiedlicher Zusammensetzung, die das photochemische System beeinflussen können. Zu guter Letzt muss ein solches System auch kosteneffizient und in großen Mengen herstellbar sein.

#### Impulsgeber für interdisziplinäre Forschung

Auf diese Weise dient Wasserstoff nicht nur als Hoffnungsträger für Industrie und Wirtschaft, sondern auch als Impulsgeber für interdisziplinäre Forschung. Denn neben den Universitäten Jena und Ulm, die mit Prof. Dr. Benjamin Dietzek-Ivanšić und Prof. Dr. Sven Rau die Sprecher stellen, sind auch das Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz, die Universitäten Wien, Mainz und Kaiserslautern sowie das Leibniz-Institut für Photonische Technologien in Jena an »CataLight« beteiligt.

Wie lange es dauert, bis sich Wasserstoff als echter Energieträger etabliert hat, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht sagen. Aber falls es dazu kommt, erhält er möglicherweise auch noch einmal eine ganz andere Farbe. ■



## »Wir wollen Dialogräume schaffen«

Wasser ist ein existenzielles Gut – ohne sauberes Wasser können wir nicht leben. Als gesamtgesellschaftliches Problem ist das Thema Wasserknappheit aber noch nicht im öffentlichen Diskurs verankert, auch wenn der extrem trockene Sommer 2022 vielen Menschen in Deutschland noch in Erinnerung sein dürfte. Der Thüringer Wasser-Innovationscluster »ThWIC« versucht deshalb, neben der Entwicklung neuer Wassertechnologien das Thema Wasser stärker in die Öffentlichkeit zu bringen und so einen nachhaltigen Umgang mit der kostbaren Ressource zu fördern. Wie das konkret aussehen soll und welche Rolle die künftige Nachhaltigkeitsstrategie der Universität Jena im Cluster spielt, darüber spricht Dr. Karsten Gäbler im Interview.

INTERVIEW: LAURA WEIBERT

### **Was hat der Thüringer Wasser-Innovationscluster »ThWIC« mit der Nachhaltigkeitsstrategie der Universität Jena zu tun?**

Ein zentrales Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie wird sein, die Forschungsarbeit zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen, die in Jena geleistet wird, noch besser zu vernetzen. Nehmen Sie zum Beispiel die Sustainable Development Goals, die die Vereinten Nationen in der Agenda 2030 festgehalten haben: Viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unserer Universität tragen mit ihrer Forschung in der einen oder anderen Form zur Bearbeitung der 17 Ziele bei.

Mit dem Wassercluster »ThWIC« schaffen wir eine neue Plattform, mit der die Verbindungen zwischen den einzelnen Zielen anhand von Wasserproblemen herausgestellt werden können. Sauberes Wasser ist nämlich nicht nur ein eigenes Nachhaltigkeitsziel, sondern hat natürlich auch mit Themen wie Ernährungssicherheit, Gesundheit, Energie oder Konsum zu tun.

### **Was genau bedeutet das für die Forschung im Cluster?**

Hier sind die Stichworte Inter- und Transdisziplinarität ganz wichtig, die auch in der Nachhaltigkeitsstrategie stark gemacht werden. Es ist eine

Binsenweisheit, dass sich die großen Probleme unserer Zeit nicht an wissenschaftliche Disziplinen halten. Im Cluster »ThWIC« versuchen wir deshalb, die in Jena sehr gut etablierte umweltchemische Wasserforschung mit soziologischer und literaturwissenschaftlicher Forschung zu Wasserthemen zusammenzubringen. Und die Informatik ist mit ganz neuen Ansätzen zum Management wasserbezogener Daten beteiligt. Wir wollen im Cluster die Bedingungen für fachübergreifende Forschung verbessern. Interdisziplinäre Zusammenarbeit braucht mehr Zeit und erfordert ganz andere Kommunikations-Settings, weil die Beteiligten sehr unter-

**Bild links: Der Jenaer Schleichersee. Wie wichtig Schutz und nachhaltiger Umgang mit dem existenziellen Gut Wasser sind, wird noch häufig unterschätzt. · Foto: Anne Günther**



**Dr. Karsten Gäbler ist Projektkoordinator im Wassercluster »ThWIC« und als Mitglied der Senats-Arbeitsgruppe Nachhaltigkeit auch an der Entwicklung der Nachhaltigkeitsstrategie der Universität Jena beteiligt. · Foto: Jürgen Scheere**

schiedliche Zugänge zum Thema haben. Bei der Transdisziplinarität geht es darum, welchen Beitrag die Uni dazu leisten kann, dass wir als Gesellschaft diese Transformation zur Nachhaltigkeit hinbekommen. In unserem Cluster wird z. B. die Zusammenarbeit mit Unternehmen großgeschrieben, aber auch der Einbezug von Akteuren aus Politik oder Zivilgesellschaft. Diese Zusammenarbeit bringt auch ihre eigenen Herausforderungen mit sich, dafür möchten wir sensibilisieren und auch qualifizieren. Komplexe Fragen können nur gemeinsam beantwortet werden, darauf wollen wir alle Beteiligten vorbereiten und Dialogräume schaffen.

#### **Wie fördern Sie die Interdisziplinarität in der Lehre?**

Wir schaffen mit dem »ThWIC«-Zertifikat ein Angebot, mit dem Studierende ab Wintersemester 2023/24 das inter- und transdisziplinäre Arbeiten an Nachhaltigkeitsproblemen üben können. Wasser wird dabei eine Rolle spielen, aber auch andere Themen. Es geht uns vor allem darum, Studierende möglichst frühzeitig an fachübergreifendes Denken und Arbeiten heranzuführen. Wenn dabei z. B. ein Soziologie-Student und eine Umweltchemikerin in einem Seminar auf-

einandertreffen, dann kann das ein durchaus herausfordernder Clash der Wissenschaftskulturen sein. Die Unterschiede in den Herangehensweisen wahrzunehmen, genau zuzuhören und konstruktiv auf die Position des Gegenübers einzugehen, sollen die Studierenden bei uns abseits ihrer üblichen Veranstaltungen lernen können. Wir bieten dazu unter anderem Integrationsveranstaltungen an, die für alle Zertifikats-Teilnehmenden verpflichtend sind. Hier werden Fragen wie »Was heißt disziplinäre Identität?«, »Wie kann ich zwischen verschiedenen Disziplinen übersetzen?«, »Was heißt Nachhaltigkeit?« beantwortet.

Perspektivisch wollen wir daraus auch ein Weiterbildungsangebot entwickeln, das sich an Personen aus kleinen und mittelständischen Unternehmen richtet, um sie für das Wasserthema und die transdisziplinäre Zusammenarbeit zu qualifizieren. Das Ziel ist eine umfassende Lehr-Lernplattform zum Thema inter-/transdisziplinäre Wasserforschung für Nachhaltigkeit.

**Die Nachhaltigkeitsstrategie sieht auch vor, die Forschung der breiten Öffentlichkeit näherzubringen oder**

**sie sogar in die Forschung einzubeziehen. Welche Pläne gibt es hierfür im Wassercluster »ThWIC«?**

Es gibt zum Beispiel ein Augmented-Reality-Projekt, das Wasser-Infrastrukturen sichtbar machen will – das kann ein erster Einstieg ins Thema sein. In einem anderen Projekt können Interessierte selbst ihren Wasserverbrauch verfolgen. Das Ziel des Projekts »Public Water Science« ist es, über Outreach-Aktivitäten das gesellschaftliche Wasserwissen zu erweitern. Wir nennen das »Water Literacy«. Wir wollen »Wassertage« an Schulen veranstalten, bei denen die jungen Menschen Experimente machen und sich mit dem Thema Wasser spielerisch auseinandersetzen können. Außerdem wird es einen mobilen Wasserpavillon geben, der zu Unternehmenstagen fahren kann, aber auch im öffentlichen Raum sichtbar sein soll, etwa zu Aktionstagen in der Stadt. Dort gibt es Informationsmaterial zum Thema Wasser, Ansprechpersonen und vielleicht in Zukunft auch interaktive Formate. Langfristig möchten wir es schaffen, nicht nur das öffentliche Bewusstsein für die Wasserproblematik zu stärken, sondern auch gemeinsam mit den Bürgerinnen und Bürgern zum Thema Wasser zu forschen. ■

# Die Stimme der Opfer des Stalinismus

Irina Scherbakowa ist Mitgründerin der russischen Menschenrechtsorganisation Memorial. Die 2022 mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnete NGO ist inzwischen vom russischen Staat liquidiert und enteignet worden. Die Historikerin und Menschenrechtsaktivistin hat daraufhin wie Hunderttausende Russland den Rücken gekehrt und lebt derzeit im Exil in Thüringen. Das Porträt einer unermüdlichen Kämpferin für die Rechte der Entrechteten.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Ein Donnerstagvormittag im November 2022. Irina Scherbakowa sitzt in ihrer Wohnung in Weimar, die seit knapp einem halben Jahr ihr Zuhause ist und erinnert sich an den 7. Oktober 2022. »Ich saß auch hier und habe wie jetzt ein Video-Interview gegeben, als sich plötzlich ein Nachrichtenfenster in russischer Sprache öffnete. Das Online-Portal Meduza berichtete, dass der Friedensnobelpreis unter anderem an Memorial geht.« Eigentlich, so gesteht sie, habe sie bis zu diesem Moment gar nicht daran gedacht, dass dieser erste Freitag im Oktober der Tag ist, an dem das norwegische Nobelkomitee die Preisträgerinnen und Preisträger bekanntgibt.

Memorial, die vor mehr als 30 Jahren in der Sowjetunion von Irina Scherbakowa mitgegründete Menschenrechtsorganisation, war in der Vergangenheit bereits mehrfach für den Preis nominiert. Zahlreiche andere Auszeichnungen hatte die NGO bereits erhalten, etwa den alternativen Nobelpreis 2004. »Dass uns gerade jetzt in dieser schweren Zeit der Friedensnobelpreis zuerkannt wird, ist eine große Unterstützung und Anerkennung und gibt uns Gewissheit, dass die vergangenen 30 Jahre in den Augen der Weltöffentlichkeit nicht umsonst waren. Und es ist eine Motivation, diese Arbeit fortzuführen, auch unter den aktuellen schwierigen Umständen.«

Wenn sie an diesen Tag zurückdenkt, dann waren es vor allem die Umstände in Moskau, die sie beschäftigt hatten. »Meine Kolleginnen und Kollegen saßen zum Zeitpunkt der Verkündung in einem Gerichtssaal. An diesem Tag sind unsere Räumlichkeiten vom Staat gesetzwidrig konfisziert worden. Das machte die ganze Situation ziemlich absurd.« Ende 2021 war Memorial International von der russischen Regierung aufgelöst worden. Im Februar 2022 wurde dies durch den obersten Gerichtshof des Landes endgültig bestätigt. Trotzdem sind Irina Scherbakowa und ihre vielen Mitstreiterinnen und Mitstreiter seither keinen Tag untätig gewesen und arbeiten weiter in mehreren Dutzend internationalen und regionalen Memorial-Organisationen inner- und außerhalb Russlands.

Die Wochen unmittelbar nach der Ankündigung der Nobelpreisverleihung beschreibt Scherbakowa als turbulent: Interviews, Vorträge, Fernsehauftritte, die Verleihung des Marion-Dönhoff-Preises für internationale Verständigung und Versöhnung, eine Rede vor dem EU-Parlament, unermüdliche Arbeit gegen das Unrecht in ihrer Heimat. An der

Universität Jena hielt sie zu Beginn dieses Wintersemesters eine bewegende Festrede zur Feierlichen Immatrikulation. Wie auf ein Stichwort klingelt Scherbakowas Handy. Sie nimmt den Anruf entgegen und antwortet knapp: »Ich kann jetzt nicht.« Dann schaltet sie das Telefon aus und sagt entschuldigend: »So geht das die ganze Zeit.«

## Stalinistischer Terror prägte die Familiengeschichte

Irina Scherbakowa wurde 1949 in Moskau geboren, »noch während der Stalinzeit«, wie sie betont. Sie stammt aus einer kommunistisch-geprägten Familie mit jüdischen Wurzeln. Ihr Großvater war in den 1920er und 30er Jahren Funktionär der »Komintern«, der von Lenin gegründeten »Kommunistischen Internationale«. Ihre Mutter wuchs im berühmten Moskauer »Hotel Lux« auf, damals Gästehaus der Komintern. Es beherbergte in den 1930er Jahren zahlreiche politische Emigranten, viele von ihnen aus Deutschland.

»Das war eine hochpolitische Atmosphäre. Die meisten Kollegen und Freunde meines Großvaters sind zu Opfern des großen stalinistischen Terrors der 1930er Jahre geworden.« Diese Erfahrungen der Eltern und Großeltern haben Irina Scherbakowa bereits in ihrer Kindheit und Jugend geprägt. Ihr Vater war Literaturwissenschaftler und gab eine Literaturzeitschrift heraus. »Die Literatur war sein Weg, über die Geschehnisse der Stalinzeit aufzuklären«, sagt sie. In der poststalinistischen Ära der 1950er Jahre war das meist nur im Geheimen möglich; viele Bücher, die über die Schrecken des Terrors und des Gulags berichteten, erschienen im Selbstverlag und waren verboten. Bis in die Zeit des politischen »Taufwitters« in den 1960er Jahren, als die Novelle »Ein Tag im Leben des Iwan Denissowitsch« von Alexander Solschenizyn erstmals den Alltag eines Gulag-Häftlings schilderte, war nur sehr wenig zu diesem Thema überhaupt veröffentlicht worden.

Über diese Art der Literatur fand Irina Scherbakowa später ihren eigenen Zugang zur Geschichte und ihrer beruflichen Karriere. »Eigentlich wollte ich Geschichte studieren, aber nicht das ideologisierte Studium der damaligen Zeit«, erinnert sie sich. Also entschied sie sich für Germanistik. Nach Studium und Promotion an der Universität in Moskau arbeitete sie zunächst als Übersetzerin für deutsche Belletristik



**Unermüdliche Mahnerin gegen das Unrecht in ihrem Heimatland Russland: die Historikerin und Menschenrechtlerin Irina Scherbakowa. · Foto: Jens Meyer**

sowie als Journalistin und Redakteurin für Literaturzeitschriften.

Ende der 1970er Jahre begann Irina Scherbakowa heimlich Interviews mit Gulag-Überlebenden zu führen und archivierte die Gespräche auf Tonband. »Diese Menschen waren damals die einzige Quelle, die es über das Gulag-System gab. Die offiziellen Spuren waren gründlich beseitigt worden, die Archive unter Verschluss«, sagt sie. Für sie war wichtig, dass die Opfer der politischen Verfolgung nicht vergessen, sondern rehabilitiert wurden, indem sie offen über das sprechen konnten, was ihnen widerfahren war. Bis in die 1990er Jahre nahm Irina Scherbakowa etwa 100 Zeitzeugengespräche auf. Nach und nach entstand dabei ein Bild des gewaltigen Ausmaßes der stalinistischen Repression und des Unrechts.

Mit Michail Gorbatschow an der sowjetischen Partei- und Staatsspitze kamen Ende der 1980er Jahre »Glasnost« und »Perestroika«, die zur Initialzündung einer großen Bewegung wurden, die Millionen Menschen in der Sowjetunion erfasste und aus der heraus im Jahr 1988 die Menschenrechtsorganisation »Memorial« gegründet wurde. Irina Scherbakowa gehörte zu deren Gründungsmitgliedern, der Dissident und Friedensnobelpreisträger Andrei Sacharow war erster Vorsitzender.

Ende der 1980er Jahre stieß sie bei ihren Recherchen über das sowjetische Lagersystem auf die Geschichte des Sonderlagers Buchenwald 2. Zwischen 1945 und 1950 wurden auf dem Gelände des ehemaligen Konzentrationslagers der Nationalsozialisten von der sowjetischen Besatzungsmacht deutsche Gefangene interniert. Neben Buchenwald gab es neun weitere dieser Lager in der sowjetischen Besatzungszone, in denen insgesamt rund 150000 Menschen interniert waren. Irina Scherbakowa koordinierte anschließend gemeinsam mit Historikern der Fernuniversität Hagen ein Forschungs-

projekt, zu dem auch Jenaer Historiker wie Lutz Niethammer und Volkhard Knigge dazustießen, das die Geschichte dieser Speziallager aufarbeitete. Seit dieser Zeit entwickelte sich ein enger Kontakt nach Thüringen.

#### **Langjährige wissenschaftliche Kontakte nach Thüringen**

Es folgten zahlreiche gemeinsame Projekte, darunter die Ausstellung »Spuren des Gulag« von Memorial und der Stiftung Gedenkstätten Buchenwald und Mittelbau-Dora, die von Scherbakowa und Knigge geleitet, in Buchenwald und an anderen Orten in Deutschland gezeigt wurde. Seit den Nullerjahren setzte sich die Zusammenarbeit mit Norbert Frei und dem Jena Center für Geschichte des 20. Jahrhunderts der Universität Jena fort, an dem sie im Wintersemester 2008/09 Gastprofessorin war. Seit 1999 ist Scherbakowa auch selbst Mitglied des wissenschaftlichen Kuratoriums der Stiftung Buchenwald und Mittelbau-Dora.

