

Ausgabe 03/2014 – ISSN 1436-753X

AkademieAktuell

ZEITSCHRIFT DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Schwerpunkt

Lebensgrundlage und Konfliktstoff

Wie gehen wir im 21. Jahrhundert
mit Wasser um?



Bayerische
Akademie der Wissenschaften

10:00 Uhr Schülerworkshops

13:00 Uhr Vorträge und Podiumsdiskussionen

Wasser und Klima
 Wasser, Landnutzung und Ernährung
 Wasser, Wirtschaft und Recht
 Wasser und Energie

Interaktive Projektpräsentationen

19:30 Uhr Abendveranstaltung

Wasser(sinn)bilder in der Musik

Wasser – Lebensgrundlage und Konfliktstoff

Montag, 24. November 2014

Bayerische Akademie
 der Wissenschaften
 Alfons-Goppel-Straße 11
 80539 München



Bitte beachten Sie, dass der Besuch der Schülerworkshops und der Abendveranstaltung eine Anmeldung erfordert. Anmeldungen bitte bis zum 17. November 2014 an sekretariat@akademienunion-berlin.de oder per Fax: 030 325 98 73 73. Das detaillierte Programm finden Sie unter www.akademienunion.de.



Liebe Leserinnen, liebe Leser!

„OHNE WASSER gibt es kein Leben. Wasser ist ein kostbares, für die Natur und den Menschen unentbehrliches Gut [...]. Wasser hat keine Grenzen. Es ist eine gemeinschaftliche Reserve, die eine internationale Zusammenarbeit erfordert.“ So formulierte bereits 1968 die Europäische Wasser-Charta die herausragende Bedeutung, die Wasser für das Leben auf der Erde hat. Im 21. Jahrhundert ist unsere Verantwortung für das Lebenselixier Wasser nicht geringer geworden – im Gegenteil. Wir stehen weltweit vor großen Herausforderungen, sei es bei der Versorgung mit Trinkwasser, bei wassertechnischen Großprojekten oder dem Erhalt der aquatischen Biodiversität.



ABB. ARCHIV

Wasser ist zugleich Lebensgrundlage und Konfliktstoff. Der Akademientag 2014, zu dem die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften am 24. November 2014 erstmals nach München einlädt, wird sich mit diesem Spannungsfeld beschäftigen. Unter Federführung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste ist ein vielseitiges Programm mit Workshops, Kurzvorträgen, Diskussionen und Projektständen entstanden. Zum Akademientag in der Münchner Residenz möchte ich Sie schon jetzt herzlich einladen!

Aus diesem besonderen Anlass widmen wir diese Ausgabe von „Akademie Aktuell“ dem Thema Wasser – vom Hochwasserschutz bis zum virtuellen Wasser, vom Einfluss des Klimawandels auf unser Trinkwasser bis zu ethischen Fragen der Energiegewinnung aus Wasserkraft. Hier zeigt sich die besondere Bedeutung, die Langfristforschung auch in den Naturwissenschaften hat. Gleichmaßen wollen wir einen Blick in die Vergangenheit und in andere Kulturräume werfen: Wasser in der Literatur ist ebenso ein Thema wie die Wasserbewirtschaftung im alten Mesopotamien, die Ortsnamenkunde zwischen Rhein und Elbe oder die tibetische Geomantie. Zahlreiche Experten, die auch am Akademientag mitwirken werden, haben zu dieser Ausgabe beigetragen, wofür ich ihnen herzlich danke. Mein besonderer Dank gilt Herrn Kollegen Jürgen Geist (TU München), Mitglied unserer Kommission für Ökologie, der das Konzept des Akademientags gemeinsam mit einer Arbeitsgruppe der Union federführend realisiert hat. Unseren Leserinnen und Lesern wünsche ich eine anregende Lektüre!

Prof. Dr. Karl-Heinz Hoffmann
Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften



ABB. AXEL KRIVOHLAVEK / FOTOCOMMUNITYDE

Unser Titel

Wassermanagement – ein fragiler Kompromiss zwischen Natur und Technik. Im modernen Wassermanagement treffen Ästhetik und menschlich-technische Bedürfnisse aufeinander. Heute gibt es in Europa an praktisch jedem Gewässer Beispiele für menschliche Eingriffe. Blocksteine, wie in unserem Foto am Rhein, bringt man in Fließgewässer z. B. gegen Wellenschlag und Ufererosion ein, oder auch, um den durchströmten Querschnitt zu verengen und so die Fahrrinne für Schiffe tief genug zu halten.

INHALT

AKTUELL

- 6 Kooperationsvertrag unterzeichnet**
Neuer „Kompetenzverbund Historische Wissenschaften“ in München
- Neuer Generalredaktor**
Michael Hillen wird Generalredaktor des Thesaurus linguae Latinae
- 7 150 Jahre Max Weber**
Neunteilige Reihe zu seinem 150. Geburtstag
- Leibniz-Rechenzentrum unterstützt WLAN für Wissenschaftler**
„Eduroam“-Netz auf WLAN-Hot-Spots der Stadt München freigeschaltet
- Engere Zusammenarbeit**
Kooperationsvereinbarung mit Deutschem Museum unterzeichnet
- Wie viel Patentschutz braucht die Gesellschaft?**
Symposium des BAdW Forums Technologie

THEMA: WASSER

- 10 Wie gehen wir im 21. Jahrhundert mit Wasser um?**
Plädoyer für ein nachhaltiges Management von Wasserressourcen
Von Jürgen Geist
- 16 Wie wirkt Umweltstress auf die Biodiversität in Fließgewässern?**
Erforschung von Ökosystemen mit neuen genetischen Methoden
Von Florian Leese
- 22 Graben wir uns das Wasser ab?**
Anmerkungen zum vernünftigen Umgang weltweit mit dem Gemeingut Wasser
Von Martin Grambow
- 32 Virtuelles Wasser – mehr als nur eine Rechengröße**
Wie viel Wasser wird bei der Herstellung von Konsumgütern verbraucht?
Von Hermann H. Hahn
- 38 Von ökologischen Herausforderungen und gesellschaftlichen Chancen**
Untersuchungen zum Wassermanagement am Beispiel zweier Großprojekte
Von Reinhard F. Hüttl, Christine Bismuth, Sebastian Hoehstetter und Oliver Bens
- 42 Die Kraft des Wassers: Segen oder Fluch?**
Wie gelingt uns eine ethisch vertretbare Energieversorgung?
Von Rafaela Hillerbrand



46 Jenseits von 374 °C – überkritisches Wasser

Wasser im fluiden Zustand hat besondere Eigenschaften
Von Gerd Brunner

54 Der Arktische Ozean

Ein Frühwarnsystem für globale Umweltveränderungen
Von Jörn Thiede, Henning Bauch und Robert Spielhagen

59 Hochwasser aus den Alpen

Die zerstörerische Kraft aus Europas zentralem Gebirge
Von Markus Weber und Ludwig Braun

66 Klimawandel und Trinkwasserversorgung

Ergebnisse der Langzeitforschung an Talsperren
Von Heidemarie Horn, Wolfgang Horn, Kerstin Röske und Isolde Röske

74 Wasser im alten Mesopotamien

Die Völker des Zweistromlandes lebten in einer regenarmen Region
Von Theresa Blaschke

78 Wasser in der tibetischen Geomantie

Zur Wirkung von Flüssen, Quellen oder Tümpeln auf dem Dach der Welt
Von Petra Maurer