Diese enge Beziehung nach Weimar und Jena gab den Ausschlag, dass Irina Scherbakowa heute in Thüringen lebt. »Noch unmittelbar vor dem russischen Angriff auf die Ukraine im Februar habe ich nicht damit gerechnet, dass ich Russland verlassen würde«, sagt sie heute. Mit den immer massiver werdenden Repressalien gegen Memorial und seine Mitglieder wuchs jedoch ihre Sorge, dass eine Ausreise irgendwann nicht mehr möglich sein könnte. Und so kehrte sie wie Hunderttausende ihrer Landsleute im März gemeinsam mit ihrem Mann Russland den Rücken. Zunächst lebte sie ein paar Monate in Tel Aviv und seit Sommer 2022 in Weimar. Seit Beginn des Wintersemesters hat sie als Gastprofessorin am Imre Kertész Kolleg der Uni Jena nun auch ihre wissenschaftliche Heimat in Thüringen gefunden. ■

## »Nicht mehr wegschauen!«

Im Interview erklärt Memorial-Mitgründerin Irina Scherbakowa (S. 36), was in der deutschen Politik im Umgang mit Russland falsch gelaufen ist und wie es Putin bis heute gelingt, die Bevölkerung im eigenen Land ruhig zu halten.

INTERVIEW: UTE SCHÖNFELDER

**Frau Scherbakowa, Sie gehörten seit langem zu den öffentlichen Stimmen, die vor der antidemokratischen Entwicklung in Russland und dem Krieg in der Ukraine gewarnt haben. Trotzdem kam dieser für viele Menschen in Deutschland überraschend. Warum wurde die Gefahr nicht gesehen?**

Ich denke, viele wollten sie einfach nicht sehen. Wobei man schon anerkennen muss, dass wir als unabhängige NGO durchaus gehört wurden: Es gab Besuche von Bundestagsabgeordneten in Russland, die sich über die Situation informiert haben. Memorial arbeitete viele Jahre eng mit Partnern in Deutschland, wie der Böll- und der Naumann-Stiftung zusammen. Also es gab durchaus Menschen, die die Gefahr wahrgenommen haben. Aber es gab auch eine andere Richtung, die politisch wesentlich dominanter war: Man wollte einfach aufgrund der historischen Erfahrung keinen Konflikt mit Russland. Das gilt vor allem für Ostdeutschland. Hier sitzen traumatische Besatzungserfahrungen noch immer tief, die lange verschwiegen und verdrängt wurden. Viele Menschen haben einfach Angst vor dem Krieg und gleichzeitig gab und gibt es Schuldgefühle gegenüber den Russen. Das kann man der Bevölkerung nicht zum Vorwurf machen.

**Trotzdem sind politische Fehler gemacht worden.**

Ja, eindeutig. Da wurde viel Selbstberuhigung betrieben. Zum einen gab es die traditionelle Ostpolitik, die man nicht einfach aufgeben und die guten Beziehungen zu Russland gefährden wollte. Zum anderen, und das war für uns besonders schmerzhaft, wurde immer unterstellt, Russland könne

womöglich gar nicht zur Demokratie fähig sein und hat damit vieles entschuldigt. Der schlimmste Fehler in den Beziehungen zu Russland aber war das Fokussieren auf wirtschaftliche Interessen. Das war einfach sehr kurzsichtig. Die wachsende Abhängigkeit des Westens und insbesondere Deutschlands von russischen Gas- und Ölimporten hat es Putin ermöglicht, die Beziehungen zu zersetzen. Von deutscher Seite wurde immer versucht, die russische Innenpolitik auszuklammern und von der Außenpolitik zu trennen. Davor haben wir immer gewarnt, aber unsere Warnungen wurden nicht wahrgenommen. Als Russland 2014 die Krim annektierte und in der Ostukraine Krieg führte, war eindeutig klar, wohin die Reise gehen wird. Was der Westen und Deutschland seither gemacht haben, war in meinen Augen absolut ungenügend. Seitdem wurde sehr viel Zeit verloren.

**Was ist jetzt zu tun?**

Hinschauen, nicht mehr wegschauen. Und die Fehler der Vergangenheit nicht wiederholen. Jetzt geht es einfach darum, die Ukraine zu unterstützen. Das nützt letztlich auch dem künftigen Russland, das ich vielleicht nicht mehr erleben werde. Ich glaube, dass sich Russland verändern wird. Aber das wird lange dauern. Doch wenn es Putin jetzt gelingt, den Krieg zu einem Dauerkonflikt auszudehnen, wird er immer einen Hebel in der Hand haben, den Westen zu erpressen. Dann gibt es auch für Russland lange Zeit keine Chance auf eine bessere Zukunft.

**Wie ist denn die Haltung in Russland jetzt? Warum begehren die Menschen nicht gegen Putin auf?**

Leider haben die meisten Leute in den langen Jahren der Putinschen Diktatur gelernt, sich anzupassen. Es gab und gibt einige wenige, die kritisch sind, auch diesem Krieg gegenüber. Aber das sind einfach nicht genug, um den Krieg zu stoppen. Außerdem hat man zugelassen, dass Putin einen massiven Gewaltapparat aufbauen konnte. Dessen Ausmaß ist nicht mit den finsternen Breschnew-Zeiten zu vergleichen. Heute werden in Russland wieder Menschen gefoltert! So etwas hatten wir seit der Stalin-Zeit nicht mehr. Das versetzt den Großteil der Menschen in Angst und sie resignieren, weil sie glauben, dass sie diesem Staat nichts entgegenzusetzen haben.

Hinzu kommt noch die massive Propaganda gegen den Westen, gegen die Ukraine, gegen die Demokratie. Diese Propaganda gibt den Menschen die Möglichkeit, das Vorgehen des Staates zu rechtfertigen und »beruhigt« wegzuschauen. Und das ist doppelt schlimm.

**Darf man mit Putin irgendwann über ein Ende des Krieges verhandeln?**

Mit Putin nicht. Und auch nicht verhandeln. Natürlich ist klar, dass jeder Krieg mit irgendeinem Vertrag endet. Das wird auch bei diesem Krieg der Fall sein. Aber ich denke nicht, dass Putin dabei irgendeine Rolle spielen könnte. Denn es braucht ein Mindestmaß an Zutrauen an die andere Seite, dass der Vertrag eingehalten wird. Und das hat Putin verspielt. Hoffentlich hat das jetzt auch der Westen verstanden. Und in meinen Augen ist ganz klar, dass die Ukraine die Bedingungen für jeglichen Vertrag stellen muss. Nicht Russland und auch nicht der Westen. ■

# Multilateralismus am Ende?

Seit Beginn des Angriffskriegs Russlands gegen die Ukraine steht der Sicherheitsrat der Vereinten Nationen (UN) – und mit ihm das gesamte System der kollektiven Sicherheit – in der Kritik. Schließlich waren die in der UN-Charta festgelegten Mechanismen der Konfliktprävention bzw. -bearbeitung nicht in der Lage, den Krieg zu verhindern oder ihn seitdem nennenswert zu entschärfen. Ist der Sicherheitsrat damit gescheitert?

KOMMENTAR: CHRISTIAN KREUDER-SONNEN

In der Theorie funktioniert das UN-System der kollektiven Sicherheit so, dass der Überfall eines Staates auf einen anderen Staat von der internationalen Gemeinschaft, vertreten durch den UN-Sicherheitsrat, so stark diplomatisch, wirtschaftlich oder militärisch sanktioniert wird, dass ein potenzieller Aggressor von seinem Vorhaben abgeschreckt oder ein tatsächlicher Aggressor von seinem eingeschlagenen Kurs abgebracht wird. In der Praxis wird die Umsetzung dieses Prinzips jedoch durch die Abstimmungsregeln im Sicherheitsrat erschwert. Wie allseits bekannt, bedarf es zur Verabschiedung einer Resolution der Zustimmung der fünf ständigen Mitglieder, darunter auch Russland.

Dieses Vetorecht für die Siegermächte des Zweiten Weltkriegs hat ein effektives multilaterales Management von Krisen unter Beteiligung eines oder mehrerer dieser Staaten von vornherein praktisch ausgeschlossen. Nicht zuletzt auf Betreiben der USA sollte die Funktion des Sicherheitsrats faktisch darauf begrenzt werden, einerseits Kriege kleinerer oder aufstrebender Staaten zu erschweren und andererseits Kriege zwischen den Großmächten selbst zu verhindern. Eigene koloniale, imperiale oder später liberale Kriege wollten sich die Vetomächte jedoch offenhalten. Insofern kann von einem Scheitern des Sicherheitsrates im Ukraine-Krieg eigentlich nicht gesprochen werden. Vielmehr zeigen sich mit aller Klarheit die absichtlich angelegten Schwächen des Systems.

Doch selbst ein Sicherheitsrat mit repräsentativerer Mitgliedschaft und ohne Vetorecht hätte in der gegenwärtigen

geostrategischen Lage wohl nur bedingt Veränderungen erzwingen können. Zwar wäre durch Mehrheitsentscheidungen denkbar, dass der Rat Russland per Resolution verurteilt und weitreichendere Sanktionen angenommen hätte. Ein militärischer Eingriff hingegen wäre aber wohl weiterhin ausgeschlossen gewesen. Schließlich ist die NATO die einzige militärische Kraft, die fähig wäre, eine vom Sicherheitsrat autorisierte Mission gegen die russische Invasion der Ukraine durchzuführen. Dies hätte jedoch eine direkte Konfrontation von Nuklearmächten zur Folge, deren Verhinderung im übergeordneten Interesse der Menschheit insgesamt liegt.

## UN spielen auch im Ukraine-Krieg eine wichtige Rolle

Es gehört zu den bitteren Erkenntnissen aus dem Ukraine-Krieg, dass die institutionellen Errungenschaften der Nachkriegszeit sowie ihre Vertiefung nach dem Ende des Kalten Krieges allein keinen effektiven Schutz vor Macht- und Interessenpolitik mit kriegerischen Mitteln bieten. Der Multilateralismus und das Völkerrecht sind nur so stark wie die Internalisierung ihrer Normen durch die Mitglieder der internationalen Gemeinschaft. Solange Staaten wie China und Indien, die zusammen ein Drittel der Erdbevölkerung ausmachen, und mit ihnen eine Menge autoritär regierter Entwicklungsländer schon eine Verurteilung der russischen Aggression ablehnen, ist mit den bestehenden Instrumenten wenig zu gewinnen. Nichtsdestotrotz



Christian Kreuder-Sonnen ist Juniorprofessor für Politikwissenschaft mit Schwerpunkt Internationale Organisationen. · Foto: Anne Günther

spielen die Vereinten Nationen auch im Ukraine-Krieg eine enorm wichtige Rolle. Neben einigen deklaratorischen Resolutionen der UN-Generalversammlung und dem Ausschluss Russlands aus dem UN-Menschenrechtsrat, die die diplomatische Isolation des Landes vorantrieben, steht vor allem die humanitäre Komponente der Arbeit der UN im Vordergrund. Spezialorganisationen wie das UN-Flüchtlingshilfswerk, das Welternährungsprogramm oder das UN-Büro zur Koordination humanitärer Hilfe (UNOCHA) sind hier in der Erstversorgung zentral und tragen zur Linderung menschlichen Leids bei. Zudem sind diejenigen Unterorgane der UN von großer Bedeutung, die für die unabhängige Beschaffung und Bewertung von Informationen zuständig sind. Dazu gehören die Hochkommissarin für Menschenrechte, welche Anhaltspunkte für russische Kriegsverbrechen dokumentiert, die Hohe Vertreterin für Abrüstungsfragen, die das russische Argument eines biologischen Waffenprogramms der Ukraine entkräftet hat, und der Internationale Gerichtshof, welcher das russische Argument eines ukrainischen Genozids zurückgewiesen hat.

Die Vereinten Nationen können Kriege nicht verhindern. Sie leisten jedoch einen unabdingbaren Beitrag zur humanitären Abfederung der Konsequenzen und ermöglichen mit ihrem institutionellen Netzwerk eine Aufarbeitung der Konflikte. Ob ihnen bei Friedensverhandlungen oder zur anschließenden Friedenssicherung eine noch größere Rolle zukommen mag, bleibt abzuwarten. Viel hängt hier auch von der Autorität des UN-Generalsekretärs ab. ■

## Was können wir uns sparen – und was nicht?

Beleuchtung, Büroräume, Bonusmeilen – worauf Forschende der Universität und ihre Teams angesichts von Energie- und Klimakrise, anhaltender Corona-Pandemie und Krieg in der Ukraine verzichten, verraten sie in der Umfrage. Aber auch, was für sie unverzichtbar ist und was sich in der Krise als überflüssig und überholt herausgestellt hat.

UMFRAGE: IRENA WALINDA



**Birgitta König-Ries**

PROFESSORIN FÜR VERTEILTE  
INFORMATIONSSYSTEME

FOTO: JENS MEYER

*Nicht sparen können wir uns unsere Forschung, die Bewahrung, Erschließung und Integration FAIRer Forschungsdaten zum Ziel hat – und so zur Nachhaltigkeit von Wissenschaft beiträgt und dazu, Lösungen zur Bewältigung von Klima- und Biodiversitätskrise zu entwickeln.*

*Worauf wollen wir nicht verzichten? Auf einen guten Mix aus digitalen und Präsenzformaten in Forschung und Lehre: Schnelle digitale Kommunikation in der Arbeitsgruppe, aber auch persönliche Treffen; Streaming von Vorträgen bei Konferenzen, aber auch die Vernetzungsmöglichkeiten, die nur echte Treffen bieten; hybride Lehre mit viel Raum für interaktive Elemente.*

*Was sollten wir uns nicht sparen? Pausen. Digitale Formate verführen zu einer zu engen Taktung. Man kann nahtlos von einer Videokonferenz in die nächste wechseln. Auf der Strecke bleibt dabei Zeit, um Luft zu holen, Zeit, um Treffen vorzubereiten und Zeit in Ruhe über etwas nachzudenken.*

*Die sich überlagernden Krisen der Zeit gehen auch an rechtswissenschaftlicher Forschung und Lehre nicht vorbei. Themenstellungen und Dringlichkeiten verschieben sich; objektive Forschungsnotwendigkeiten überlagern mitunter individuelle und langfristig ausgerichtete wissenschaftliche Interessen. In gewissem Maße ist dies jedoch ein Charakteristikum der Rechtswissenschaft als solcher, das mit der Entwicklung der Rechtsordnung, auf die sie im Wesentlichen bezogen ist, stets untrennbar verbunden ist.*

*Zu hoffen ist, dass der Krisenmodus von begrenzter Dauer ist, harren doch Themen wie Klimaschutz, Digitalisierung und demografischer Wandel auch der rechtswissenschaftlichen Durchdringung. Zu begrüßen ist der digitale Schub, den Lehre, Selbstverwaltung und Tagungen erfahren haben. Dies sollten wir im Interesse von Ausbildungsqualität, Nachhaltigkeit und Zeitmanagement beibehalten. Nicht zuletzt das nicht mehr in Papierform einzureichende Formular ist im Uni-Alltag ein echter Fortschritt. Zugleich ist die besondere Qualität des persönlichen Austauschs vor Ort deutlich geworden. In Anbetracht dessen gilt weithin: Die Zukunft ist hybrid!*



**Matthias Knauff**

PROFESSOR FÜR ÖFFENTLICHES  
RECHT, INSBESONDERE ÖFFENTLICHES  
WIRTSCHAFTSRECHT

FOTO: JAN-PETER KASPER



## Malte C. Kaluza

PROFESSOR FÜR  
RELATIVISTISCHE LASERPHYSIK

*In den Laboren, in denen wir unsere Hochleistungslaser betreiben, ist es gar nicht so einfach, Energie zu sparen. Denn für den Experimentierbetrieb brauchen wir exakt konstante Temperaturen, weshalb die Klimaanlage deutlich mehr elektrische Energie verbraucht als die Laser selbst. Einen großen Anteil am Energieverbrauch haben auch die Computer und die anderen elektronischen Geräte, die zum kontrollierten Laserbetrieb notwendig sind. Hier haben wir bereits die Effizienz verbessert, indem wir die Anzahl der Computer soweit wie möglich reduzieren. Außerdem schalten wir alle nicht benötigten Geräte konsequent ab, was auch die durch die Klimaanlage abzuführende Wärmeenergie verringert.*

*Jede Reduzierung der Energieverbraucher und Wärmequellen im Labor macht sich somit doppelt in der gesamten Energiebilanz bemerkbar. Auf solche Gesichtspunkte ist in der Vergangenheit in der Forschungsarbeit viel zu wenig Wert gelegt worden, die aktuelle Krise zeigt aber, dass sie ein sehr wichtiger Aspekt bei der Forschung sind und in Zukunft bleiben werden.*

FOTO: JENS MEYER

*Was können wir uns sparen – und was nicht? Beide Fragen sind schwierig zu beantworten – einerseits möchten wir weder bei der Lebensqualität noch beim Wohlstand Abstriche machen. Denkt man genauer darüber nach, ist es aber genau das, was momentan von uns gefordert wird. Ich bin der Meinung, dass alle einen Beitrag leisten müssen, diesen aber auch ein Stück weit individuell ausgestalten dürfen sollten.*

*Auf unseren Arbeitsalltag bezogen müssen wir in erster Linie daran arbeiten, unsere Prozesse effizienter und vor allem ressourcenschonender zu gestalten. Das ERP-Projekt ist ein richtiger Anfang und ich denke, dass wir da langfristig auf einem sehr guten Weg sind.*



## Kristina von Rhein

GESCHÄFTSFÜHRERIN DER  
WIRTSCHAFTSWISSEN-  
SCHAFTLICHEN FAKULTÄT

*Während Museen mit Hochdruck an Einsparungen von Energie und Klimatechnik arbeiten und Notfallpläne erstellen, kann sich die universitäre Kunstgeschichte nur jene Sparmaßnahmen zu eigen machen, die wir alle aus unserem Alltag kennen: das Drosseln der Heiztemperatur, gezielteres Lüften, das Vermeiden unnötiger Wege oder auch die vermehrte Nutzung des Homeoffice, damit statt zweier nur ein Arbeitsraum beheizt werden muss.*

*Woran wir nicht ohne einschneidende Verluste sparen können, hat uns die erste Zeit der Pandemie gezeigt: an persönlichem Austausch und an der direkten Begegnung mit originalen Kunstwerken, die durch Digitalisate nie vollauf ersetzt werden kann. Über die aktuelle Energiekrise hinaus wäre ein Umdenken an anderer Stelle zu erwägen. Wir sollten weniger und dafür hochwertiger publizieren und akademische Karrierewege umgestalten. Denn es droht eine Verschwendung von Lebenszeit und Chancen, wenn wir jüngere Kolleginnen und Kollegen nach der Promotion auf befristeten Stellen weiterqualifizieren, ohne auf Dauer angemessene Beschäftigungsaussichten bieten zu können.*



## Johannes Grave

PROFESSOR FÜR NEUERE  
KUNSTGESCHICHTE

FOTO: ANNE GÜNTHER

FOTO: ANNE GÜNTHER



## Christopher Spehr

PROFESSOR FÜR  
KIRCHENGESCHICHTE

Die Krisen der vergangenen Jahre haben in positiver Weise zu einer Flexibilisierung der Arbeitsformen, zum Überdenken bisheriger Arbeitsbedingungen und -strukturen sowie zu mehr Einfallsreichtum in der Unterrichtsgestaltung geführt. Durch die digitale Lehre und digitale Kommunikationsformen in Forschung und Verwaltung konnten wir eine stärkere Partizipation erreichen und Reisezeiten sowie Fahrtkosten einsparen. Zudem verstärkte sich das Bewusstsein für Nachhaltigkeit, etwa bei der Energienutzung oder beim Papierverbrauch.

Zugleich sind mir aber auch die Schwächen der Online-Formate deutlich geworden: Wenn der Strom ausfällt oder das Uni-Netzwerk zusammenbricht, kommt es zu erheblichen Einschränkungen. Wichtiger noch: Die persönliche Begegnung im universitären Alltag kann zwar durch digitale Formate ergänzt, nie aber ersetzt werden. Der kreative Austausch untereinander bedarf der direkten Begegnung, ob im Seminarraum, am Arbeitsplatz oder in der Gremiensitzung.

FOTO: ANNE GÜNTHER

Betrachtet man den zunächst erzwungenen, dann in Teilen durchaus geschätzten Verzicht, stehen in meiner Arbeitsgruppe kurze Reisen ganz oben auf der Liste. Besprechungen bis hin zu kleinen Konferenzen lassen sich hervorragend online abhalten und so besser in den Alltag integrieren. Das hat sich als Gewinn herausgestellt, denn mit den in den Fokus gerückten technischen Möglichkeiten entstand ein standortübergreifendes Seminar, das uns ganz neue Einblicke liefert.

Auch Kooperationen in der Forschung werden einfacher, wenn man sich viel häufiger online sprechen kann und nicht nur auf Tagungen. In meiner Arbeitsgruppe mit vielen Aufgaben in der Lehre, insbesondere Laborpraktika, ist die Präsenz am Arbeitsplatz aber weiterhin unverzichtbar. In der Lehre jedoch ausschließlich auf Präsenz zu setzen, ist überholt. Es ist viel einfacher, auch diejenigen einzubeziehen, die aus guten Gründen nicht vor Ort sein können. Energie spart man am Arbeitsplatz trotzdem durch bewusstes Heizen und Lüften.



## Holger Cartarius

PROFESSOR FÜR  
PHYSIK UND IHRE DIDAKTIK

FOTO: ANNE GÜNTHER



## Frank Hellwig

PROFESSOR FÜR  
SPEZIELLE BOTANIK

Die Corona-Pandemie hat uns einen ordentlichen Impuls auf dem Weg zur Digitalisierung in der Lehre gegeben. Auf der anderen Seite hatten wir bei unserer praktischen Lehre doch mit Problemen zu kämpfen, etwa in Kursen zur Pflanzenbestimmung oder bei Praktika im Gelände. Mit Blick auf Klimaschutz und Energiekrise haben wir den Anstoß dafür gegeben, die Gewächshäuser im Botanischen Garten künftig weitgehend mit erneuerbaren Energien zu beheizen. Dabei sollen Geothermie und Solarenergie genutzt werden, wodurch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß zum größten Teil reduziert werden kann.

Der Einsatz von digitalen Kommunikationsmitteln hat außerdem viele Dienstreisen überflüssig gemacht, ebenfalls ein Beitrag zum Klimaschutz und darüber hinaus eine enorme Zeitersparnis. Allerdings wurde auch deutlich, dass es von Zeit zu Zeit einer Begegnung in Präsenz bedarf, um das Miteinander und das gegenseitige Verständnis zu pflegen. Schließlich berührt uns auch der Krieg in der Ukraine. Kooperationen mit russischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern werden nicht fortgeführt oder sind zurückgestellt.

FOTO: ANNE GÜNTHER

*Mein Team arbeitet auf dem Gebiet der Mikrobiellen Kommunikation. Wir gehören zu den zahlreichen Gruppen an unserer Universität, die Themen zur Nachhaltigkeit beforschen. Aber sind unsere Forschungsaktivitäten selbst auch nachhaltig? Im Grunde muss diese Frage mit »Nein« beantwortet werden. Denn: Wir verbrauchen viel Energie, um unsere analytischen Geräte laufen zu lassen, nutzen Kunststoffgefäße und Pipettenspitzen für die Kultivierung unserer Modellorganismen und wir reisen zu unseren Feldstationen und Konferenzen.*

*Diese Aktivitäten sind aber für eine produktive Forschung unerlässlich. Wir hinterfragen die Betriebszeiten der Geräte, überlegen, wo wir Müll vermeiden können, ohne Experimente zu gefährden und wir evaluieren gründlich, welche Reisen notwendig sind und wo es sinnvolle Alternativen gibt. Unser Verhalten im Laboralltag hat sich verändert und kritisches Hinterfragen der Ressourceneffizienz gehört jetzt mit zur Planung. Abstellen können wir den Ressourcenverbrauch allerdings nicht, wenn wir weiterhin effizient neue Erkenntnisse erhalten wollen.*



## Georg Pohnert

PROFESSOR FÜR  
ANALYTISCHE CHEMIE

FOTO: ANNE GÜNTHER



## Jutta Hübner

PROFESSORIN FÜR  
INTEGRATIVE ONKOLOGIE

*ENERGIE: Sparen können wir unnötigen Energieverbrauch, mit dem wir nichts Wichtiges erreichen können. Nicht sparen sollten wir an der Energie, die wir spüren, wenn wir für etwas brennen, wenn wir andere begeistern können. Begeisterung ist die beste Form erneuerbarer Energie, denn sie ist die Grundlage unserer menschlichen Existenz. WÄRME: Sparen können wir, wo wir ein oder zwei Grad verlieren dürfen, in unseren Wohnungen, vielleicht auch in Büros, aber nicht in unseren Krankenzimmern, Arztpraxen und Seniorenwohnheimen. RESSOURCEN: Sparen dürfen und müssen wir, wo Ressourcen verbraucht statt geschaffen werden, nie da, wo es um die wichtigsten menschlichen Ressourcen geht: um Werte, Freiheit, Würde und die Möglichkeit, dem eignen Leben einen Sinn zu geben. KRAFT: Sparen müssen wir, wo Kraft nur der Zerstörung dient, nicht da, wo sie aufbaut, Menschen Schutz und Halt gibt und uns nicht machtlos erscheinen lässt.*

*Sparen sollten wir uns vor allem die Betonung des Negativen in der Alltagssprache und der Wissenschaftskommunikation. Stattdessen sollten wir fragen, was wir uns leisten können und was wir leisten müssen. Nämlich: die Überzeugung, dass Forschung einen wichtigen Beitrag zur Lösung heutiger und zukünftiger Probleme leistet; das Engagement in der Lehre, das junge Menschen begeistert, mit anzupacken und nicht an ihrer eigenen Zukunft zu verzweifeln; den Mut, auch wenn alle vom Schlechten reden, richtig hinzusehen und das Gute, Schöne und Richtige zu sehen und sich dafür einzusetzen.*

FOTO: ANNA SCHROLL

Restauratorin Katharina Heiling bei ihrer Arbeit im historischen Karzer der Jenaer Universität. Im Sommer 2022 hat sie die Malereien an den Wänden des ehemaligen Studentengefängnisses stabilisiert und gereinigt sowie Fehlstellen retuschiert. Die Motive der Malereien nehmen Bezug auf die römische Geschichte: den »Raub der Sabinerinnen«, in Gestalt von Professoren, die sich mit Damen aus dem Staub machen (auf der Wand links) und »Marius auf Carthago« (die Figur, an der die Restauratorin gerade arbeitet). Über ihre Arbeit im Karzer spricht Katharina Heiling in einem Video (QR-Code). · Foto: Jens Meyer



## Fakten statt Legenden

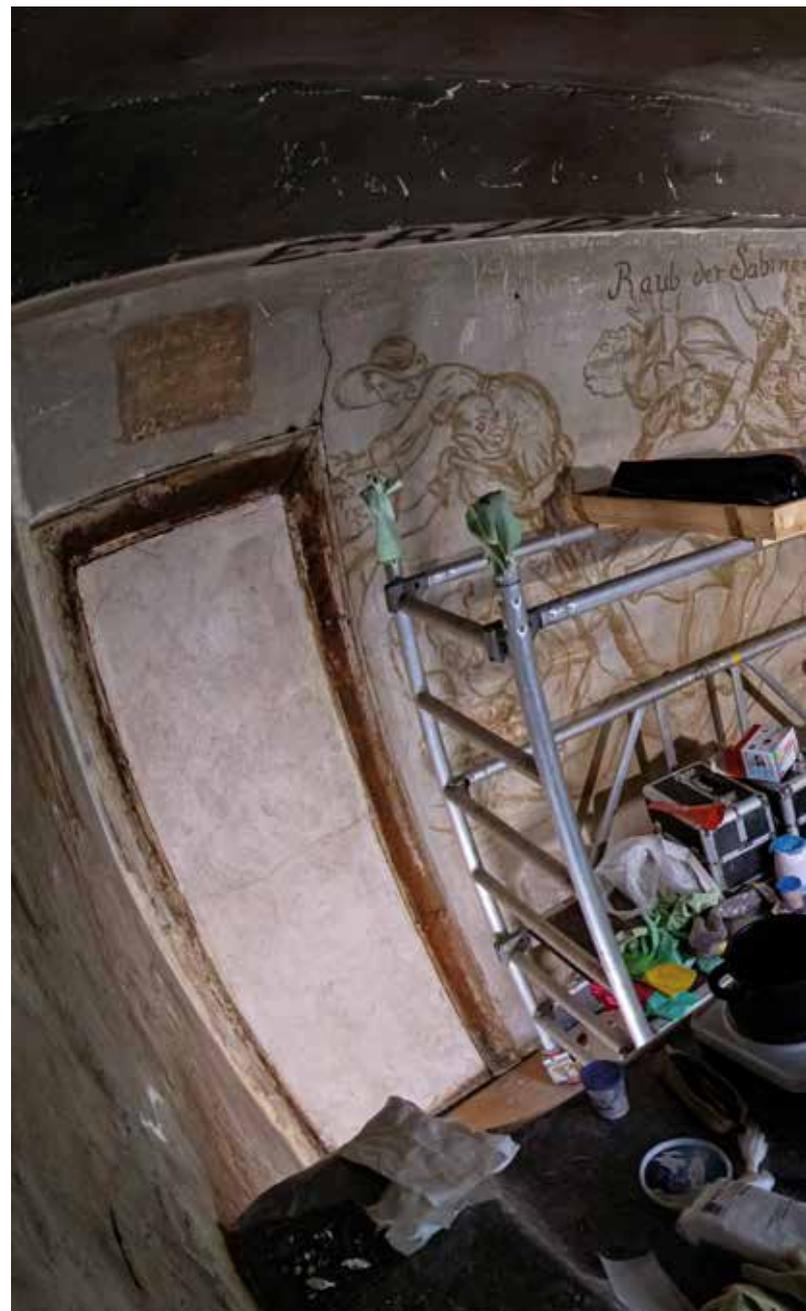
200 Jahre nach seiner Ausmalung ist das ehemalige Studentengefängnis – der Karzer – der Universität Jena restauriert worden. Dabei stellte sich heraus, dass seine Geschichte neu erzählt werden muss.

TEXT: AXEL BURCHARDT

Vor gut 200 Jahren, im Juli 1822, soll einer von damals neun Karzern der Universität Jena an nur einem Tag ausgemalt worden sein. Die oft erzählte Geschichte besagt, der Schweizer Student Martin Disteli habe damals als Gefangener mit Blut, Kot und anderen organischen Materialien zahlreiche Szenen und karikierte Personen an die Wände der etwa 15 Quadratmeter großen Zelle gemalt. So gut die Geschichte auch klingt, sie ist eine Legende, wie die Restaurierung dieser historischen Karzerzelle 200 Jahre später eindeutig belegt hat.

### Thüringens einziger historischer Karzer

Das ehemalige Studentengefängnis, das 1738 errichtet und bis Mitte des 19. Jahrhunderts genutzt wurde, befindet sich in dem Gebäude, das an das alte Senatsgebäude der Universität grenzt und heute Teile des Instituts für Anatomie beherbergt. Das Fenster dieses Karzers erlaubt einen Blick auf den Kollegienhof. Lange Zeit wurde der Karzer nur zu besonderen Gelegenheiten geöffnet. Zu groß war die Angst, die Besucherinnen und Besucher könnten durch Schwitzen oder durch Berührungen der seltenen Bemalung schaden. »Denn es ist der einzige historische Karzer in Deutschland, der vollständig von nur einem Künstler ausgemalt wurde«, sagt Dr. Babett Forster, Leiterin der Kustodie der Universität. Doch sie und ihre Mitarbeiterin Gina Grond wollten dieses historische Kleinod gerne der Öffentlichkeit stärker zugänglich machen. Grundlage dafür war eine Restaurierung mit entsprechender Sicherung der Bemalung. Als die Kustodie dafür



Fördermittel vom Thüringer Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie, dem Verein für Jenaer Stadt- und Universitätsgeschichte sowie der Freundesgesellschaft der Universität eingeworben hatte, konnte die Restaurierung starten. Beauftragt wurde die Restauratorin und Karzer-Spezialistin Katharina Heiling. Sie sandte noch vor Beginn der praktischen Arbeiten in Jena einige Materialproben aus dem Karzer an ein Speziallabor in Prag. Die Analyse belegte: Es wurde weder mit Blut noch mit Kot gemalt, sondern mit vor 200 Jahren gängigen Farben. Diese wurden vermutlich von Disteli selbst aus den natürlich vorkommenden Erdpigmenten gelber und brauner Ocker sowie den Bindemitteln Leinöl und Kalkkasein hergestellt – ein Teil der Legende war widerlegt. Und auch die Geschichte, Disteli habe den Karzer als Gefangener in einer Nacht-und-Nebel-Aktion bemalt, konnte durch Katharina Heiling dem Reich der Mythen zugeordnet



werden. Nach einer Oberflächenreinigung war ein ungestörter Blick auf die Malereien möglich. Anstatt einer zügig in den nassen Kalk gemalten Fresko-Technik arbeitete Disteli in Seccotechnik und malte auf eine bereits trockene Kalktünche, konnte Katharina Heiling nachweisen.