82 Blick in die Vergangenheit

Neunsprünge, Osnabrück, Ircher und Bassermann
Von Kirstin Casemir

85 Fische in der epigraphischen Werkstatt

Ein ganz besonderer Fund zum Thema Wasser: die Ingolstädter Fischmaßtafel
Von Christine Steininger und Thomas Ring

89 „War das nit ein grosse klag“

Historische Inschriften geben Auskunft über Hochwasserstände
Von Christine Steininger

92 „Gesänge von Geistern über Wassern“

Literarische Exkursionen an den Rhein
Von Johannes John

JUNGES KOLLEG

98 „Landlust – Landfrust“ und „Emotionen in Organisationen“: Neue Mitglieder im Jungen Kolleg der Akademie

Interview mit Manuel Trummer und Jutta Wollersheim

PERSONEN

102 Kurz notiert

Akademie intern
Von Gabriele Sieber

RUBRIKEN

3 Editorial

104 Termine Oktober bis Dezember 2014

106 Auf einen Blick





Kooperationsvertrag unterzeichnet

DIE GESCHICHTSWISSENSCHAFTEN in München zu stärken und sichtbarer machen – das ist das Ziel der multilateralen Kooperationsvereinbarung „Kompetenzverbund Historische Wissenschaften München“, die am 4. August 2014 in der Akademie unterzeichnet wurde. In Anwesenheit von Staatsminister Ludwig Spaenle unterschrieben die Vertreter der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, der Bayerischen Staatsbibliothek, des Collegium Carolinum, des Historischen Kollegs, der Historischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, der Kommission für bayerische Landesgeschichte bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und der Monumenta Germaniae Historica den Vertrag. Assoziierte Partner sind das Institut für Zeitgeschichte und die Fakultät für Geschichts- und Kunstwissenschaften der LMU München. Den Festvortrag über „Geschichtswissenschaften in München – Traditionen und Perspektiven“ hielt Martin Schulze Wessel, Vorsitzender des Verbandes der Historikerinnen und Historiker Deutschlands.

Ziel der Vereinbarung ist es, die historischen Forschungseinrichtungen und ihre Forschungsarbeit besser sichtbar zu machen. Künftig lassen ein gemeinsames Internetportal, gemeinsame Veranstaltungen und gebündelte Medienarbeit nicht nur das internationale Fachpublikum, sondern auch die interessierte Öffentlichkeit an der gesamten Breite der geschichtswissenschaftlichen Forschung in München teilhaben. In den drei Arbeitsgemeinschaften „Vorträge, Veran-

Nach der Vertragsunterzeichnung: Marc-Aeilko Aris, Magnus Brechtken, Ferdinand Kramer, Martin Schulze Wessel, Ludwig Spaenle, Rolf Griebel, Hubertus Kohle, Karl-Heinz Hoffmann, Helmut Neuhaus, Gerrit Walther (v. l. n. r.).

staltungen, Sommerschulen“, „Digitale Geisteswissenschaften“ und „Öffentlichkeitsarbeit“ wollen die institutionell unabhängigen Kooperationspartner künftig ihre Kompetenzen in diesen Bereichen bündeln. „Durch den neuen Kompetenzverbund werden Synergie-Effekte genutzt, vor allem in Hinsicht auf die Anliegen, die alle beteiligten Institutionen verbinden: Dazu gehören die Öffentlichkeitsarbeit, die Herausforderungen der Digitalisierung und die Edition historischen Quellenmaterials“, erklärte Staatsminister Ludwig Spaenle.

Neuer Generalredaktor

MICHAEL HILLEN wird neuer Generalredaktor des Thesaurus linguae Latinae (TLL). Die Internationale Thesaurus-Kommission wählte ihn bei ihrer Tagung am 11. und 12. Juli in München zum Nachfolger der 2013 überraschend verstorbenen Silvia Clavadetscher. Der 1958 in Düsseldorf geborene Michael Hillen ist seit 1988 wissenschaftlicher Mitarbeiter und seit 1994 Redaktor des TLL.

Die Internationale Thesaurus-Kommission ist das oberste Herausbergremium des Thesaurus linguae Latinae, des ersten umfassenden wissenschaftlichen Wörterbuchs der antiken Latinität von den Anfängen bis 600 n. Chr., und besteht aus je einem Vertreter der 31 Mitgliedsinstitutionen aus der ganzen Welt.

150 Jahre Max Weber

MAX WEBER (1864–1920) ist einer der bedeutendsten deutschsprachigen Intellektuellen des 20. Jahrhunderts, als Soziologe und Kulturwissenschaftler ist er weltweit bekannt. Mit scharfem analytischen Blick benannte er die Grundlagen moderner Gesellschaften. Zu seinem 150. Geburtstag veranstalteten die Kommission für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte der Akademie und die Offene Akademie der Münchner Volkshochschule eine neunteilige Reihe. Zum Abschluss diskutierten M. Rainer Lepsius (l.) und Jürgen Kaube (r.) mit Friedrich Wilhelm Graf (Mitte) im Plenarsaal der Akademie über „Zwischenbetrachtungen im Prozess der Rationalisierung – 150 Jahre nach Max Weber“. BR alpha zeichnete den Abend für die Reihe „Denkzeit“ auf. ■

Podcast unter:

www.br.de/mediathek/video/sendungen/denkzeit/denkzeit-126.html

Zum Thema:

Die Entzauberung der Welt – 150 Jahre Max Weber „Akademie Aktuell“ 1/2014



Karl-Heinz Hoffmann (r.) und Wolfgang M. Heckl.

Engere Zusammenarbeit

MIT DEM GENERALDIREKTOR des Deutschen Museums, Wolfgang M. Heckl, unterzeichnete Akademiepräsident Karl-Heinz Hoffmann am 21. Juli 2014 eine Kooperationsvereinbarung. Die beiden Einrichtungen wollen künftig in der Forschung, bei der Durchführung wissenschaftlicher Veranstaltungen, im Bereich der Digital Humanities, bei der gegenseitigen Nutzung der vorhandenen Infrastruktur und bei den Kontakten zu anderen nationalen und internationalen wissenschaftlichen Einrichtungen enger zusammenarbeiten. „Ziel ist eine lebendige Kooperation, bei der die beiden Einrichtungen auch in der Pflege des wissenschaftlichen Nachwuchses zusammenarbeiten und ihre Aktivitäten noch stärker vernetzen“, erklärte Präsident Karl-Heinz Hoffmann. „Auch im Hinblick auf unser Zentrum für digitale Geisteswissenschaften wollen wir Synergieeffekte erschließen.“ ■

Leibniz-Rechenzentrum unterstützt WLAN für Wissenschaftler

ZUSAMMEN MIT den Stadtwerken München hat die Landeshauptstadt auf ihren WLAN-Hot-Spots das „eduroam“-Netz freigeschaltet. Möglich wurde das Münchner Angebot durch eine enge Kooperation mit dem Leibniz-Rechenzentrum der Akademie und dem Deutschen Forschungsnetz. Über 130.000 Studierende und Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Universitäten, Hochschulen sowie weiterer Forschungseinrichtungen können sich nun über das M-WLAN am Marienplatz, am Odeonsplatz, am Stachus und am Sendlinger Tor in das „eduroam“-Netz einwählen. Auch Studierende und Wissenschaftler aus anderen Ländern können sich kostenlos einloggen. ■

Wie viel Patentschutz braucht die Gesellschaft?

PATENTE SETZEN ANREIZE für Innovation und belohnen den Erfinder. Sie nützen der Gesellschaft, bergen aber auch Risiken. Am 30. Mai 2014 gingen Experten in der Akademie der Frage nach, ob bzw. unter welchen Umständen Patente Innovationen in Technik und Wissenschaft fördern oder hemmen. Josef Drexl, Arnold Picot und Joachim Hagenauer hatten die Veranstaltung des BAdW Forums Technologie organisiert. Das Symposium diente auch der wissenschaftlichen Nachwuchsförderung: Dank großzügiger Fördermittel konnten rund 120 ausgewählte Schülerinnen und Schüler von Gymnasien aus ganz Bayern teilnehmen. Zuvor besichtigten sie das Deutsche Patent- und Markenamt, BMW und das Deutsche Museum. ■



Ob als Trinkwasser, für die Bewässerung in der Landwirtschaft, als Energiequelle oder als Symbol in Mythen und Religionen – Wasser spielt eine zentrale Rolle in allen Kulturen. Es kann aber rasch auch Bedrohung und Konfliktstoff sein, sobald es zu viel oder zu wenig davon gibt.

Lebensgrundlage und Konfliktstoff

Wie gehen wir
im 21. Jahrhundert
mit Wasser um?

- 10 **Wie gehen wir im 21. Jahrhundert mit Wasser um?**
Von Jürgen Geist
- 16 **Wie wirkt Umweltstress auf die Biodiversität in Fließgewässern?**
Von Florian Leese
- 22 **Graben wir uns das Wasser ab?**
Von Martin Grambow
- 32 **Virtuelles Wasser – mehr als nur eine Rechengröße**
Von Hermann H. Hahn
- 38 **Von ökologischen Herausforderungen und gesellschaftlichen Chancen**
Von Reinhard F. Hüttl, Christine Bismuth, Sebastian Hoehstetter und Oliver Bens
- 42 **Die Kraft des Wassers: Segen oder Fluch?**
Von Rafaela Hillerbrand
- 46 **Jenseits von 374 °C – überkritisches Wasser**
Von Gerd Brunner
- 54 **Der Arktische Ozean – ein Frühwarnsystem für globale Umweltveränderungen**
Von Jörn Thiede, Henning Bauch und Robert Spielhagen
- 59 **Hochwasser aus den Alpen**
Von Markus Weber und Ludwig Braun
- 66 **Klimawandel und Trinkwasserversorgung**
Von Heidemarie Horn, Wolfgang Horn, Kerstin Röske und Isolde Röske
- 74 **Wasser im alten Mesopotamien**
Von Theresa Blaschke
- 78 **Wasser in der tibetischen Geomantie**
Von Petra Maurer
- 82 **Blick in die Vergangenheit**
Von Kirstin Casemir
- 85 **Fische in der epigraphischen Werkstatt**
Von Christine Steininger und Thomas Ring
- 89 **„War das nit ein grosse klag“**
Von Christine Steininger
- 92 **„Gesänge von Geistern über Wassern“**
Von Johannes John



Naturnahes Fließgewässer. Der Wert von Gewässern wird meist über Ökosystem-Dienstleistungen auf einer anthroporationalen und anthropozentrischen Ebene bewertet. Auch ästhetische Aspekte spielen dabei eine wichtige Rolle.

Einführung

Wie gehen wir im 21. Jahrhundert mit Wasser um?

Wasser ist Quell des Lebens, Bedrohung und Konfliktstoff. Es hat eine herausragende Bedeutung für menschliche Kulturen, die Artenvielfalt und funktionierende Ökosysteme. Ein nachhaltiges Management von Wasserressourcen und Gewässern, das ganz unterschiedliche Disziplinen einbezieht, wird in Zukunft unverzichtbar sein.

VON JÜRGEN GEIST

Zur Bedeutung von Wasser

DIE VERFÜGBARKEIT UND QUALITÄT von Wasserressourcen – insbesondere von Süßwasser – ist für die Existenz und Evolution der menschlichen Zivilisation von zentraler Bedeutung. Schon Aristoteles maß dem Wasser in seiner „Vier-Elemente-Lehre“ eine besondere Funktion bei, die sich auch in vielen religiösen Kontexten (Taufe im Christentum, Mikwe-Ritualbad im Judentum, rituelle Gebetswaschung im Islam, rituelles Bad und Bestattungen im Ganges für Hindus) widerspiegelt. Historisch entstanden menschliche Siedlungen meist in der Nähe von Gewässern, um die Versorgung mit Trinkwasser und Nahrung sicherzustellen, später aber auch, um die Hygiene über eine funktionierende Abwasserentsorgung zu gewährleisten.

Eine Vielzahl mit dem Wasser übertragene Krankheiten wie die Amöbenruhr, die Cholera oder die Bilharziose werden direkt (z. B. durch die Einleitung von Fäkalien) oder indirekt (z. B. über die Begünstigung der Zwischenwirte von Parasiten) durch das Wasser- und Gewässermanagement beeinflusst. Weltweit ist die Verfügbarkeit von Wasser für die Landwirtschaft eng mit der Nahrungsmittelproduktion verknüpft. Das umstrittene Konzept des „virtuellen Wassers“ versucht, den Wasserverbrauch bei der Produktion von Nahrungsmitteln und anderen Gütern zu kalkulieren. Die Inanspruchnahme von Gewässern als Transportweg und Energiequelle sowie die zunehmende Bedeutung im Zusammenhang mit Freizeit- und Erholungsfunktionen sind weitere Beispiele für menschliche Nutzungen. Die vielfältigen Funktionen aquatischer Systeme für den Menschen werden als sog. Ökosystem-Dienstleistungen zusammengefasst, unterteilt in bereitstellende Leistungen (z. B. von sauberem Trinkwasser und Fisch als Nahrung), unterstützende Leistungen (z. B. Lebensraumfunktion, Erhalt der genetischen Vielfalt), regulierende Leistungen (z. B. Pufferung von Fluten, Regional Klima) und kulturelle Leistungen (z. B. Erholungsfunktion und Naturtourismus).



Kumbh Mela gilt als das größte religiöse Fest des Hinduismus und der Welt. Millionen von Pilgern kommen nach Haridwar zu rituellen Waschungen im Ganges.

Wasser kann allerdings auch Konfliktstoff und Bedrohung sein. Besonders bei Trockenheiten und Überschwemmungen wird augenscheinlich, dass die zeitlich-räumliche Variabilität der Wasserverfügbarkeit von entscheidender Bedeutung ist und daher im Gewässermanagement neben der Qualität auch die Mengenwirtschaft berücksichtigt werden muss. Bei einer stärker biozentrischen Betrachtung fällt auf, dass wasserreiche Regionen und Gewässer „Hot Spots“ der Biodiversität sind. Schätzungen zufolge sind etwa sechs Prozent aller Arten und etwa ein Drittel aller Wirbeltiere unmittelbar an Süßwasser-



wäldern. Besonders hoch spezialisierte Arten mit komplexen Entwicklungszyklen sind in ihren Beständen stark bedroht. Ein Beispiel bildet die bis zu 200 Jahre alt werdende Flussperlmuschel, die für ihre Entwicklung auf einen geeigneten Wirtsfisch und ein intaktes Gewässersubstrat angewiesen ist. Die Bestände dieser ehemals häufigen Art sind in Mitteleuropa stark rückläufig, da nur noch wenige Gewässer existieren, in denen sich die Flussperlmuschel in den letzten 50 Jahren vermehren konnte.