#### **Kunstwerke sind nicht »in Haft« entstanden**

Auffällig dabei ist der Einsatz verschiedener Bindemittel an unterschiedlichen Wänden, wodurch sich die Malereien der Nordwand maßgeblich von den anderen Malereien unterscheiden. Man gehe jetzt davon aus, sagt Kustodin Forster, dass der Student Martin Disteli nicht eingesperrt, sondern zu Besuch war und die Möglichkeit nutzte, die bisher »weißen Wände« des Karzers zu bemalen. Das Datum, 30. Juli 1822, be-

zog sich wahrscheinlich auf den Abschluss dieser Arbeiten. Das Werk des Schweizer Malers und Polit-Karikaturisten Martin Disteli ist ein Kunstwerk, das es zu bewahren gilt. Restauratorin Heiling hat die Wände und die Farbe stabilisiert, die Malereien gereinigt und Fehlstellen retuschiert. »Spuren, die auf den Gebrauch des Karzers hinweisen, wurden nicht restauriert«, sagt sie. Eine besondere Herausforderung war ein Fund, den Heiling bei einer Untersuchung mit UV-Strahlung der vierten, bislang einfarbigen Wand gemacht hatte. Die kurzwellige Strahlung kann Materialien eines Kunstwerks zum Fluoreszieren anregen und ermöglicht dadurch eine differenziertere Wahrnehmung der verwendeten Malmaterialien. Als Ergebnis dieser Untersuchung wurde nachgewiesen, dass sich hinter später hinzugefügten Farbschichten weitere Malereien befinden. »Die Wand wurde später übermalt«, ist sich Heiling sicher. ■



FOTO: BEATRIX HEINZE

## Leben im Erdinneren

Mikroorganismen in Grundwasserleitern tief unter der Erdoberfläche produzieren ähnlich viel Biomasse wie solche in manchen Meeresbereichen. Zu diesem Ergebnis kamen Forschende unter Leitung der Universität Jena und des Deutschen Zentrums für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv).

Mit einer einzigartigen, hochempfindlichen Messmethode mit radioaktivem Kohlenstoff konnten sie erstmals nachweisen, dass diese Lebensgemeinschaften in absoluter Dunkelheit nicht auf Sonnenenergie angewiesen sind. Stattdessen können sie ihre Energie selbstständig aus der Oxidation von Gestein oder aus Stoffen gewinnen, die nach unten transportiert werden. Die Studie wurde in »Nature Geoscience« veröffentlicht (DOI: 10.1038/s41561-022-00968-5). Tilch

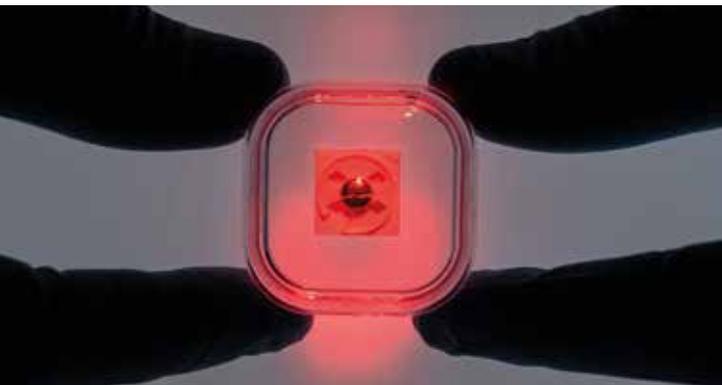


FOTO: JENS MEYER

## Beute des »Wanderfalken«

Ein internationales Forschungsteam mit Jenaer Beteiligung hat Bodenproben untersucht, die die japanische Raumsonde Hayabusa-2 (»Wanderfalken«) auf dem Asteroiden Ryugu einsammelte (Foto). Aus der Analyse des Materials lassen sich Erkenntnisse über die Entstehung des Asteroiden und die Prozesse gewinnen, die sich in den ersten fünf Millionen Jahren nach der Geburt unseres Sonnensystems abspielten. Darüber berichtete das Team in »Science« (DOI: 10.1126/science.abn8671). Die Forschenden fanden unter anderem Belege dafür, dass die »Kinderstube« von Ryugu nicht im zentrumsnahen Bereich unseres Sonnensystems gelegen hat, wo sich der Asteroid heute bewegt, sondern im äußeren Bereich. Denkbar sei, dass Ryugu früher ein Komet war. Bei seiner Annäherung an die Sonne sei das Wasser gewissermaßen verdunstet und der feste Staub blieb übrig. Schimmel



FOTO: MARKUS MUGRAUER

## Roter Riese war einst gelb

Mit fortschreitender Kernfusion im Innern eines Sterns ändern sich seine Helligkeit, Größe und Farbe. Die Astrophysik kann aus diesen Eigenschaften Informationen zu Alter und Masse eines Sterns herauslesen. Sterne mit deutlich mehr Masse als der der Sonne sind blau-weiß oder rot – der Übergang zu Rot via Gelb und Orange geschieht für astronomische Verhältnisse dabei relativ rasch. Einem Team der Universität Jena ist es gelungen, einen solchen Farbwechsel zeitlich sehr genau einzuordnen. Sie ermittelten mit Hilfe historischer Quellen, dass Beteigeuze – der helle rote Riesenstern links oben im Sternbild Orion (Foto) – vor rund 2000 Jahren noch gelb-orange war. Über ihre Forschungsergebnisse berichteten sie im Magazin »Monthly Notices of the Royal Astronomical Society« (DOI: 10.1093/mnras/stac1969). sh



FOTO: UTA VON DER GÖNNA

## Test für das Stimmgedächtnis

Ein Jenaer Forschungsteam entwickelte einen standardisierten Test für das Stimmgedächtnis. Der frei im Internet verfügbare »Jena Voice Learning and Memory Test« soll Forschungsdaten zur Personenwahrnehmung besser vergleichbar machen und könnte perspektivisch auch in der klinischen Diagnostik oder Forensik verwendet werden. Teilnehmende, die den Test absolvieren, lernen zunächst unterschiedliche Frauen- und Männerstimmen kennen. In der anschließenden Testphase geht es darum, die Lernstimmen mehrfach aus unterschiedlichen Hörproben zu erkennen. In der Evaluation hat sich der Test als verlässliches Instrument zur Messung der menschlichen Fähigkeit, Stimmen zu lernen und wiederzuerkennen, erwiesen. Das Studienteam konnte mit seinem im Journal »Behavior Research Methods« publizierten Test sogar Super-Recognizer für Stimmen und »stimmblinde« Menschen identifizieren (DOI: 10.3758/s13428-022-01818-3). vdG

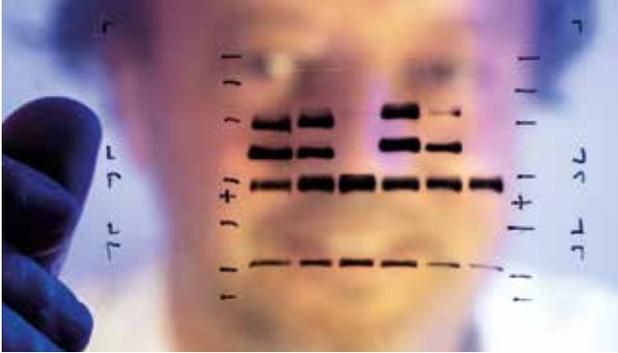


FOTO: JENS MEYER

## Neuer Ansatz in der Tumorthherapie

Einen neuartigen Therapieansatz zur Behandlung bösartiger Tumore des Lymphsystems hat ein Forschungsteam der Universität Jena gemeinsam mit Forschenden aus Mainz, Regensburg und Montreal (Kanada) entdeckt. Wie das Team zeigt, führt die Behandlung bestimmter B-Zell-Lymphome mit dem Enzym-Inhibitor »Marbostat 100« zu einem deutlich verlangsamten Wachstum der Tumorzellen. Dies schreiben die Forschenden in der Zeitschrift »Oncogene« (DOI: 10.1038/s41388-022-02450-3). Sie konnten zeigen, dass die spezifische Hemmung eines Enzyms (Histon-Deacetylase 6) zu einem signifikanten Absinken der Konzentration des Transkriptionsfaktors »Myc« in den Tumorzellen führt. Langfristiges Ziel sei es, eine neue Kombinationstherapie zur Behandlung aggressiver Krebsarten zu entwickeln. US

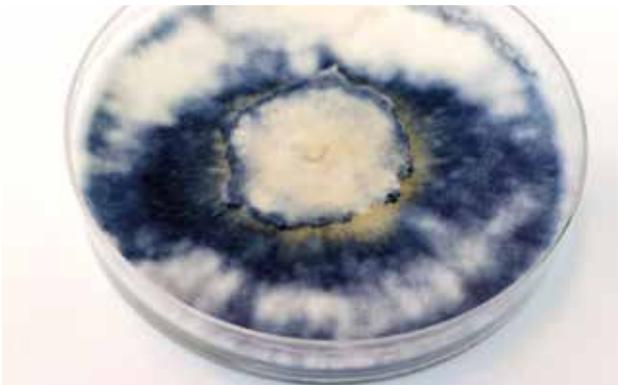


FOTO: STEFANIE LAWRINOWITZ

## Blauer Pilz in neuem Licht

Der blaue Rindenzpilz (Foto) wächst auf Baumstämmen und Ästen von Laubbäumen und zeichnet sich durch seine intensive kobaltblaue Farbe aus. Die Substanzklasse, aus der sich diese blaue Farbe ableitet, ist bei vielen Pilzarten verbreitet. Sie ermöglicht es den Pilzen, bioaktive Stoffe herzustellen, die Totholz abbauen und durch die sie mit ihrem mikrobiellen Umfeld interagieren.

Forschende des Exzellenzclusters »Balance of the Microverse« der Universität Jena befassten sich nun genauer mit der Frage, wie der Pilz diese blaue Substanz herstellt und fanden heraus, dass ein Faktor entscheidend ist: Licht. Sie konnten zeigen, dass das Gen, das für die Färbung sorgt, erst unter Lichteinfluss korrekt abgelesen werden kann. Die Ergebnisse der Studie stellen die Forschenden in der Fachzeitschrift »Microbiology Spectrum« vor (DOI: 10.1128/spectrum.01065-22). Gold

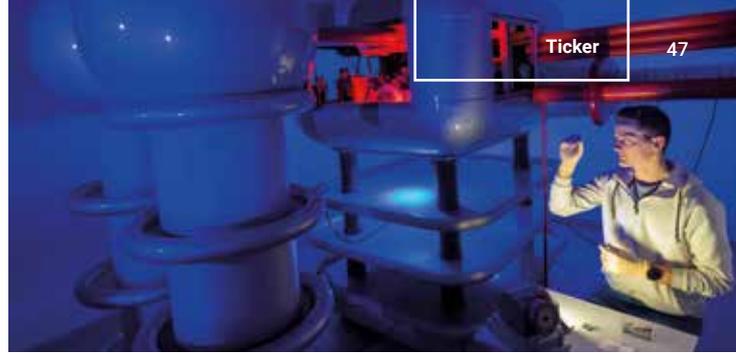


FOTO: JENS MEYER

## Licht beim Erlöschen zusehen

Ein Team der Universität Jena hat eine neue Kamera, die ultraschnelle Prozesse zeitaufgelöst misst, an der Röntgen-Nanosonde »ID16B« des europäischen Synchrotrons ESRF in Grenoble (Frankreich) installiert. Mit ihr konnte erstmals gemessen werden, wie das Licht eines Leuchtzentrums in einem Nanodraht nach dessen Anregung durch einen Röntgenpuls abklingt. Diese Grundlagenforschung eröffnet Potenziale, Nanodrähte in der Quantenkommunikation einzusetzen – zum Beispiel durch die Verwendung von Nanodrähten als Wellenleiter für Licht. Die Nanodrähte aus Halbleitermaterial enthalten sogenannte Fremdatome, die als Leuchtzentren fungieren. Ihre ersten Ergebnisse haben die Forschenden in der Fachzeitschrift »Advanced Science« veröffentlicht (DOI: 10.1002/advs.202205304). AB



FOTO: JENS MEYER

## Polymere verkapseln Duftstoffe

So angenehm manche Düfte auch sind, zu große Mengen Parfum aus Kosmetika, Putz- oder Waschmitteln können zu einer Umweltbelastung werden, wenn sie ins Abwasser gelangen. Chemikerinnen und Chemiker der Universität Jena haben neuartige Polymere entwickelt, mit denen Duftstoffe verkapselt und so dosiert über einen längeren Zeitraum freigesetzt werden. Dadurch könnte die Umweltbelastung durch Duftstoffe deutlich reduziert werden. Seine Ergebnisse hat das Team im Fachmagazin »ACS Applied Materials & Interfaces« veröffentlicht (DOI: 10.1021/acsaami.2c16205).

Die Forschenden verwenden sogenannte Pfropfcopolymer. Diese bestehen aus einer langen Molekülhauptkette und kürzeren Seitenketten. Entwickelt werden Polymere, die in ihrer chemischen Struktur Duftstoffen ähneln, wodurch sie diese an sich binden können. JK



## Farne haben »Schrott« im Erbgut

Sie gehören zu den Organismen mit dem umfangreichsten Erbgut – bis zu 720 Chromosomenpaare kann das Genom einer Farnpflanze aufweisen. Diese überbordende Größe und Komplexität hat es Forschenden bislang erschwert, grundlegende Aspekte der Farnbiologie und der Evolution der Landpflanzen durch genomgestützte Forschung zu klären. Einem internationalen Team ist es jetzt jedoch gelungen, eines der ersten Farngenome in voller Länge zu entschlüsseln, mit teilweise überraschenden Ergebnissen.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Die Sequenzierung des Genoms von *Ceratopteris richardii* war eine wahre Mammutaufgabe: Über acht Jahre haben Forschende von insgesamt 28 Institutionen auf der ganzen Welt gebraucht, um das riesige Genom des Farns zu entschlüsseln, das mit 7,46 Gigabasenpaaren mehr als doppelt so groß wie das des Menschen ist.

*Ceratopteris richardii* gehört als Farn zu den Monilophyten, den nächsten lebenden Verwandten aller Samenpflanzen, zu denen neben den Farnen insbesondere auch die Schachtelhalme gehören. »Die kleine Pflanze lässt sich leicht kultivieren und wächst sehr schnell, so dass sich innerhalb weniger Wochen an ihr der gesamte Lebenszyklus einer Farnpflanze untersuchen lässt«, sagt Prof. Dr. Günter Theißen von der Universität Jena. Das mache

diesen Farn zum idealen Modellorganismus für die Forschung, erklärt Theißen die Bedeutung des für Laien eher unscheinbaren, aber fast jedem Aquarianer als »Hornfarn« bekannten Gewächses. Der Professor für Genetik ist Teil des Teams, das jetzt das *Ceratopteris*-Genom publiziert hat.

### Sich wiederholende Sequenzen machen 85 Prozent der Farn-DNA aus

Die Analyse des Genoms liefert den Forschenden nun erste Hinweise darauf, warum Farne so viel DNA enthalten. Seit den 1960er Jahren ging man davon aus, dass dies durch mehrfache Verdopplung des Genoms passiert ist, bei der versehentlich ein zusätzlicher Chromosomensatz an die Nachkom-

men weitergegeben wird. Solche Verdopplungen des gesamten Genoms sind von vielen Pflanzen und sogar Tieren bekannt – für die Größe des Genoms von *Ceratopteris* sind sie aber nicht allein verantwortlich, wie sich jetzt zeigt. Denn hätte *Ceratopteris* seine DNA durch wiederholte Genomverdopplungen angehäuft, hätten große Teile seines Erbguts charakteristische Ähnlichkeiten zeigen müssen. Das ist nicht der Fall.

Stattdessen fanden die Forschenden ein Sammelsurium von sich wiederholenden Sequenzen und Millionen kurzer Genschnipsel, die zusammen 85 Prozent der DNA des Farns ausmachen. Statt mehrerer Genomkopien enthält *Ceratopteris* also vor allem genetischen »Schrott«, der sich über Millionen von Jahren angesammelt hat.

**Bild links: Die Hornfarn-Art *Ceratopteris richardii* ist ein Modellorganismus in der Pflanzengenetik. · Foto: Jens Meyer**

**Bild rechts: Prof. Dr. Günter Theißen ist einer der Autoren der Publikation in »Nature Plants«. Darin hat ein internationales Forschungsteam die vollständige Sequenz des Genoms von *Ceratopteris richardii* (Pflänzchen in der Box) entschlüsselt und analysiert. · Foto: Jens Meyer**



Dieser »Schrott« ist insbesondere das Ergebnis der Aktivität von Transposons und Retrotransposons, das sind sogenannte »springende Gene«, die in allen höheren Lebewesen vorkommen, sich aber in Farngenomen offenbar besonders wohl fühlen.

#### **Einblicke in die Evolutionsgeschichte von Blüten, Früchten und Samen**

Das Jenaer Team um Günter Theißen interessiert sich weniger für den nutzlosen Schrott im Genom, sondern hat im Rahmen der Studie die sogenannten MADS-Box-Gene des Farns identifiziert und analysiert. Mitglieder dieser Genfamilie kontrollieren wichtige Entwicklungsprozesse in Blütenpflanzen, insbesondere die Blüten- und Fruchtentwicklung. »Um herauszufinden, wie Blüten und Früchte im Verlauf der

Evolution entstanden sind, studieren wir in meiner Arbeitsgruppe seit langem die Evolutionsgeschichte dieser Gene«, so Theißen. Als eine der ersten Gruppen überhaupt, haben er und seine Kolleginnen und Kollegen schon vor rund 25 Jahren auch einige MADS-Box-Gene aus dem Farn *Ceratopteris richardii* isoliert. Doch erst die Analyse der jetzt vorliegenden Gesamtsequenz des Farngenoms erlaubt erstmals einen vollständigen Überblick über sämtliche im Farn vorhandenen MADS-Box-Gene.