Anforderungen und Ziele im Gewässermanagement

Weil die Gewässertypen sehr unterschiedlich sind (u. a. Grundwasser, Fließgewässer, stehende Gewässer, Meere) und es zahlreiche Nutzungszwänge an Gewässern im Zusammenhang mit Trinkwassergewinnung, Hochwasserschutz, Bewässerung, Energiegewinnung, Fischerei, Transport, Vorfluterfunktionen, Freizeit- und Erholungsfunktionen gibt, sind Anforderungen und Ziele im Gewässermanagement meist nicht einfach zu definieren. Neben dem Schutz des Grundwassers für die Trinkwasserversorgung (z. B. Vermeidung von Kontaminationen durch Fracking oder Nähr- und Schadstoffeinträge) sind aus ökologischer Sicht vor allem mit dem Schutz und der Restaurierung von Oberflächengewässern und ihrer Biodiversität im 21. Jahrhundert große Herausforderungen verbunden. Zu den Hauptgefährdungsfaktoren der biologischen Vielfalt in aquatischen Ökosystemen zählen Übernutzung, Verschmutzung, Habitatdegradation und -fragmentierung sowie Invasionen durch gebietsfremde Arten, die teils durch den Klimawandel begünstigt werden. Vor allem in Fließgewässern haben Veränderungen des natürlichen Abflussregimes durch wasserbauliche

Invasive Arten wie der Signalkrebs (A), der Höckerflohkrebs (B) oder die Kesslergrundel (C) breiten sich zunehmend aus und resultieren in neuartigen Lebensgemeinschaften.

Ökosysteme gebunden, obwohl diese nur einen Anteil von 0,01 Prozent am weltweiten Wasservolumen aufweisen und weniger als ein Drittel der Erdoberfläche bedecken. Süßwasser-Ressourcen und insbesondere Oberflächengewässer unterliegen vielfältigen Nutzungszwängen, aufgrund derer in Europa heute praktisch keine Gewässer mehr existieren, die in ihrer Struktur und/oder ihrem Chemismus über größere Bereiche dem ursprünglichen bzw. natürlichen Zustand entsprechen. In der Folge zählen viele Süßwasserarten – darunter u. a. Vertreter der Fische, Muscheln und Krebse – zu den weltweit am stärksten gefährdeten Taxa. Vor allem in Fließgewässern übersteigt der Rückgang der Biodiversität sogar Werte aus tropischen Regen-



Herausforderungen im Management von Wasserressourcen und Gewässern. Aufgrund verschiedener Nutzungsansprüche entstehen Zielkonflikte.

Maßnahmen, durch den Landnutzungswandel und durch Wasserausleitungen oftmals gravierende Auswirkungen auf Lebensgemeinschaften. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden massive Anstrengungen unternommen, die Wasserqualität in Seen und Fließgewässern zu verbessern, indem man den Eintrag von Nährstoffen verringerte (durch den Ersatz von Phosphat in Waschmitteln, die Anlage von Ringkanalisationen und verbesserte Kläranlagentechnik). Dadurch ging z. B. im Bodensee die Gesamtposphatkonzentration um 90 Prozent im Vergleich zu den 1970er Jahren zurück. Trotz Milliardeninvestitionen in eine verbesserte Abwasserreinigung und die in westlichen Staaten inzwischen flächendeckend gute Wasserqualität hat sich der Status aquatischer Arten jedoch meist nicht verbessert. Wesentliche Gründe hierfür werden vor allem in den massiven strukturellen Veränderungen und Defiziten von Gewässern gesehen, aber auch Wirkungen von Pharmazeutika, hormonell wirksamen Substanzen, Nanopartikeln, Mikroplastik und anderen Xenobiotika sowie Spurenstoffen werden kontrovers diskutiert. Vor allem in Fließgewässern sind ökologische Defizite aufgrund des Gewässerbaus, der starken Fragmentierung durch Querbauwerke und des Eintrags von Feinsedimenten offensichtlich.

DER AUTOR

Prof. Dr. Jürgen Geist hat an der Technischen Universität München den Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie inne. In seiner Forschung untersucht er in einem integrativen Ansatz „vom Molekül zum Ökosystem“ die Funktionalität von Gewässerökosystemen und den Einfluss natürlicher und anthropogener Störungen auf Biodiversität, Produktivität und Ökosystem-Dienstleistungen. Er war Mitglied des Jungen Kollegs der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und ist heute Mitglied ihrer Kommission für Ökologie. Den Akademientag 2014 „Wasser – Lebensgrundlage und Konfliktstoff“, der als Gemeinschaftsveranstaltung der acht deutschen Länderakademien am 24. November 2014 in München stattfindet, wird, hat er zusammen mit einer Arbeitsgruppe der Akademiunion inhaltlich und konzeptionell federführend vorbereitet.

Mit der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) aus dem Jahr 2000 hat sich in Europa der Ansatz des Gewässermanagements mit der grenzübergreifenden Betrachtung ganzer Einzugsgebiete grundlegend verändert. Generell soll nach den Zielen der WRRL bis zum Jahr 2015 – spätestens jedoch bis 2027 – ein guter ökologischer Zustand bzw. ein gutes ökologisches Potential in allen Flüssen, Seen, Küstengewässern und im Grundwasser erreicht werden. Dieses Ziel ist gleichzeitig mit einem Verschlechterungsverbot gekoppelt. Die Bewertung in fünf Zustandsklassen (sehr gut, gut, mäßig, unbefriedigend und schlecht) wird anhand biologischer Qualitätskomponenten (Fische, Fischnährtiere, Wasserpflanzen und Algen) ermittelt. Dabei werden die Artenzusammensetzung, die Häufigkeit ihres Vorkommens und bei Fischen auch die Altersstruktur erfasst. Unterstützend werden die Gewässerstruktur sowie allgemeine chemische und physikalisch-chemische Parameter zur Beurteilung herangezogen. Ein guter ökologischer Zustand ist dann erreicht, wenn sich die Zusammensetzung der vier Qualitätskomponenten nur geringfügig von der Referenzsituation, also der

natürlichen Situation ohne menschliche Eingriffe, unterscheidet und keine erhöhte Konzentration an Schadstoffen vorliegt. Derzeit verfehlt der Großteil der mitteleuropäischen Gewässer die angestrebte Zielmarke.

Wie sinnvoll ein statisches Schutzkonzept ist und ob es überhaupt möglich ist, flächendeckend zu naturnahen Gewässern in Kulturlandschaften zurückzukehren, darf besonders im Falle von Fließgewässern, die natürlicherweise dynamische Systeme darstellen, bezweifelt werden. Vor dem Hintergrund der zahlreichen Invasionen von gebietsfremden Arten aus nahezu allen taxonomischen Gruppen entstehen derzeit vielerorts neue Lebensgemeinschaften mit bislang unbekanntem Artenkombinationen. Im Fall der Donau und des Rheins werden die Artengemeinschaften heute teils bereits von Neobiota wie mehreren aus der Pontokaspis stammenden invasiven Grundelarten oder dem Höckerflohkrebs (in der Presse oft als „Killer-Shrimp“ bezeichnet) dominiert, die eine Rückkehr zu einem ursprünglichen Referenzzustand unwahrscheinlich machen. Einige Neuankommlinge wie der nordamerikanische Signalkrebs wurden für die Aquakultur bewusst eingeführt. Er fungiert als Überträger der Krebspest, die maßgeblich für den Rückgang heimischer Krebsbestände verantwortlich ist. Das Ziel, die Durchgängigkeit von Gewässern für Wanderfische wie den Aal oder



Herausforderungen im



Transportweg



Abwasserentsorgung

Fischerei und Aquakultur
(menschliche Ernährung)

Freizeit und Erholung

Gefährdung
Hochwasserschutz

Lachs wiederherzustellen, findet vor dem Hintergrund der möglichen Begünstigung der Ausbreitung invasiver Arten nicht nur Befürworter.

Integrative Ansätze im Gewässermanagement

Ein Verständnis der funktionellen Interaktionen und Prozesse in aquatischen Ökosystemen stellt eine große Herausforderung an die Wissenschaft dar und ist für die Effektivität und Nachhaltigkeit von Schutz- und Restaurierungsmaßnahmen entscheidend. Allerdings folgen Gewässerrestaurierungen derzeit meist dem Prinzip von Versuch und Irrtum. In vielen Fällen werden Konzepte verfolgt, deren Nutzen bislang noch unzureichend dokumentiert ist oder die sogar negative Folgen haben können. An einigen Forschungsbeispielen des Lehrstuhls für Aquatische Systembiologie der TU München wurde gezeigt, dass die Wirkung von praxisüblichen Substrat-Restaurierungsmaßnahmen oftmals nur weniger als ein Jahr andauert und bei vielen Restaurierungsmaßnahmen der Vergangenheit auf eine Effektbewertung ganz verzichtet wurde. Folglich sollten zukünftige Maßnahmen zur Gewässerrestaurierung zwingend Erfolgskontrollen nach wissenschaftlichen Standards beinhalten, bevor diese in der Fläche propagiert werden. Darüber hinaus sind

im Vorfeld eine klare Definition von Leitbildern, Priorisierungen der Gewässer und Maßnahmen sowie die Einplanung eines anpassungsfähigen Managements unverzichtbar. Spektakuläre Beispiele der Gewässerrestaurierung wie die Isar-Restaurierung in München zeigen, dass entsprechende Maßnahmen selbst in dicht besiedelten Kulturräumen möglich sind.

Ein Kernproblem im Management von Wasserressourcen und Gewässern liegt heute in den immer noch stark disziplinär geprägten Lösungsansätzen, die erschweren, politische Ziele (z. B. ein guter ökologischer Zustand der Gewässer, wie in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie gefordert) zu erreichen. Für viele wasserbezogene Probleme existieren technische Lösungen, die allerdings unzureichend im gesellschaftspolitischen und ökologischen Kontext diskutiert werden. Ein aktuelles und kontrovers diskutiertes Beispiel stellt der geplante Ausbau der Wasserkraft dar, bei dem die ökologischen Effekte der CO₂-Einsparung mit den Auswirkungen auf wandernde Gewässerarten und den Lebensraumveränderungen abgewogen werden müssen.

Entscheidungen zu zentralen Fragen des Managements von Wasserressourcen im 21. Jahrhundert erfordern daher grundsätzlich die Einbeziehung historischer, naturwissenschaftlicher, technischer, ingenieurwissenschaftlicher, ethisch-religiöser, philosophischer, gesellschaftswissenschaftlich-humanistischer und politischer Blickwinkel, um akzeptable Lösungen für verschiedene Disziplinen und Gesellschaftsgruppen zu erreichen. Ein Konsens wird dabei nicht immer möglich sein, aber transparente Entscheidungsfindungen sind ein wichtiger Schritt zu einer verbesserten Akzeptanz.

Besonders spezialisierte Arten mit komplexen Entwicklungszyklen wie die Flussperlmuschel (*Margaritifera margaritifera*) sind heute vom Aussterben bedroht.



Abb. 1: Multiple Stressfaktoren bedrohen die Gewässerbiodiversität. Mit dem ExStream-System können die Effekte genau untersucht werden.



Biodiversitätsforschung

Wie wirkt Umweltstress auf die Biodiversität in Fließgewässern?

Fließgewässer sind die Lebensadern unserer Zivilisation und gleichzeitig Hot Spots der Biodiversität. Verschiedenste Stressfaktoren dezimieren jedoch die Artenvielfalt derzeit massiv. Moderne genetische Methoden bieten neue Ansätze zur Diagnose und zum Verständnis der Wirkmechanismen.

VON FLORIAN LEESE

FLÜSSE UND BÄCHE SIND extrem artenreiche Lebensräume. Insbesondere in den letzten 100 Jahren wurden diese Fließwasserökosysteme jedoch durch den Eingriff des Menschen immens in ihrer Struktur degradiert, was zu einem dramatischen Artensterben geführt hat. Neben ethischen Bedenken und kulturellen Verlusten stellt diese Biodiversitätskrise auch ein sozio-ökonomisches Problem dar, denn nur intakte Gewässerökosysteme mit ihrer Artenvielfalt stellen gratis eine Vielzahl wichtiger Funktionen, so genannte „Ökosystem-Dienstleistungen“, für die menschliche Gesellschaft bereit (siehe dazu den Beitrag von Jürgen Geist in dieser Ausgabe, S. 10–15).

Vor dem Hintergrund der einzigartigen Bedeutung und gleichzeitig enormen Bedrohung von Fließwasserökosystemen mit ihrer Biodiversität wurden in vielen Ländern aufwändige Renaturierungsprojekte initiiert. Viele dieser Renaturierungsbemühungen blieben allerdings bislang erfolglos, da die typischen Leitarten intakter Gewässer nicht in die renaturierten Gewässer zurückkehren. Dies wiederum kann an einer Vielzahl von Faktoren liegen: an einer weiter andauernden, nicht erkannten Belastung der Gewässer durch Stressfaktoren, an fehlenden Habitaten für die Ansiedlung der Organismen, an der Fragmentierung der Gewässer oder dem Fehlen weiterer Schlüsselarten, auf deren Vorkommen die Art direkt angewiesen ist. Vielleicht dauert es auch viel länger, bis Gewässerökosysteme erfolgreich wiederhergestellt sind, da sich einige Organismen erheblich langsamer ausbreiten und etablieren können, als bisher angenommen.

Viele dieser Fragen können durch Beobachtungen und Laborexperimente alleine nicht beantwortet werden. Neue genetische Methoden eignen sich hervorragend dazu, die Biodiversität schnell und zuverlässig zu erfassen, den Einfluss verschiedener Stressfaktoren auf Arten zu untersuchen sowie das Ausbreitungs- und Etablierungspotential von Organismen zu bestimmen. Erkenntnisse in diesen Bereichen sind wichtig, um Schutzstrategien für die Biodiversität weiterzuentwickeln und die Wiederherstellung von Fließwasserökosystemen zu optimieren.

Genau an dieser Schnittstelle setzt die Arbeit der von der Kurt-Eberhard-Bode-Stiftung geförderten GeneStream-Nachwuchsforscherguppe an. Mit modernsten genetischen Methoden, kombiniert mit ökologischen Exper-

Abb. 2: In Bächen spielt der Bachflohkrebs (*Gammarus fossarum*) eine wichtige ökologische Rolle beim Abbau von organischem Material.

Abb. 3: Bäche und Flüsse sind Hot Spots der Biodiversität. Durch Verbau und Verschmutzung nimmt die Anzahl an Arten in den Gewässern weltweit dramatisch ab. Startpunkt für die Untersuchungen im GeneStream-Projekt war der Breitenbach in Hessen – eines der am besten untersuchten Ökosysteme der Welt.