»Die Ergebnisse zeigen uns, dass wir schon vor 25 Jahren einen durchaus repräsentativen Überblick, aber keine vollständige Kollektion der uns interessierenden Gene erhalten hatten«, sagt Genetiker Theißen. Es bestätigte sich nun, dass die spezifischen Unterfamilien an MADS-Box-Genen, die in Blütenpflanzen die Blütenentwick-

lung steuern, bereits vor 300–400 Millionen Jahren in der Evolutionslinie entstanden sind, die zu den heutigen Samenpflanzen führte, nachdem sich die Linie, die zu den heute lebenden Farnen führte, bereits abgespalten hatte.

Die jetzt vorliegende Sequenz des Farngenoms bietet auch die Grundlagen für ganz neue Forschungsfragen der Arbeitsgruppe um Theißen. »Wir wollen die Hypothese testen, dass Veränderungen in bestimmten MADS-Box-Genen eine Rolle bei der Entstehung des Samens, einer der wichtigsten Innovationen der Landpflanzen und eine wesentliche Grundlage der menschlichen Ernährung, gespielt haben.« Die dazu notwendigen Funktionsstudien mit *Ceratopteris richardii* sind technisch anspruchsvoll, aber durch die jetzt publizierte Genomsequenz wesentlich leichter geworden. ■

Original-Publikation:  
Dynamic genome evolution in a model  
fern. Nat. Plants (2022). <https://doi.org/10.1038/s41477-022-01226-7>

**Kontakt**  
Prof. Dr. Günter Theißen  
Matthias-Schleiden-Institut für Genetik,  
Bioinformatik und Molekulare Botanik

Philosophenweg 12, 07743 Jena  
Telefon: +49 36 41 9-49 550  
E-Mail: [guenter.theissen@uni-jena.de](mailto:guenter.theissen@uni-jena.de)  
[www.schleiden.uni-jena.de](http://www.schleiden.uni-jena.de)



# Fächerflügler kennen keinen Schmerz

Wenn sich Insekten der Ordnung der Fächerflügler paaren, dann ist ihr Schicksal besiegelt: Während die Männchen ihr extrem kurzes Dasein mit einem einzigen Paarungsflug verbringen, bezahlen die Weibchen die Fortpflanzung mit dem eigenen Leben. Wie sie zumindest die traumatische Begattung überstehen, das hat ein Forschungsteam jetzt herausgefunden.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Die Fortpflanzung der Fächerflügler ist nichts für schwache Nerven: Um die Eizellen ihrer Partnerinnen zu befruchten, verletzen die Männchen den »Hals« der Weibchen mit einem hakenförmigen Penis und injizieren die Samen direkt ins Körperinnere. Diese sogenannte traumatische Begattung ist für die Weibchen riskant. So kann die Verletzung zum Verlust von Körperflüssigkeit führen und eindringende Keime können Infektionen auslösen. Doch die Weibchen der Fächerflügler-Arten *Stylops ovinae* und *Xenos vesparum* haben sich im Laufe der Evolution an das rabiante Vorgehen ihrer Partner morpholo-

gisch gut angepasst. Zu diesem Ergebnis kommt ein Forschungsteam, das an den Universitäten Jena, Kiel, Freiburg sowie am Karlsruher Institut für Technologie tätig ist und das darüber im Open-Access-Fachmagazin »PeerJ« berichtet hat.

## Ein ganzes Leben versteckt im Hinterleib anderer Insekten

Fächerflügler sind weltweit verbreitet. Dass sie trotzdem fast niemand kennt, liegt sicherlich nicht nur daran, dass sie mit nur wenigen Millimetern eher

klein und unscheinbar sind. Entscheidend neben der extremen Kurzlebigkeit der Männchen von nur wenigen Stunden ist wohl, dass »die Weibchen der allermeisten Fächerflügler-Arten ihr ganzes Leben als Parasiten gut versteckt im Hinterleib anderer Insekten verbringen«, erläutert PD Dr. Hans Pohl von der Universität Jena. So lebt *Stylops ovinae* in der Weidensandbiene (*Andrena vaga*) und *Xenos vesparum* in Feldwespen-Arten der Gattung *Polistes*. Nur der etwa stecknadelkopfgroße Vorderleib schaut aus dem Wirt heraus. »Um sich überhaupt fortpflanzen zu können, müssen sich die Parasiten

Kenny Jandausch beobachtet Fächerflügler bei der Paarung. · Foto: Jürgen Scheere





Links: Versteckt im Hinterleib einer Weidesandbiene lebt ein Fächerflügler-Weibchen der Art *Stylops ovinae*. Nur der etwa stecknadelkopf-große Vorderleib (hellgelb) ragt aus dem Wirtstier heraus. Rechts: Frontalansicht eines Fächerflügler-Männchens. · Fotos: Hans Pohl



also etwas einfallen lassen«, so der Insekten-Experte. Da die übliche Begattungsregion am weiblichen Hinterleib für das Männchen nicht zugänglich ist, bleibt nur der vordere Körperteil des Weibchens, um das Sperma zu injizieren.

Wie das Team herausgefunden hat, sind die Weibchen der beiden untersuchten Arten ihren männlichen Artgenossen jedoch nicht schutzlos bei der traumatischen Begattung ausgeliefert. »Wir konnten zeigen, dass die Außenhülle der Weibchen von *Stylops ovinae* und *Xenos vesparum* an einer bestimmten Körperstelle zwischen Kopf und Rumpf deutlich verdickt ist. In dieser Region sticht das Männchen mit seinem Penis in das Weibchen«, erläutert Doktorand Kenny Jandausch. Die gesamte Hülle enthält viel Resilin, ein Eiweißmolekül, das die Außenhaut besonders elastisch macht. Da die Haut an der Einstichstelle jedoch dicker ist als an anderen

Stellen, ist die Verletzung dort für das Fächerflügler-Weibchen weniger gefährlich, da dadurch ein sehr effizienter Wundverschluss erfolgen kann. »Im Gegensatz zu *Xenos vesparum* bildet diese Stelle bei *Stylops ovinae* eine Art Tasche, in die das Männchen mit seinem Penis eindringt«, so Jandausch.

#### Breites Methodenspektrum enthüllt Begattungsmechanismus

Doch wie locken die Weibchen die Männchen nun genau an? Zum einen erst einmal ganz klassisch: »Unbegattete Weibchen senden Duftstoffe aus, die Männchen aus der Umgebung anziehen«, sagt Hans Pohl. Das konnten die Insektenforscher direkt in der Jenaer Natur beobachten. Mit einem kleinen Käfig paarungsbereiter Fächerflügler-Damen lockten die Forscher Fächerflügler-Männchen an und

nahmen sie mit ins heimische Labor. Dort brachten sie Männchen und Weibchen in Petrischalen und unter Mikroskop-Beobachtung zusammen. Sie fanden heraus, dass nicht nur Männchen der eigenen Art, sondern auch andere *Stylops*-Arten der Duftspur folgten, aber nur artgleiche Männchen in der Lage sind, sich mit den Weibchen zu paaren. »Unsere Hypothese ist, dass die Begattungstasche eine präzygotische Barriere darstellt, die Paarungen zwischen unterschiedlichen Arten noch vor der Befruchtung verhindert«, sagt Hans Pohl.

Eine schlechte Nachricht gibt es für die Fächerflügler-Weibchen am Ende aber doch: Nachdem das Sperma die tausenden Eizellen in ihrem Körper befruchtet hat, entwickeln sich ebenso viele winzige Larven, die wenige Wochen später lebend zur Welt kommen – ein Ereignis, das die Mutter selbst nicht überlebt. ■

#### Original-Publikation:

Have female twisted-wing parasites [...] evolved tolerance traits as response to traumatic penetration? PeerJ 10:e13655, DOI: 10.7717/peerj.13655

#### Kontakt

PD Dr. Hans Pohl, Kenny Jandausch  
Institut für Zoologie und Evolutionsforschung  
Erbertstr. 1, 07743 Jena

Telefon: +49 36 41 9-49 156  
E-Mail: hans.pohl@uni-jena.de  
www.zoologie.uni-jena.de



# Happy wife – happy life?

Ist die Frau zufrieden, dann ist auch mit der Beziehung alles in Ordnung. So lautet eine häufig kolportierte Regel. Doch das Klischee, wonach in einer heterosexuellen Liebesbeziehung vor allem die Frau das »Barometer« der Beziehung ist, stimmt so nicht: Wie ein internationales Forschungsteam jetzt belegt, spiegelt die Wahrnehmung der Männer ebenso verlässlich die Zufriedenheit in der Beziehung wider. Dieses ist nur eines von zahlreichen wegweisenden Ergebnissen des Langzeitprojekts zu Paar- und familiären Beziehungen »pairfam«.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN

Vereinzelte wissenschaftliche Befunde schienen in den 1980er Jahren durchaus nahezuzeigen, dass Frauen sensitiver für Beziehungsthemen seien und sich daraus Rückschlüsse auf die Zukunft einer Beziehung ziehen ließen. Doch ein internationales Team von Psychologinnen und Psychologen – unter ihnen Prof. Dr. Franz J. Neyer von der Universität Jena – berichtete nun diese Fehldeutungen. In einer breit angelegten Studie belegte es, dass sich auch aus der Wahrnehmung der Männer die Zufriedenheit innerhalb einer Beziehung vorhersagen lässt. Über seine Forschungsergebnisse berichtete das Team im Magazin »Proceedings of the National Academy of Sciences« (PNAS).

»Wir freuen uns, dass wir dazu beitragen konnten, dieses Klischee zu widerlegen«, sagt Neyer. »Es passt zwar ins Geschlechterstereotyp, dass Frauen Beziehungswesen oder auch Beziehungsexpertinnen seien und dass nur deren Wahrnehmung eine Diagnostizität besäße, aus der man die zukünftige Beziehungszufriedenheit herauslesen könne, aber dafür ließen sich bei unserer systematischen Untersuchung keine Beweise finden. Die Wahrnehmung der Männer ist genauso prädiktiv wie die der Frauen.«

## Im Rahmen von »pairfam« 3 400 Paare über fünf Jahre begleitet

Für ihre Studie befragten die Forschenden insgesamt über 4000 Paare: 900 von ihnen gaben in tagebuchähnlichen Einträgen Auskunft über ihre Beziehung. Die Angaben von 3400 weiteren Paaren sind langfristiger angelegt und umfassen einen Zeitraum von



Psychologe und Beziehungsexperte Prof. Dr. Franz J. Neyer. · Foto: privat

fünf Jahren. In beiden Fällen leiteten die Expertinnen und Experten Aussagen zur Entwicklung der zukünftigen Beziehungszufriedenheit ab, die dann auch so eintrafen. »Mit den vorliegenden Ergebnissen beseitigen wir nicht nur gesellschaftliche Stereotype, sondern wir unterstützen damit auch wirkungsvolle therapeutische Ansätze, die Menschen mit Beziehungsproblemen helfen können«, sagt Neyer.

Die Langzeitdaten für die Untersuchung stammen aus dem Beziehungs- und Familienpanel »pairfam«, in dem seit 2008 Daten zu partnerschaftlichen und familialen Beziehungen in Deutschland erhoben werden und das nach 14 Jahren beendet wurde. Im Rahmen der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Studie wurden jährlich bis zu 12000 Personen, deren Partnerinnen und Partner sowie deren Eltern und Kinder befragt. »Pairfam besaß ein äußerst innovatives Konzept, das nicht nur Fokuspersonen einbezog, sondern ebenso deren fami-

liäres Umfeld, was es uns ermöglichte, auch intergenerationale Beziehungen zu untersuchen«, sagt Neyer, der die Forschung zu Paarbeziehungen innerhalb des Projekts acht Jahre lang koordinierte.

## Es gibt keine »Generation Beziehungsunfähig«

Doch schon während der Laufzeit sind aus dem Langzeitprojekt wegweisende Forschungsergebnisse hervorgegangen. Über 200 Publikationen konnten die Forschenden in renommierten Magazinen platzieren. So trug »pairfam« etwa dazu bei, nachzuweisen, dass es die viel besprochene »Generation Beziehungsunfähig« gar nicht gibt. »Wir können das aus unserer Perspektive nicht bestätigen. Die meisten Menschen suchen und haben Partnerschaften«, sagt Neyer. Zwar sei der Anteil stabiler Bindungen, die länger als ein Jahr dauern, bei jungen Erwachsenen



Eine Partnerschaft ist auch heute noch das Ziel der meisten Menschen. • Foto: Anne Günther

etwas gesunken, aber der Trend geht zu kurzfristigeren Beziehungen, so dass sich der Zeitraum, während dem sie in einer Beziehung sind, nicht verändert. »Vielleicht sind junge Erwachsene heute experimentierfreudiger, bevor sie sich langfristig binden«, vermutet der Jenaer Psychologe.

Auch das Suchen und Finden von Partnerinnen und Partnern hat sich in den vergangenen Jahren verändert, arbeiteten die Psychologinnen und Psychologen aus den pairfam-Daten heraus. Das Online-Dating hat deutlich an Bedeutung gewonnen, wovon vor allem

Frauen mit hohem Bildungsgrad profitieren, die dadurch häufiger eine Ehe beginnen konnten.

#### Langzeitpanel wird im neuen Format »FreDa« weitergeführt

Aus der Langzeitstudie gingen wichtige Forschungsimpulse hervor, der wertvolle Datensatz wird noch lange weitere Ergebnisse ermöglichen und neu entstandene Netzwerke vertiefen die internationale Zusammenarbeit. So kooperieren die Jenaer Psycholo-

ginnen und Psychologen beispielsweise mit Kolleginnen und Kollegen aus Kanada, die ein ähnliches Projekt wie pairfam für den nordamerikanischen Staat entwickeln wollen.

Und auch das Langzeitpanel von pairfam bleibt erhalten. Es wird im Rahmen des neuen Formats »FreDA – das familiendemografische Panel«, das sich ebenfalls den Themen Beziehungen und Familienleben in Deutschland widmet und am Bundesinstitut für Bevölkerungsforschung angesiedelt sein wird, weitergeführt. Auch Franz J. Neyer ist daran weiterhin beteiligt. ■

#### Original-Publikation:

Women and Men are the Barometers of Relationships [...], PNAS 2022, DOI: 10.1073/pnas.2209460119

#### Kontakt

Prof. Dr. Franz J. Neyer  
Institut für Psychologie  
Humboldtstraße 11, 07743 Jena

Telefon: +49 36 41 9-45 161  
E-Mail: franz.neyer@uni-jena.de  
www.perpsy.uni-jena.de





## Bedeutungsverlust sorgt für Wählerfrust

Vor allem die Einwohnerinnen und Einwohner wirtschaftlich abgehängter Orte und Regionen wählen rechtspopulistische Parteien – so eine gängige These, die die Wahlerfolge von AfD & Co. in Europa erklärt. Ein Forschungsteam der Universität Jena hat herausgefunden, dass hohe Stimmanteile der AfD in den vergangenen beiden Bundestagswahlen offenbar mit einem langfristigen Rückgang des relativen Wohlstands einer Region zu erklären sind.

TEXT: SEBASTIAN HOLLSTEIN

Der empfundene Bedeutungsverlust solcher scheinbar abgehängten Orte geht zeitlich oft weit über die eigene Lebensspanne hinaus. Die Forschenden aus der Ökonomie gehen deshalb davon aus, dass für die Wählerinnen und Wähler rechtspopulistischer Parteien eine Art von kollektivem Gedächtnis eine Rolle spielt.

Für ihre Arbeit haben sie eine Zeitspanne von fast einhundert Jahren in den Blick genommen. Anhand von Daten zum regionalen Pro-Kopf-Einkommen in den Jahren 1925 und den beiden Bundestagswahljahren 2017 und 2021 verglichen sie die Einkommens-

position einer Region im nationalen Wirtschaftsranking und stellten sie den jeweiligen Abstimmungsergebnissen für die AfD gegenüber.

### Hohe Werte für die AfD in Abstiegsregionen

»Dabei ergab sich, dass die Stimmenanteile für die AfD in den Gegenden relativ hoch waren, die in den Ranglisten besonders stark abgestiegen sind«, erklärt Prof. Dr. Michael Fritsch. »Landstriche wie Südsachsen und Städte wie Bautzen oder Dres-

den gehörten in den 1920er Jahren deutschland-, wenn nicht gar europaweit zur wirtschaftlichen Spitzengruppe, haben aber in der weiteren zeitlichen Entwicklung enorm an wirtschaftlicher Bedeutung eingebüßt. Gerade in diesen Gebieten ist die Zustimmung zur AfD besonders hoch, auch wenn man andere mögliche Bestimmungsgründe des Wählerverhaltens berücksichtigt.«

Gleiches gilt beispielsweise für das Ruhrgebiet bzw. die Stadt Duisburg, was zeige, dass solche Phänomene sich nicht auf Ostdeutschland beschränken.

**Bild links:** Eine Studie der Universität Jena hat die Wählerschaft rechtspopulistischer Parteien untersucht. Das Ergebnis: AfD & Co. werden dort gewählt, wo der Wohlstand langfristig sinkt.