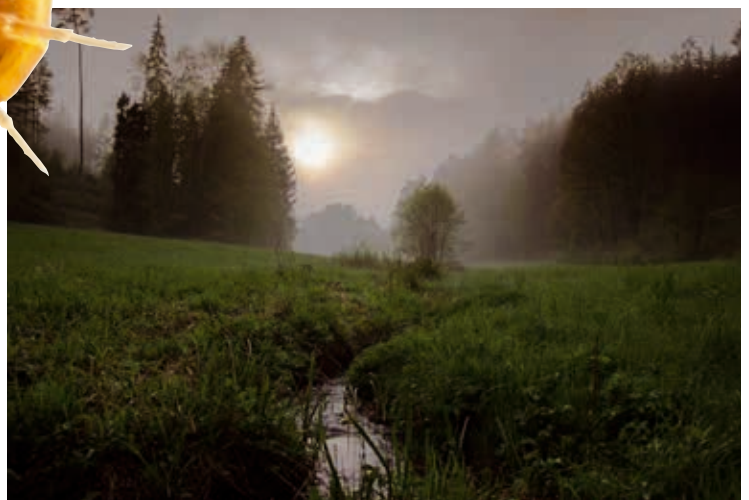


Abb. 4: Biodiversität beschreibt die biologische Vielfalt der Arten und Ökosysteme, aber auch die genetische Vielfalt innerhalb von Populationen. Die menschliche Gesellschaft profitiert direkt von Ökosystem-Dienstleistungen, welche die Biodiversität gratis bereitstellt. Vom Menschen verursachte Stressfaktoren und der Klimawandel haben eine Biodiversitätskrise hervorgerufen, die daher eine unmittelbare Bedrohung für die menschliche Gesellschaft darstellt.

menten, untersuchen die Wissenschaftler die Wirkung einzelner und multipler Stressfaktoren von der Ebene der Gene bis zur Ebene der Ökosysteme (Abb. 4). Drei Aspekte stehen hierbei im Zentrum der Untersuchungen:

- 1) die umfassende und genaue Dokumentation der Artenvielfalt in Fließgewässern durch „DNA-Barcoding“;
- 2) die Analyse von Wirkmechanismen multipler Umweltstressfaktoren auf die Biodiversität vom Niveau einzelner Gene bis hin zu Ökosystemen,
- 3) die Entwicklung und Implementation neuer genetischer Verfahren, um bisherige ökologische Erhebungen zur Gewässerqualität umfassender, schneller und reproduzierbarer machen.

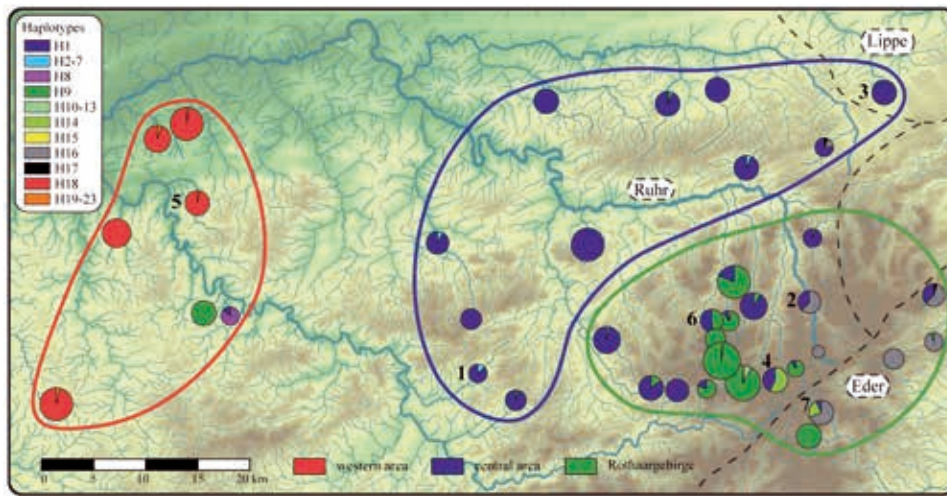
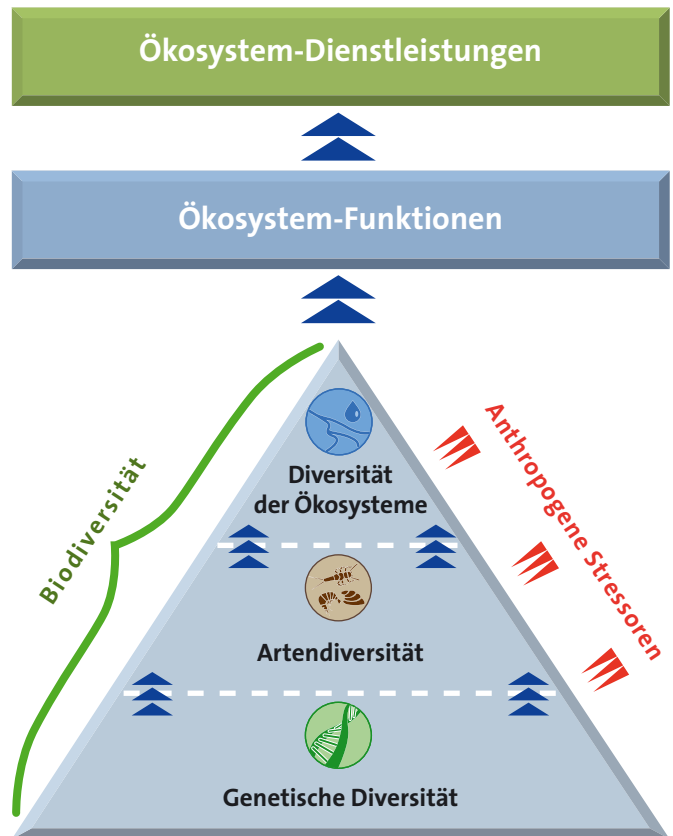


Abb. 5: Genetische Untersuchungen belegen, dass Populationen von Fließwasserorganismen oft extrem isoliert sind. Am Beispiel von über 1.200 untersuchten Individuen des Bachflohkrebses im Sauerland wird deutlich, dass genetischer Austausch zwischen vielen Populationen unmöglich ist. Unterschiedliche Farben symbolisieren unterschiedliche Genotypen für das mitochondriale Cytochrom C Oxidase I Gen.

Im Folgenden werden die drei Schwerpunkte näher ausgeführt.

Census der Artenvielfalt

Verschiedene Arten haben oft sehr verschiedene Ansprüche und Funktionen in einem Gewässer und werden entsprechend seit Jahrzehnten erfolgreich als Bioindikatoren bei der Bewertung von Ökosystemen eingesetzt. Das Vorkommen zahlreicher strömungsliebender, verschmut-

zungssensitiver Eintagsfliegen signalisiert zum Beispiel einen guten ökologischen Zustand in einem Flussoberlauf, während das Vorkommen lediglich verschmutzungstoleranter Zuckmückenlarven oder Fadenwürmer auf einen belasteten Zustand schließen lässt. Detaillierte Artenlisten sind daher das zentrale Instrument, um den ökologischen Zustand eines Gewässers zu bewerten. Erstellt werden Artenlisten durch den morphologischen Vergleich der gefundenen Tiere mit Bestimmungsliteratur.