· Foto: Anne Günther

**Bild rechts:** Dresden – die sächsische Landeshauptstadt gehörte in der Vergangenheit zu den wirtschaftlich führenden Städten Deutschlands. Heute fühlen sich viele Menschen hier wirtschaftlich abgehängt – obwohl die Region in Ostdeutschland in Sachen Innovation und Einkommenszuwachs führend ist. · Foto: Michael R. Hennig (DML-BY)



Das Jenaer Forschungsteam hebt besonders hervor, dass offenbar der Vergleich des eigenen Status mit anderen Regionen eine entscheidende Rolle spielt, denn prinzipiell habe der Wohlstand in allen Regionen zugenommen. »Das Einkommen in Südsachsen ist seit der Wiedervereinigung angestiegen und die Region ist im Osten bei Innovationen, Einkommenszuwachs und Unternehmensgründungen führend«, sagt Michael Fritsch. »Doch der Abstieg des Wirtschaftsstandorts von einer Führungsposition ins derzeit untere Viertel hinterlässt Spuren im Selbstverständnis und sorgt dafür, dass sich die Menschen stärker abgehängt fühlen, als sie es eigentlich sind.«

Der Unmut ist offensichtlich besonders groß, wenn man weiß, dass es wesentlich bessere Zeiten gegeben hat. Ausdruck dieser Frustration sei auch die Entscheidung an der Wahlurne für eine rechtspopulistische Partei.

#### **Industriedenkmäler als Abbild reicher Vergangenheit**

Die Wahrnehmung des eigenen Niedergangs ist offenbar in einer Art kollektivem Gedächtnis verankert. Um abzubilden, wie stark und lebendig die Erinnerung an frühere Zeiten in einer Region ist, wählten die Jenaer Expertinnen und Experten eine ungewöhnliche Methode: »Wir haben das Vorhandensein von Industriedenkmälern in Bezug gesetzt mit den Variablen, die den wirtschaftlichen Abstieg in den vergangenen 90 Jahren anzeigen. Hierbei hat sich herausgestellt, dass der von uns beobachtete Abstiegeffekt stärker ist in den Regionen, in denen sich besonders viele solcher Erinnerungsstätten befinden«, sagt Dr. Maria Greve, die an dem Projekt mitgewirkt hat. »Dort, wo das Bewusstsein für eine reiche Vergangenheit besonders stark ausgeprägt ist und die regionale Identität besonders beeinflusst, ist auch die

Korrelation zwischen gefühltem Abstieg und dem Wahlerfolg der Rechtspopulisten besonders deutlich.«

Mit dem Blick in die Vergangenheit wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aufzeigen, wie wichtig es ist, den zeitlichen Horizont zu weiten, wenn man den Ursachen solcher Phänomene wie dem Erstarken rechtspopulistischer Parteien in Deutschland und Europa auf den Grund gehen will. »Wir heben hervor, dass wir für Analysen gegenwärtiger Situationen und Entwicklungen nicht nur die Zeitspanne seit dem Ende des Zweiten Weltkriegs oder ab dem Umbruch rund um die Wiedervereinigung betrachten, sondern weiter in die Geschichte zurückblicken«, sagt Dr. Michael Wyrwich von der Universität Jena. »Möglicherweise erschließt das Prägen, die Phänomene erklären, und macht Rollenbilder sichtbar, die sich politisch nutzen lassen, um ein neues Selbstbewusstsein entstehen zu lassen.« ■

Original-Publikation:  
Long-Term Decline of Regions and the Rise of Populism, Journal of Regional Science (2022), DOI: 10.1111/jors.12627

**Kontakt**  
Prof. Dr. Michael Fritsch, Dr. Maria Greve,  
PD Dr. Michael Wyrwich  
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät

Carl-Zeiß-Straße 3, 07743 Jena  
Telefon: +49 36 41 9-43 220  
E-Mail: m.fritsch@uni-jena.de  
www.uiw.uni-jena.de



# Kollision mit Schlagseite

Ein Forschungsteam der Universität Jena und des Istituto Nazionale di Fisica Nucleare in Turin hat die Entstehung eines ungewöhnlichen Gravitationswellensignals rekonstruiert: Wie die Forschenden im Fachmagazin »Nature Astronomy« schreiben, kann das Signal »GW190521« aus der Verschmelzung zweier schwerer Schwarzer Löcher resultieren, die sich gegenseitig mit ihrem Gravitationsfeld eingefangen haben und anschließend in schneller, exzentrischer Bewegung umeinander kollidierten.

TEXT: UTE SCHÖNFELDER

Wenn Schwarze Löcher im Universum aufeinanderprallen, dann beben Raum und Zeit: Die bei der Verschmelzung freiwerdende Energiemenge ist so groß, dass sie die Raumzeit in Schwingung versetzt – ähnlich wie Wellen auf einer Wasseroberfläche. Diese Gravitationswellen breiten sich durch das gesamte Universum aus und lassen sich auch in Tausenden von Lichtjahren Entfernung noch messen – so wie am 21. Mai 2019, als die beiden Gravitationswellenobservatorien LIGO (USA) und Virgo (Italien) ein solches Signal einfingen. Das nach dem Datum seiner Entdeckung GW190521 benannte Gravita-

tionswellenereignis hat seither in der Fachwelt für Gesprächsstoff gesorgt, da es sich von den zuvor gemessenen Signalen deutlich unterscheidet. Das Signal war zunächst so interpretiert worden, dass es sich bei der Kollision um zwei Schwarze Löcher handelte, die sich auf nahezu kreisförmigen Bahnen umeinander bewegen.

»Solche binären Systeme können durch eine Reihe astrophysikalischer Prozesse entstehen«, erklärt Prof. Dr. Sebastiano Bernuzzi, theoretischer Physiker von der Universität Jena. So seien die meisten von LIGO und Virgo entdeckten Schwarzen Löcher stella-

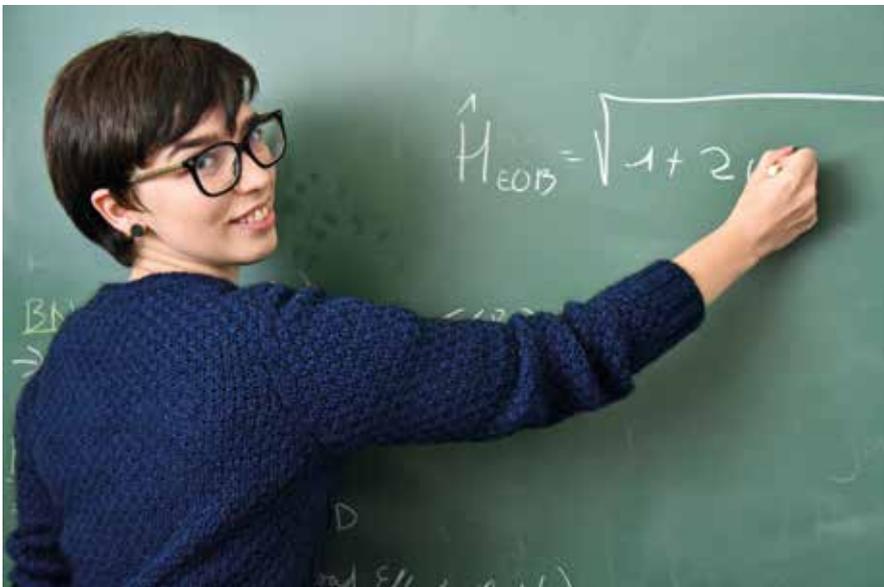
ren Ursprungs. »Das heißt, sie sind die Überreste von massereichen Sternen in Doppelsternsystemen«, so Bernuzzi weiter, der die aktuelle Studie leitete. Solche Schwarzen Löcher umrunden einander auf quasi kreisförmigen Bahnen, so wie es die ursprünglichen Sterne zuvor auch schon taten.

## Ein Schwarzes Loch fängt ein zweites ein

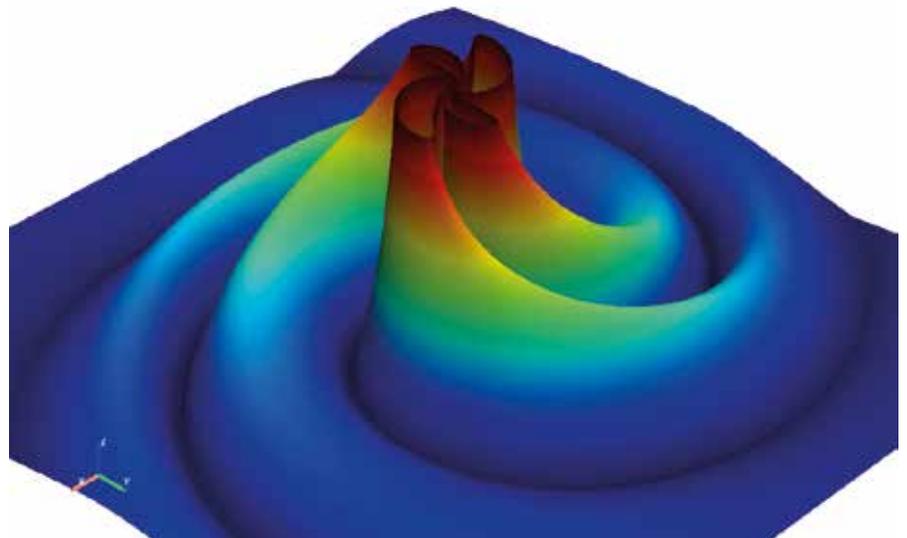
»GW190521 verhält sich aber deutlich anders«, macht Rossella Gamba deutlich. Die Erstautorin der Publikation promoviert im Jenaer Graduiertenkolleg »Dynamics and Criticality in Quantum and Gravitational Systems« und gehört zu Bernuzzis Team. »Seine Morphologie und seine explosionsartige Struktur unterscheiden sich extrem von früheren Beobachtungen.« Also machten sich Rossella Gamba und ihre Kollegen auf die Suche nach einer alternativen Erklärung für das außergewöhnliche Gravitationswellensignal. Mit einer Kombination aus modernsten analytischen Methoden und numerischen Simulationen auf Supercomputern berechneten sie unterschiedliche Modelle für die kosmische Kollision.

Sie kamen zu dem Ergebnis, dass diese statt auf einer quasi kreisförmigen auf einer stark exzentrischen Bahn erfolgt sein musste: Ein Schwarzes Loch bewegt sich dabei zunächst ungebunden in einer relativ dicht mit Materie gefüllten Umgebung und kann, sobald

Doktorandin Rossella Gamba ist Erstautorin der Publikation. · Foto: Anne Günther



es in die Nähe eines anderen Schwarzen Loches gelangt, von dessen Gravitationsfeld »eingefangen« werden. Auch dies führt zur Entstehung eines binären Systems, allerdings bewegen sich die beiden Schwarzen Löcher hier nicht kreisförmig, sondern exzentrisch in taumelnden Bewegungen umeinander.



Weyl curvature scalar  
3.66e-08 0.00250 0.00500 0.00750 0.0100

Numerische Simulation, die die Krümmung der Raumzeit während der Verschmelzung der beiden Schwarzen Löcher darstellt. · Grafik: AG Bernuzzi

### Vorhersagen mit Simulationen der Einsteinschen Gleichungen überprüft

»Ein solches Szenario erklärt die Beobachtungen deutlich besser als jede andere bisher vorgestellte Hypothese. Die Wahrscheinlichkeit liegt bei 1:4300«, sagt Matteo Breschi, Doktorand und Co-Autor der Studie, der die Infrastruktur für die Analyse entwickelt hat. Und Postdoktorand Dr. Gregorio Carullo ergänzt: »Auch wenn wir derzeit noch nicht genau wissen, wie oft solche dynamischen Begegnungen von Schwarzen Löchern überhaupt vorkommen, rechnen wir nicht damit, dass sie häufig passieren.« Das

mache die aktuellen Ergebnisse umso spannender. Dennoch bedarf es noch weiterer Forschungsarbeit, um die Entstehungsprozesse von GW190521 zweifelsfrei aufzuklären.

Für das Projekt haben die Teams in Jena und Turin einen allgemein-relativistischen Rahmen für die exzentri-

sche Verschmelzung von Schwarzen Löchern entwickelt und die analytischen Vorhersagen mit Simulationen der Einsteinschen Gleichungen überprüft. Erstmals kamen bei der Analyse von Gravitationswellen-Beobachtungsdaten Modelle von dynamischen Begegnungen zum Einsatz. ■

Original-Publikation:

GW190521 as a dynamical capture of two nonspinning black holes. *Nature Astronomy* (2022), DOI: 10.1038/s41550-022-01813-w

#### Kontakt

Prof. Dr. Sebastiano Bernuzzi  
Theoretisch-Physikalisches Institut  
Fröbelstieg 1, 07743 Jena

Telefon: +49 36 41 9-47 111  
E-Mail: [sebastiano.bernuzzi@uni-jena.de](mailto:sebastiano.bernuzzi@uni-jena.de)  
[www.tpi.uni-jena.de](http://www.tpi.uni-jena.de)



# »Es kann kein Komet gewesen sein«

Anfang 2022 veröffentlichten US-Forschende ein viel beachtetes Paper im Fachmagazin »Scientific Reports«. Darin wurde das angeblich abrupte Verschwinden der Hopewell-Kultur – einer Zivilisation, die sich an den Flüssen des Mittleren Westens und Nordostens des amerikanischen Kontinents ausgebreitet hatte – auf einen Kometeneinschlag vor rund 1 600 Jahren zurückgeführt. Gegen diese von großem Medienecho begleitete These erhoben der Jenaer Astrophysiker Prof. Dr. Ralph Neuhäuser und die Anthropologin Dagmar L. Neuhäuser Einspruch, den sie im gleichen Magazin veröffentlichten. Im Interview erzählt Ralph Neuhäuser, wie es ist, den wissenschaftlichen Irrtum von Kolleginnen und Kollegen korrigieren zu müssen, der durchaus das Zeug zu einem Hollywood-Drehbuch gehabt hätte.

INTERVIEW: SEBASTIAN HOLLSTEIN

## Worauf stützte das Team um den Anthropologen Kenneth Tankersley seine These?

Tankersley und sein Team haben geophysikalische Untersuchungen in Siedlungsgebieten der Hopewell-Kultur in der Nähe von Cincinnati im US-Bundesstaat Ohio durchgeführt. Hier fanden sie eine große Zahl an Meteoritenfragmenten und ein erhöhtes Vorkommen von Platin und Iridium, das auf einen extraterrestrischen Ursprung hindeuten sollte. Etwa 1600 Jahre alte Brandspuren betrachteten sie als Folge eines Airbursts, des explosiven Auseinanderbrechens eines in die Erdatmosphäre eingedrungenen Objektes und stellten die These auf, dass zu dieser Zeit ein Komet über dem Gebiet explodiert sei.

Diese These versuchten sie, mit Hinweisen aus dem historisch-kulturellen Bereich zu belegen: erstens, dass im dritten und vierten Jahrhundert n. Chr. eine große Zahl an Kometen der Erde besonders nah gekommen sein soll – Beobachtungen zeitgenössischer chinesischer Astronomen würden das bestätigen. Zweitens interpretierten sie künstlich geschaffene Erdwälle als Nachbildung eines möglichen Kometen mit seinem charakteristischen Schweif und drittens wurden Narrative, die sich in der mündlichen Tradition verschiedener nordamerikanischer Völker finden, als Belege angeführt.

## Warum kann das aus Ihrer Sicht nicht stimmen?

Wir haben uns in unserer Replik auf solche nicht-geophysikalischen Aspekte konzentriert, die wir fachlich

einschätzen können, und die den entscheidenden Ausschlag zur Kometentese gegeben haben. Doch keines der vorgebrachten Indizien weist auf einen durch einen Kometen verursachten Airburst hin.

Für die Behauptung, in dieser Zeit habe es besonders viele Kometen in Erdnähe gegeben, wurde ein Paper aus den 1930er Jahren zitiert, in dem das keineswegs enthalten ist. Auch alle neueren Editionen und Arbeiten der vergangenen Jahrzehnte zeigen, dass es in dem betreffenden Zeitraum keinesfalls mehr Kometen gegeben hat – oder gar mehr erdnahe Kometen. In diesen zeitgenössischen Quellen, etwa bei den chinesischen Hof-Astronomen, finden sich keinerlei Hinweise über einen großen, hellen (nahen) und dann plötzlich verschwundenen (eingedrungenen) Kometen, obwohl dieser für sie auf jeden Fall sichtbar und erwähnenswert gewesen hätte sein müssen. Darüber hinaus sind die angeführten, zur Kometenform stilisierten Erdwälle nur ein kleiner Teil einer viel größeren Struktur und die Forschenden geben keine Erklärung, wie die übrigen Segmente des Bauwerks in ihre Argumentationskette passen.

Die herangezogenen traditionellen Erzählungen, deren Ursprünge sich gar nicht genau datieren lassen, sind auch ganz anders interpretierbar. Beispielsweise könnte die Geschichte vom »Tag, an dem die Sonne vom Himmel fiel« auch eine Sonnenfinsternis meinen. Die Forschenden haben die historisch-kulturellen Überlieferungen insgesamt nicht ganzheitlich betrachtet.

## Was hat Sie motiviert, der These der US-amerikanischen Kolleginnen und Kollegen zu widersprechen und ein eigenes Paper zu verfassen?

Es geht hier um ein Thema, das unser Arbeitsgebiet und unsere Expertise betrifft: die Nutzung historischer Himmels-Beobachtungen aus diversen Kulturen für die Verwendung in den modernen Naturwissenschaften. Wir arbeiten dazu in einem transdisziplinären Team. Unserem Eindruck nach war die These fragwürdig und mit falschen Argumenten unterlegt. Und dann ist es unsere Aufgabe zu widersprechen.

Konkret: Es wurde keine eindeutige Evidenz für einen Kometen präsentiert – auch keine geophysikalische. Denn ein Komet ist im Wesentlichen ein riesiger schmutziger Schneeball, auf den die Metallfunde am Boden schwerlich zurückgeführt werden können. Das Eindringen von Kometen in die Erdatmosphäre ist extrem selten – in der menschlichen Geschichte ist kein einziger Fall bekannt. Insofern müsste eine solche These besonders gut belegt werden. Falls hier wirklich ein Ereignis extraterrestrischen Ursprungs eine Rolle spielte, dann vermutlich eher ein Asteroideineinschlag.

## Haben Sie die Kolleginnen und Kollegen auf Ihre Vorbehalte aufmerksam gemacht?

Ja, wir haben sie angeschrieben und unsere Gegenargumente vorgebracht, worauf wir eine eher zurückhaltende Reaktion erhielten. Wir haben dann unser Paper ebenfalls bei »Scientific

Prof. Dr. Ralph Neuhäuser in der Kuppel der Universitäts-Sternwarte in Jena. Für seine Publikation nahm der Astrophysiker jedoch nicht den aktuellen Sternenhimmel ins Visier, sondern wertete historische Himmelsbeobachtungen aus. · Foto: Jens Meyer

Reports« eingereicht, in der Rubrik »Matter Arising«, die für solche Korrekturen gedacht ist. Das Magazin ließ es von sechs Gutachtenden prüfen, was sehr ungewöhnlich ist – normalerweise sind es halb so viele. Fünf von ihnen stimmten uns zu und nannten weitere geophysikalische Gegenargumente, und auch der sechste sprach sich für die Veröffentlichung unseres Widerspruchs aus. Die US-amerikanischen Kolleginnen und Kollegen dankten uns in einer Stellungnahme und schlossen sich inzwischen unseren Argumenten an. Sie gehen jetzt ebenfalls davon aus, dass es kein Komet gewesen sein kann.

### Was nehmen Sie aus dem Vorgang mit und was können Science Community und Öffentlichkeit daraus lernen?

Es zeigt, wie wichtig die Diskussion wissenschaftlicher Ergebnisse ist, durch die auch die Expertise verschiedener Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Tragen kommt, die nicht an der ursprünglichen Forschung beteiligt sind. Allerdings bedauern wir, dass die öffentliche Aufmerksamkeit doch unterschiedlich verteilt ist. Die Nachricht vom vermeintlichen Kometeneinschlag erfuhr in den USA ein großes Medienecho, Zeitungen wie die Washington Post haben darüber berichtet, möglicherweise unterstützt

durch aktuelle Filme wie »Greenland« oder »Don't Look Up«, in denen Kometen in die Erdatmosphäre eindringen und explodieren bzw. einschlagen. Unsere Korrektur hat hingegen keine vergleichbare öffentlichkeitswirksame Resonanz erfahren, wenn auch – gerade von geophysikalischer Seite – sehr positive Reaktionen kamen. Ein Airburst eines Asteroiden bzw. Boliden ist jedoch wesentlich realistischer und, je nach Größe, mitunter gefährlicher – wie das Aussterben der Dinosaurier vor 66 Millionen Jahren zeigt – oder auch die Verwüstungen und Verletzten der viel kleineren Airbursts von Tunguska 1908 oder Chelyabinsk 2013. ■

#### Original-Publikation:

Arguments for a comet as cause of the Hopewell airburst are unsubstantiated, *Scientific Reports*, 2022, DOI: 10.1038/s41598-022-16211-5

#### Kontakt

Prof. Dr. Ralph Neuhäuser  
Astrophysikalisches Institut und  
Universitäts-Sternwarte  
Schillergässchen 2, 07745 Jena

Telefon: +49 36 41 9-47 500  
E-Mail: [ralph.neuhaeuser@uni-jena.de](mailto:ralph.neuhaeuser@uni-jena.de)  
[www.astro.uni-jena.de/index.php/terra-astronomy.html](http://www.astro.uni-jena.de/index.php/terra-astronomy.html)



## Märchen verschiedener Kulturen

### DFG finanziert das Projekt »Kaukasisches Erzählgut im Diskurs der vergleichenden Märchenforschung«

Das im September 2022 gestartete Projekt wird im Institut für Slawistik und Kaukasusstudien von Dr. Elguja Dadunashvili (Foto) und Prof. Dr. Diana Forker bearbeitet und geht dem Phänomen nach, dass sich Märchensujets in verschiedenen Kulturen oftmals erstaunlich ähneln. Anhand des kaukasischen Erzählguts wollen die Forschenden u. a. klären, welche authentischen Entfaltungsschemata



FOTO: JENS MEYER

von einzelnen Kerngeschichten bzw. Storys im Märchen vorkommen und welche Hintergründe in den metaphorisch dargestellten Motiven der nacheinander folgenden Märchenepisoden liegen. Fokus des Projektes ist der Aufbau einer computergestützten Infrastruktur für die Erschließung des Märchenrepertoires und die interdisziplinäre Nutzung der zusammengetragenen Text- und Metadaten. US



FOTO: JENS MEYER

## Quantensysteme

### Nachwuchsgruppe wird vom Bund mit 3,3 Millionen Euro gefördert

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert die neue Nachwuchsforschungsgruppe »Integrierte Quantensysteme« mit gut 3,3 Millionen Euro für die Dauer von fünf Jahren. Die Gruppe aus fünf

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern macht sich zur Aufgabe, die Alltagstauglichkeit moderner Quantentechnologien zu erproben und nachzuweisen. Dr. Tobias Vogl (Foto) vom Institut für Angewandte Physik leitet die Nachwuchsgruppe. »Als besonders vielversprechend schätzen wir die Kombination aus Festkörperphotonik und Quantenmaterialien ein«, sagt Vogl. Insbesondere die Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von Bornitrid wollen Vogl und sein Team erforschen. Dieser Bor-Stickstoff-Verbund ist ein Nichtleiter, der fluoreszierende Defekte ausbilden kann, die bei Laserbestrahlung einzelne Photonen emittieren.

sl

## Neue Wege in der digitalen Lehre

### Stiftung Innovative Hochschullehre fördert zwei Projekte zu Digital Humanities und aus der Medizin

Zwei Projekte von Universität und Universitätsklinikum Jena werden im Programm »Freiraum 2022« von der Stiftung Innovative Hochschullehre gefördert. Im Mittelpunkt des Projekts »Lehr-Lern-Hub: Digital History« aus den Digital Humanities unter Leitung von Prof. Dr. Sander Münster (Foto) steht die Entwicklung und Erprobung eines Lehr-Lern-Labors mit Schwerpunkt Geschichte im Digitalen.



FOTO: JENS MEYER

Dabei sollen neue Formate entwickelt und erprobt werden, um beispielsweise im Rahmen von Schulpraktika, Ganztagesangeboten oder außerschulischen Lernorten sowohl die digitale als auch die praxisbezogene Kompetenz der Studierenden zu befördern.

Im Projekt aus der Medizin, das gemeinsam mit der Hochschule Heilbronn realisiert wird, geht es um digital unterstütztes Lernen in interdisziplinären Teams. AB



FOTO: ANNE GÜNTHER

## Public Philosophy

### DFG fördert Reinhart-Koselleck-Projekt mit einer Million Euro

Die antirassistischen Proteste der Black Lives Matter-Bewegung sowie die Reaktionen auf die rassistischen und antisemitischen Anschläge von Halle und Hanau haben in der deutschsprachigen Philosophie eine Diskussion über die Rolle der eigenen Disziplin in der europäischen Gewaltgeschichte angestoßen.

Prof. Dr. Andrea Esser (Foto), Leiterin des Arbeitsbereichs für praktische Philosophie, untersucht jetzt im Rahmen eines Projekts im Reinhart-Koselleck-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft das problematische Erbe der Philosophie. Für die Dauer von fünf Jahren fördert die DFG das Projekt »Wie umgehen mit Rassismus, Sexismus und Antisemitismus in Werken der Klassischen Deutschen Philosophie. (Selbst-)Kritische Philosophiegeschichte als Projekt einer Public Philosophy«. Die Fördersumme beträgt eine Million Euro.

sl

## Umwelt und mentale Krankheiten

### Fernerkundungsteam an EU-Großprojekt »environMENTAL« beteiligt

Das europäische Konsortium »environMENTAL« will Mechanismen aufdecken, durch die Phänomene wie Klimawandel, Verstädterung oder die COVID-19-Pandemie psychische Krankheiten auslösen. Zum Konsortium gehört auch ein Team aus der Fernerkundung um PD Dr. Sören Hese. Es wird von der EU bis 2027 mit neun Millionen Euro gefördert. Die Forschenden wollen Daten von gesunden und

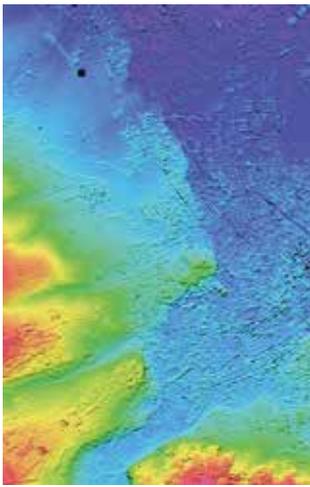


FOTO: DLR 2022, TANDEM-X

erkrankten Menschen analysieren, um Gehirnmechanismen aufzudecken, die mit Umweltbelastungen zusammenhängen. Sie werden diese mit Messungen von Fernerkundungssatelliten (Foto), Klimamodellen sowie aus digitalen Gesundheitsanwendungen in Beziehung setzen, um die Auswirkungen von Umweltherausforderungen auf die Struktur und Funktion des Gehirns aufzuzeigen. sh



FOTO: JENS MEYER

## Sāsānidenreich

### DFG-gefördertes Projekt untersucht Herrschaftsbeziehungen

Das Neupersische Reich der Sāsāniden war lange Zeit ein Rivale des Römischen Reiches. Die Herrscher, die sich auf den Stammvater Sāsān zurückführten, kontrollierten ab etwa 224 n. Chr. einen Raum, der zeitweise vom Kaukasus bis zum Indus reichte. Der Althistoriker PD Dr. Frank Schleicher (Foto) untersucht nun, wie die sāsānidischen Herrscher Einfluss und Macht gegenüber Vasallenherrschern bis weit über die Grenzen des eigentlichen Imperiums hinaus ausüben konnten. Hierfür wird der moderne Begriff des Commonwealth auf Kulturräume der Antike übertragen. Schleichers gerade begonnenes Forschungsprojekt »Vasallenherrschaft im Sāsānidischen Commonwealth« wird mit 343000 Euro von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Schleicher untersucht die Wechselwirkungen zwischen den Großkönigen des Imperiums und ihren Fürsten in der Peripherie. sl/JK

Das Neupersische Reich der Sāsāniden war lange Zeit ein Rivale des Römischen Reiches. Die Herrscher, die sich auf den Stammvater Sāsān zurückführten, kontrollierten ab etwa 224 n. Chr. einen Raum, der zeitweise vom Kaukasus bis zum Indus reichte. Der Althistoriker PD Dr. Frank Schleicher (Foto) untersucht nun, wie die sāsānidischen Herrscher Einfluss und Macht gegenüber Vasallenherrschern bis weit über die Grenzen des eigentlichen Imperiums hinaus ausüben konnten. Hierfür wird der moderne Begriff des Commonwealth auf Kulturräume der Antike übertragen. Schleichers gerade begonnenes Forschungsprojekt »Vasallenherrschaft im Sāsānidischen Commonwealth« wird mit 343000 Euro von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Schleicher untersucht die Wechselwirkungen zwischen den Großkönigen des Imperiums und ihren Fürsten in der Peripherie. sl/JK

## Trockenfallende Flusssysteme

### Hydrologin forscht mit Partnerinstitutionen aus elf Ländern im Verbund »DRYvER«

Im Hitzesommer 2022 schafften es sinkende Pegel, eingestellte Fähren und ein zunehmend gestörter Warentransport über Schifffahrtswege immer häufiger in die Nachrichten. Eine Situation, die kaum noch Ausnahme, sondern eher Regel geworden ist, wie Dr. Annika Künne von der Universität Jena konstatiert. Die Hydrologin arbeitet im internationalen Forschungsprojekt »DRYvER« mit, bei dem



FOTO: THIBAUT DATRY

25 Partner aus elf Ländern kooperieren. DRYvER wird durch das Horizon 2020-Programm der Europäischen Union gefördert. Erforscht wird, wie sich die durch Klimawandel und menschliche Wassernutzung beförderte Austrocknung von Flusssystemen auf die biologische Vielfalt, die funktionale Integrität und die Ökosystemdienstleistungen auswirkt. Künnes Aufgabe ist es, Flusssysteme detailgenau zu modellieren. sl



FOTO: JENS MEYER

## Neue Diagnostik

### Carl-Zeiss-Stiftung fördert Projekt »INTACT« mit 750 000 Euro

In Deutschland muss jährlich bei etwa 200 von 800 sehr unreifen Frühgeborenen – meist wegen einer Infektion – die Nahrung durch einen künstlichen Darmausgang aus- und an anderer Stelle wieder zurückgeleitet werden, um den Darm zu

entlasten. Aktuell funktioniert das nur manuell, was keine kontinuierliche Überführung garantiert, sehr pflegeintensiv ist und die Entwicklung der Babys beeinträchtigt. Ein interdisziplinäres Team von Universität, Universitätsklinikum Jena und koordiniert durch die Ernst-Abbe-Hochschule will nun ein miniaturisiertes Transportsystem mit ultraschall- und photonikbasierter Sensorik entwickeln, das die kontinuierliche Überführung und Analytik des ausgeleiteten Darminhalts ermöglicht. Damit wollen die Forschenden bessere Behandlungsmöglichkeiten für Frühgeborene ermöglichen. Die Carl-Zeiss-Stiftung fördert das Projekt »INTACT« für zwei Jahre. sh

Bild rechts: Die beiden Ursaurier der Art *Seymouria sanjuanensis* sind das »Tambacher Liebespaar«. · Foto: Oliver Wings

## Zeitreisen in die Vergangenheit der Erde

Erkundungsbohrungen in Thüringen und Südafrika öffnen Fenster in die Vorgeschichte des Planeten. Die so erhaltenen Bohrkerns gleichen Zeitkapseln, in denen Informationen aus der Frühzeit der Erde gespeichert sind. Teams aus Geologie und Paläontologie schauen derzeit in unterschiedliche Epochen der Erdgeschichte zurück: als Thüringen noch Teil des Urkontinents Pangäa war und sogar in die Zeit, in der das Leben gerade erst entstand. Die Reportage begleitet sie ein Stück bei ihrer Arbeit.

TEXT: STEPHAN LAUDIEN

Sie muss wohl recht still gewesen sein, die Welt vor 3,2 Milliarden Jahren. Kein Vogelgezwitscher, kein Wolfsgeheul, kein Grillenzirpen. Einzig Wellenschlag, pladdernde Regentropfen, Wind, Sturm und Gewitterdonner unterbrachen die Stille. Wer hätte Geräusche machen sollen zu einer Zeit, da das einzige Leben aus sogenannten Mikrobenmatten bestand, die die Ufer von Gewässern säumten? Sie produzierten wahrscheinlich Sauerstoff und schufen so die Voraussetzungen für höherentwickeltes Leben.

Nun hat ein internationales Geologenteam unter Leitung von Prof. Dr. Christoph Heubeck von der Universität Jena exzellente Reste dieser Mikrobenmatten zutage gefördert. Sie sind in Bohrkernen enthalten, die gut 3,2 Milliarden Jahre alt sind. Gefördert wurden sie im »Barberton-Grünsteingürtel« in Südafrika, nah an der Grenze zu Eswatini, dem früheren Swasiland. »Diese Bohrkerns sind gewissermaßen Zeitkapseln, in denen Informationen aus der Frühzeit der Erde gespeichert sind«, sagt Christoph Heubeck.

### Bibliotheken aus der Frühzeit des Planeten

Neben den Spuren einfacher Lebensformen enthalten die Bohrkerns zahlreiche weitere Informationen. So können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Rückschlüsse auf die Mondumlaufbahn ziehen, Tiden,

Vulkanismus, die UV-Strahlung, die Intensität der Verwitterung, Meteoriteneinschläge und die Temperatur der Ozeane und der Atmosphäre analysieren. Die dekorativ gemusterten Steinzyklinder sind wahre Bibliotheken aus der Frühzeit unseres Planeten.