Dieser Ansatz weist jedoch mehrere Nachteile auf: Erstens ist die tatsächliche Arten- und Funktionsvielfalt erheblich größer, als bislang in der Literatur bekannt. Ein Grund dafür ist, dass viele Arten morphologisch sehr ähnlich oder gar identisch aussehen, jedoch genetisch klar getrennt sind („kryptische Arten“). Zweitens kommt es häufig zu Fehlbestimmungen, da die Untersuchung der Artenvielfalt vor allem auf den schwer bestimmbarsten Juvenilstadien der Organismen basiert und zunehmend die taxonomische Expertise verlorengeht. Drittens ist neben dem reinen Vorkommen einer Art entscheidend, dass ihre Populationen genetisch möglichst vielfältig sind, um auf Umweltänderungen reagieren zu können.

Eine Lösung für diese Probleme bietet ein genetisches Fingerabdruck-Verfahren, das sogenannte DNA-Barcoding. Dabei wird ein Abschnitt eines Gens untersucht, der für die verschiedenen Arten eine charakteristische und einzigartige Basenabfolge hat. Bei Tieren ist dies in der Regel ein Abschnitt aus dem mitochondrialen Cytochrom C Oxidase I Gen. Mit Hilfe dieses Gen-Barcodes kann ein Individuum einer Art eindeutig zugewiesen werden – ähnlich wie eine Tafel Schokolade im Supermarkt an der Kasse über den Strich-Barcode erkannt wird. Da die Grundlage das in den Zellen enthaltene Erbgut ist, funktioniert diese Analyse selbst mit wenigen Zellen oder abgebrochenen Körperteilen. Die hohe Variabilität des Markers erlaubt es ferner abzuschätzen, wie groß die genetische Vielfalt in den Populationen ist (Abb. 5). Eine Hauptaufgabe der GeneStream-Forschergruppe ist es, im Zusammenhang mit nationalen und internationalen Konsortien (z. B. www.faubavarica.de, www.bolgermany.de, www.barcodeoflife.org) die Fließgewässerarten genetisch zu charakterisieren und diese Informa-

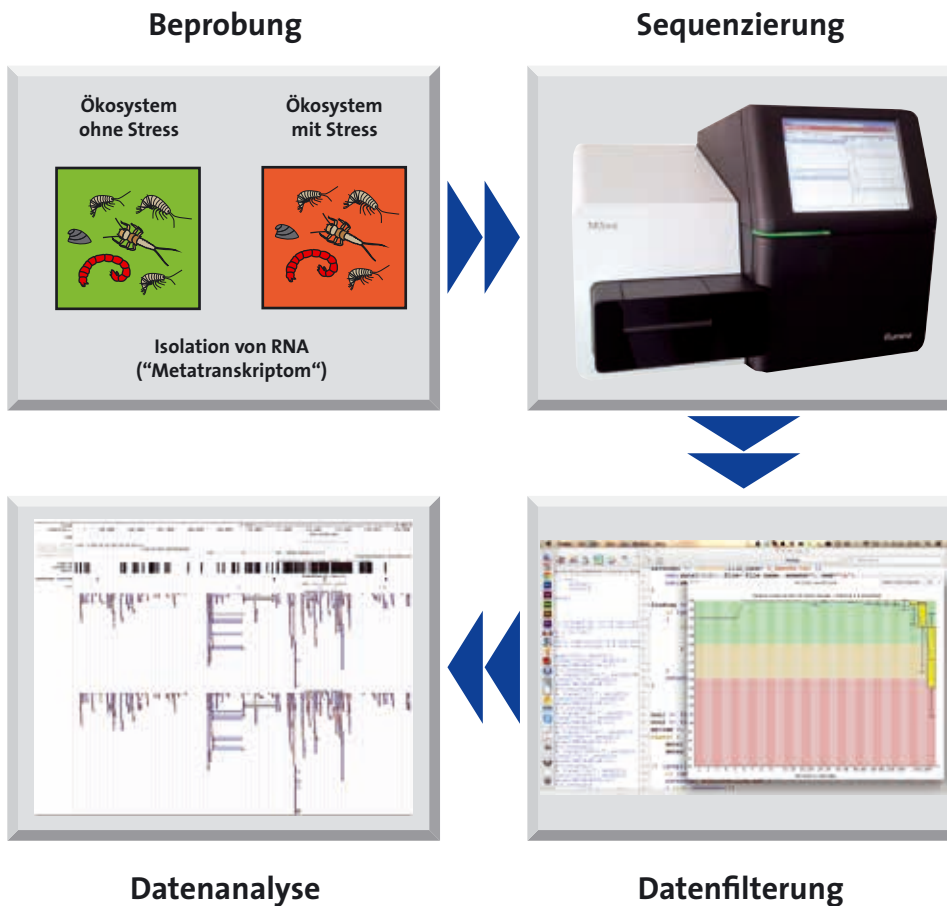
tionen in großen, öffentlichen Datenbanken zu hinterlegen. Hierzu ist die Zusammenarbeit mit den taxonomischen Experten insbesondere in den Museen im In- und Ausland essentiell. Diese Artenlisten stellen eine wichtige Grundlage dar, um Veränderungen der Artenvielfalt als auch der genetischen Diversität standardisiert zu beurteilen.

Einfluss multipler Stressfaktoren

Traditionell wird in der Ökotoxikologie der Einfluss einzelner Stressfaktoren auf Organismen getestet. Die Schwere des Einflusses wird zum Beispiel über die Expression von Stressproteinen oder durch die Sterblichkeitsrate nach definierten Zeitintervallen charakterisiert. Diese Untersuchungen sind unbestritten sehr wichtig. Neue Untersuchungen der ökologischen Genomik zeigen jedoch, dass viel geringer dosierte Stressfaktoren bereits einen großen Einfluss auf Populationen haben und mit der Zeit zu gravierenden Veränderungen auf genetischer Ebene führen können. Des

Abb. 6: Das ExStream-System im Einsatz am Breitenbach in Hessen. Mit dem System wird getestet, wie multiple Stressfaktoren wie Feinsediment, Nährstoffeintrag oder hydraulischer Stress in Kombination wirken.





Im GeneStream-Projekt nutzen wir hierfür naturnahe Mesokosmos-Experimente, also eine Mischung aus Labor- und Freilandexperimenten, mit denen gezielt die Wirkung von Stressfaktoren untersucht werden können. Mit dem System, das an der Universität von Otago (Neuseeland) von Kollegen entwickelt wurde, können unmittelbar am Gewässer bis zu 128 einzelne Untersuchungs-rinnen mit der natürlichen Bach-gemeinschaft besiedelt werden und auf die Effekte von Stressfaktoren auf die Biodiversität einzeln und in Kombination getestet werden. Die Tiere in den verschiedenen Versuchsbedingungen werden genetisch auf ihren Stresszustand hin untersucht und Änderungen in der Diversität werden quantifiziert (Abb. 7).

Neue genetische Methoden zur Bewertung

Neue technologische Revolutionen auf dem Gebiet der DNA-Sequenzierung eröffnen neben der detaillierten Zuordnung einzelner Arten auch vollkommen neue Wege bei der standardisierten

Abb. 7: Über moderne Hochdurchsatz-Sequenzierungen können viele Millionen Bereiche im Erbgut zuverlässig und schnell analysiert werden. Dies ermöglicht es, die Effekte von Stressfaktoren bis auf die Ebene der genetischen Diversität hin zu analysieren.