### »Schlachtfest« auf dem Institutshof

Ein sonniger Tag im Herbst. Auf dem Gelände des Instituts für Geowissenschaften am Burgweg herrscht emsiges Treiben. Es ist »Schlachtfest«! Doch kein Schwein musste hier sein Leben lassen, vielmehr arbeitet sich eine Kreissäge Zentimeter für Zentimeter durch steinerne Bohrkerns, konzentriert bedient von Frank Linde. Neben Schutzbrille und Handschuhen gehören Gummistiefel zur Ausrüstung des Technikers. Die Säge Marke »Steinadler« arbeitet mit Kühlwasser und hinterlässt einen rötlichen Schlammstrahl. Präzise werden die steinernen Stangen der Länge nach aufgeschnitten, ihr rötlich schimmerndes marmoriertes Inneres wird sichtbar. Diese Bohrkerns haben jedoch nicht den weiten Weg aus Südafrika zurückgelegt. Sie wurden nahe des Bromackers aus dem Gestein gezogen, einer Fundstelle im Thüringer Wald. Ihr Alter liegt bei etwa 290 Millionen Jahren; sie stammen aus der Zeit des frühen Perm. Es ist das zweite große Bohrungs-Projekt, an dem Christoph Heubeck beteiligt ist. Nur zufällig

wurden beide Projekte im vergangenen Jahr fast zeitgleich realisiert. Erdgeschichtlich markieren die Funde nahe der Ortschaft Tambach-Dietharz einen gewaltigen Zeitsprung im Vergleich zu den Funden aus dem südlichen Afrika. Noch haben die Dinosaurier ihre Herrschaft nicht angetreten, aber ihre Vorfahren hinterlassen bereits zahlreiche Spuren. Es sind Ursaurier, Kreaturen an der Schwelle vom Amphibium zum Reptil. Darunter *Orobates pabsti* und *Seymouria sanjuanensis*. Die letztere Art war zuvor erstmals in Utah in den USA gefunden worden. Benannt wurden die Tiere nach dem Fluss San Juan, einem Nebenfluss des Colorado. Die beiden Fundstellen sind kein Zufall: Zu Zeiten des Urkontinents Pangäa lagen beide Fundstellen entlang des Nordrandes des Variszischen Gebirges auf einem Kontinent.

Der Ursaurier *Orobates pabsti* hingegen wurde nach Wilhelm Pabst benannt. Der Kustos am Herzoglichen Museum Gotha gehörte zu den Ersten, die um 1900 sogenannte Fährtenplatten entdeckte und beschrieben hatten. Das sind Gesteinsplatten, auf denen sich Fußspuren der urtümlichen Tiere erhalten haben. Später kamen einzelne Knochen und sogar ganze Skelette zum Vorschein. Die wohl bekanntesten sind das »Tambacher Liebespaar«, zwei Ursaurier der Art *Seymouria sanjuanensis*, über Jahrmillionen nebeneinander im Stein verewigt. Erste Fossilien entdeckte der Geologe und Paläontologe Dr. Thomas



Martens 1974 am Bromacker. Der Schüler von Arno Hermann Müller machte die Erforschung der Bromacker-Fossilien zu seinem Lebensthema. Martens erwarb das Areal sogar, um es für die Wissenschaft zu sichern.

Kaum ans Tageslicht befördert, werden die Bohrkerns vermessen und exakt beschriftet. Derart katalogisiert und anschließend sicher archiviert, stehen sie weiteren Untersuchungen zur Verfügung, auch späteren Generationen von Forschenden. Das ist bei dem Bohrprojekt in Südafrika nicht anders als bei den Arbeiten in Thüringen. Bei den Bohrungen im Barberton-Grünsteingürtel fraß sich der diamantene Kernmeißel im Winkel von 45 Grad bis zu 300 Meter in die Tiefe, oft von älteren in jüngere Gesteinsschichten. »Pro Tag wurden etwa 20 bis 40 Meter Kerne gezogen«, sagt Christoph Heubeck. In Thüringen ging es Tag für Tag je acht Meter in die Tiefe, bis etwa 250 Meter erreicht waren.

Die Bohrung selbst sei im wesentlichen Routinearbeit gewesen. Als erfolgversprechendste Bohrstelle hatten die Geologen den Parkplatz eines Kurhotels ausgemacht. Da dieser Betrieb jedoch keine Winterruhe macht, musste eine andere Stelle gefunden werden. »Wir haben schließlich im Wald gebohrt, gleich neben einem Forstweg«, sagt Christoph Heubeck. Einziger Wermutstropfen für die beauftragte Firma: Bei einer Tiefe von 243 Metern brach die Bohrkronen ab und musste



Bohrgerät und Bohrmannschaft in Südafrika. · Foto: Christoph Heubeck

erneuert werden. Bei beiden Projekten wird als prominentes Haupt-Untersuchungsgerät ein großes kernziehendes Bohrgerät benutzt. Vom Ansatz her sei das nichts anderes als eine Lupe oder ein Hammer, sagt Christoph Heubeck: »Es kommt weniger auf die Größe und Art des Hilfsgeräts an, sondern vielmehr auf eine kluge Auswahl der Forschungsfrage und der bestmöglichen

Bearbeitungsstelle, auf eine effiziente Durchführung des Datenerwerbs, und auf die optimale Auswertung.«

Weil die Sedimentgesteine, die Informationen über die erdgeschichtliche Vergangenheit des Systems Erde geben, aber in der Regel von jüngeren Schichten, Verwitterungsböden und Vegetation bedeckt sind, ist für die »Befragung« von unverwittertem und



**Bild oben: apl. Prof. Dr. Peter Frenzel und Dr. Anna Pint an der Grabungsstelle Bromacker. · Foto: Claudia Hilbert**

**Bild links: Frank Linde beim Sägen eines Bohrkerns. · Foto: Jens Meyer**

kontinuierlichem Material durch Laborgeräte oft die Kernbohrung das Instrument der Wahl.

Das sehen die Leute des International Continental Scientific Drilling Program, dem Hauptfinanzierer des Projekts, ganz genauso: Im Juli 2023 wird deswegen in Potsdam eine große Konferenz zur Zukunft wissenschaftlichen Bohrens ausgerichtet.

Erkenntnisse liefern die Bohrkern schon während des Schlachtfestes. Bei einer ersten Inaugenscheinnahme zeigt Christoph Heubeck auf blaugraue Knollen im Bohrkern: »Das sind Karbonatknollen. Ihre Isotopie dient uns als Paläothermometer.« Heißt, die Forscher können anhand dieser Einschlüsse analysieren, welche Temperaturen herrschten, als sich das Mineral bildete. So lassen sich Aussagen über die klimatischen Verhältnisse der Vorzeit treffen und es werden Vergleiche mit heutigen Gegebenheiten möglich.

#### **Fossilien in ehemaligem Steinbruch**

Eine Wiese, lockerer Baumbestand, Wanderwege und Hinweistafeln: Er sieht recht unspektakulär aus, der Bro-

macker bei Tambach-Dietharz. Einst reihte sich hier ein Steinbruch an den anderen. Gefördert wurde sogenanntes Rotliegendes, ein roter Sandstein, der als Baumaterial diente und unter anderem für Torsteine, Zaunpfähle oder Verblendungen genutzt wurde. Einige der einstigen Steinbrüche sind noch gut erkennbar, Warntafeln verweisen auf Gefahrenstellen.

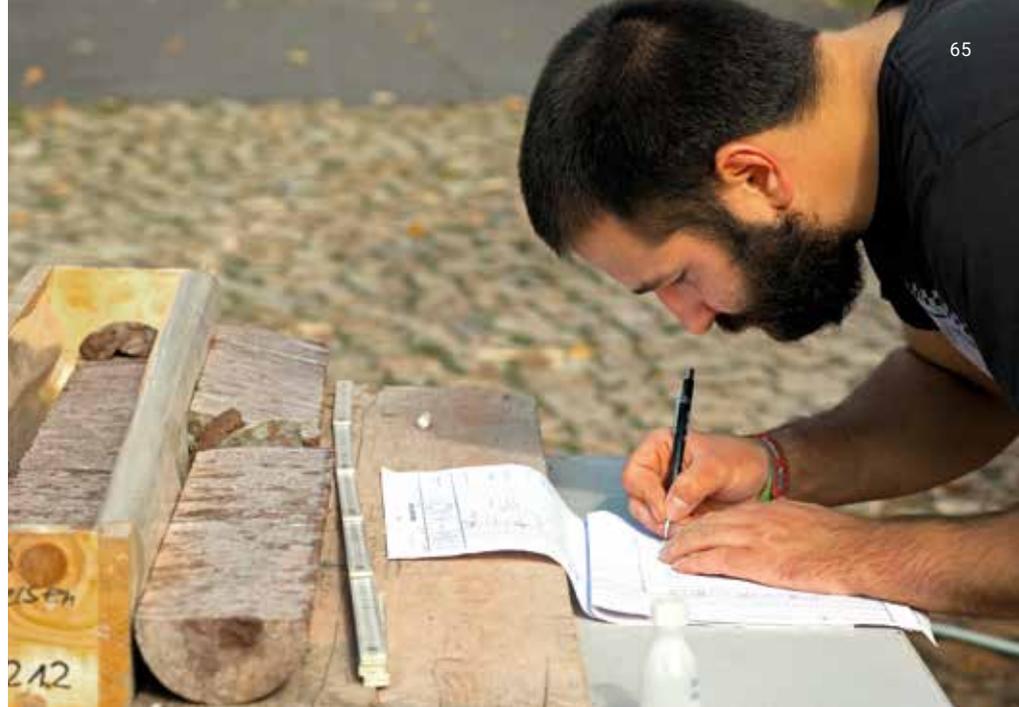
Dr. Anna Pint kennt das Areal bestens. Die Geologin und Paläontologin aus der Arbeitsgruppe um Prof. Heubeck gräbt seit 2020 am Bromacker. Sie ist Spezialistin für wirbellose Tiere und Grabgänge. »Wir haben Fossilien von Insekten gefunden, von Kriebstierchen und ganz vereinzelt von Tausendfüßlern«, sagt Anna Pint.

Das aktuelle Projekt »Bromacker« ist eine Kooperation von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen vom Museum für Naturkunde Berlin, der Universität Jena und der Stiftung Schloss Friedenstein in Gotha. Gegraben wird jeweils im Sommer. Durchschnittlich 20 Personen sind dabei, darunter viele Studierende und Promovierende. Werkzeuge sind Hammer und Meißel, größere Stücke müssen zerschlagen werden. Anna Pint ent-

scheidet als Mitglied des Grabungsleiterteams, welche Funde erfolgversprechend sind, die übrigen verbleiben im Abraum. Die Analyse der Funde obliegt den jeweiligen Spezialisten. Werden Wirbeltierknochen gefunden, sind sie Sache von Tom Hübner, dem Kurator des Museums auf Schloss Friedenstein, sowie Jörg Fröbisch vom Museum für Naturkunde Berlin, der auch das Bromackerprojekt leitet.

#### **Fußabdrücke der Ursaurier**

Ein weiterer Experte ist Lorenzo Marchetti, ebenfalls vom Museum für Naturkunde Berlin; er ist für die im Gestein erhaltenen Fußabdrücke der Ursaurier zuständig. Solange die Fundstücke noch bergfeucht sind, können sie bearbeitet werden. So stellt beispielsweise Frank Linde in Jena Dünnschliff-Präparate der Grabgänge her. Hauchdünne Scheiben, die dann unter dem Mikroskop betrachtet werden können. Gegen das Licht gehalten, ist der Gang gut zu erkennen, den vor Millionen Jahren ein Insekt gegraben hat. Die weiteren Funde müssen behutsam getrocknet werden. Einmal getrocknet,



dürfen sie nicht wieder feucht werden: »Der enthaltene Ton würde aufquellen und die Stücke zersprengen«, sagt Anna Pint.

Die Bohrungen in Südafrika finanzierte hauptsächlich das ICDP, das International Continental Scientific Drilling Program, ein Konsortium für wissenschaftliches Bohren, dem 21 Mitgliedsstaaten angehören. Insgesamt wurden 1,8 Millionen Euro für die Bohrkosten und ein Mehrfaches dieser Summe für die Untersuchungen und die Gehälter der beteiligten Doktoranden und Doktorandinnen sowie Postdocs eingeworben. Beteiligt war sogar die US-amerikanische Raumfahrtagentur NASA. Ähnelte die Erdoberfläche vor

3,2 Milliarden Jahren doch der Oberfläche anderer Planeten. »Wie konnte sich Leben in dieser herausfordernden, hochenergetischen Umgebung halten und ausbreiten?«, fragt Christoph Heubeck. In den Bohrkernen lässt sich eine durchschnittliche Ablagerungsrate von etwa einem Meter pro tausend Jahre erkennen, vergleichbar mit Ablagerungsraten an heutigen Küsten, obwohl vielfach tägliche Tiden in dünnen Sedimentlagen aufgezeichnet sind. Die wissenschaftliche Auswertung der Bohrkern wird längst nicht so lange in Anspruch nehmen. Dennoch werde es einige Jahre dauern, bis diese Zeitkapseln aus der Frühzeit der Erde umfassend untersucht und analysiert

**Bild oben rechts: Student Fabio Berlin nimmt die Daten des frisch geschnittenen und gewaschenen Bohrkerns auf. · Foto: Jens Meyer**

**Bild unten links: Bohrturm für die geologische Tiefenbohrung am Hainfelsen (Bromacker). · Foto: Claudia Hilbert**

**Bild unten rechts: Die Bohrkern werden in luftdurchlässigen stabilen Kästen aus Fichtenholz gelagert. · Foto: Jens Meyer**



Projektleiter Prof. Dr. Christoph Heubeck inspiziert Gestein im Bohrkernlager. · Foto: Jens Meyer

worden sind, sagt Christoph Heubeck. Zunächst werden sie in Längsrichtung zersägt, fotografiert und beschrieben. Dann verbleibt eine Hälfte im nationalen Kernlager Südafrikas, faktisch in einer »Bibliothek des Untergrunds«, die andere Hälfte ist inzwischen per Schiff in Berlin-Spandau im dortigen Kernlager des ICDP-Konsortiums angekommen. Dort werden sie geröntgt, nochmals detailliert dokumentiert und während eines Beprobungs-Workshops an die beteiligten Forschungseinrichtungen verteilt.

Das Areal am Bromacker ähnelte einst den Landschaften der heutigen Mongolei, so ist es auf einer der Schautafeln zu lesen. Anna Pint sagt, es habe sich um ein Sedimentbecken gehandelt; der Sandstein entstand in Flüssen, die das Gebiet durchzogen. Nun sei es das Ziel, den Lebensraum jener fernen Vorzeit wissenschaftlich genau zu rekonstru-

ieren. »Wir schauen durch ein Fenster in die Vergangenheit, erkunden einen Abschnitt der Erdgeschichte«, sagt Anna Pint. Wir, das ist das Team um Christoph Heubeck mit Thomas Voigt, Frank Linde, Peter Frenzel, Anna Pint sowie den Studierenden Jakob Stubenrauch, Rebecca Lellau und Fabio Berlin. Die Jenaer Gruppe ist die kleinste im Projekt »Bromacker«, das 2020 gestartet wurde und fünf Jahre laufen soll.

#### Funde gehören dem Freistaat Thüringen

Möglicherweise wird sich der Bromacker um den Status einer UNESCO-Weltnaturerbebestätte bewerben. Das würde bedeuten, in die Liga der Grube Messel in Hessen oder der Lagerstätte Solnhofen im bayrischen Altmühltal aufzusteigen. Im Altmühltal wurden die berühmten Fossilien des

*Archäopteryx* gefunden, des sogenannten Urvogels. Eine so klassifizierte Fundstelle würde umzäunt und gesichert, schon um Raubgräber abzuhalten. Schon jetzt gehören die Funde dem Freistaat Thüringen. Was nicht in der Sammlung des Museums auf Schloss Friedenstein in Gotha gezeigt wird, lagert im dortigen Depot.

Anna Pint verweist darauf, dass vornehmlich Fossilien von Pflanzenfressern gefunden wurden. Wovon sich diese Tiere ernährten, sei schwer zu sagen: Fossile Pflanzenreste sind rar unter den Funden, was jedoch auch an den ungünstigen Erhaltungsbedingungen für Pflanzenfossilien liegen kann. Dennoch wollen die Forschenden den Lebensraum dieser Tiere, ihre Nahrung und das Klima jener Zeit so detailliert wie möglich rekonstruieren. Das Fenster in die Vergangenheit soll weit aufgestoßen werden. So weit wie möglich. ■

# UNIVERSITÄTS- SOMMERFEST

**30. Juni 2023**

Griesbachgarten  
Planetarium  
Botanischer Garten

Flanieren, tanzen, genießen und sich begegnen – erleben Sie ein buntes Programm mit Musik, Tanz und kulinarischen Angeboten.  
[www.sommerfest.uni-jena.de](http://www.sommerfest.uni-jena.de)

Ticketverkauf ab 15. März 2023 unter [www.uni-shop-jena.de](http://www.uni-shop-jena.de)

FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA



BOTANISCHER  
GARTEN JENA

# *Klassik* IM BOTANISCHEN GARTEN

**1. Juli 2023**

Klassische Musik genießen und Poesie lauschen,  
im Garten lustwandeln und unter Palmen tanzen  
– ein vergnüglicher Sommerabend.

[www.klassikgarten.uni-jena.de](http://www.klassikgarten.uni-jena.de)

# LICHTGEDANKEN

ONLINE

Das Forschungsmagazin der  
Friedrich-Schiller-Universität Jena

[www.lichtgedanken.uni-jena.de](http://www.lichtgedanken.uni-jena.de)



FRIEDRICH-SCHILLER-  
UNIVERSITÄT  
JENA