Weiteren können multiple Stressfaktoren, wie sie im Regelfall im Freiland wirken, komplex miteinander interagieren. Aus der pharmazeutischen Forschung sind Wechselwirkungen verschiedener Wirkstoffe hinreichend belegt. Neueste Untersuchungen zeigen, dass auch Umweltstressfaktoren wie Nährstoffanreicherung, Temperaturerhöhung oder Feinsedimenteintrag in komplizierter Weise miteinander wechselwirken. Dies kann dazu führen, dass die schädliche Wirkung zweier Stressfaktoren abgeschwächt wird oder aber, dass ihr negativer Einfluss noch verstärkt wird. Beide Faktoren führen dazu, dass die Reaktion einzelner Populationen, aber auch kompletter Arten und Ökosysteme, auf multiple Stressfaktoren in der Natur nur schwer vorherzusagen ist. Dies stellt das Management von Ökosystemen vor eine große Herausforderung.

Umso wichtiger ist es in der aktuellen Forschung, eben genau solche Interaktionen zwischen Stressfaktoren zu erkennen, damit diese in Managementmaßnahmen integriert werden können.

Bewertung von Umweltproben. Konnten bis vor wenigen Jahren nur wenige hundert Sequenzen pro Woche analysiert werden, so ermöglichen die modernen „Next-Generation-Sequencing“-Methoden das Entschlüsseln von vielen hundert Millionen Sequenzen in wenigen Tagen.

Das Potential dieser Technik für die Beurteilung und das Monitoring von Fließwasserökosystemen ist hierbei noch weitgehend ungenutzt. Bislang werden biologische Proben noch in Umweltbüros und kommunalen/regionalen Institutionen ausgewertet. Hierbei kommt es zu großen Abweichungen, da die Qualität der Auswertungen (insbesondere die Bestimmung) stark zwischen den Institutionen variiert. Im GeneStream-Projekt arbeiten wir neben der Erstellung einer Referenzdatenbank mit Hilfe von DNA-Barcoding an der Entwicklung von Techniken, die es ermöglichen, Proben einheitlich zu analysieren und objektiver zu bewerten. Hierzu wird das Probenmaterial (alle Organismen) künftig komplett homogenisiert und für die anschließend in Lösung befindliche DNA aller Organismen das DNA-Barcode-Fragment analysiert (Abb. 8). Damit kann die Zusammensetzung der Biodiversität von Bakterien und

einzelligen Algen bis hin zu hochentwickelten Gliederfüßern standardisiert charakterisiert werden („Community Barcoding“). Über die Analyse der aktiven Gene aller Organismen in einer Probe kann der physiologische Zustand der Organismen insgesamt analysiert werden („Metatranskriptomik“). Erste Pionierstudien sowohl unserer als auch internationaler Gruppen belegen eindrucksvoll das Potential des Next-Generation-Sequencings, um den Zustand und Veränderungen von Ökosystemen schnell und standardisiert zu beschreiben.

Neben Analysen ganzer Artgemeinschaften bietet das Next-Generation-Sequencing auch ideale Optionen, um den Einfluss von Barrieren wie Stauwehren oder Verrohrungen oder den

Effekt stofflicher Belastungen (Schwermetall, organische Verunreinigung) auf Populationen einer Art zu untersuchen.

Schlussbemerkung

Moderne genetische Methoden eröffnen neue Möglichkeiten bei der Analyse von Stressfaktoren auf Ökosysteme. Wundermittel sind sie jedoch nicht. Insbesondere die Kenntnis von Arten und ihrer Funktion in Ökosystemen kann durch reine Gen-Sequenzen nicht erbracht werden. Genetische Ansätze entfalten daher ihr maximales Kapital als wichtiger, neuer Teil innerhalb einer integrativen Ökosystemforschung, die das Antwortverhalten von Genen bis zu Ökosystemen betrachtet.

DER AUTOR

Dr. Florian Leese leitet seit 2013 die GeneStream-Juniorforschergruppe am Lehrstuhl für Evolutionsökologie und Biodiversität der Tiere der Ruhr-Universität Bochum. Er ist Mitglied des Jungen Kollegs der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste.

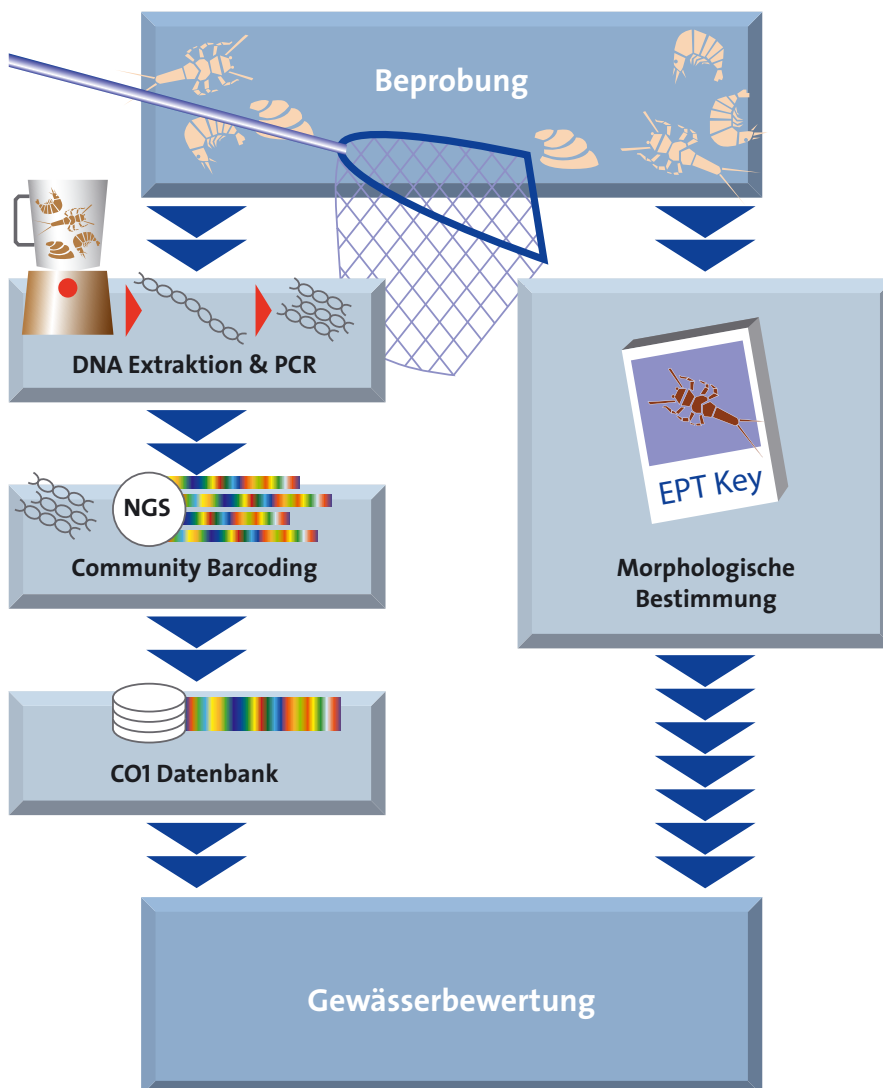


Abb. 8: Bei der Bewertung von Fließgewässern werden traditionell die Organismen mit dem Netz gesammelt, aussortiert und anschließend morphologisch bestimmt. Dies führt zu vielen Fehlern, da Tiere übersehen oder in unterschiedlichen Institutionen unterschiedlich bestimmt werden (rechter Weg). Über die im GeneStream-Projekt entwickelte Methode des „Community Barcodings“ (linker Weg) werden die Organismen homogenisiert und die komplette Biozönose über Hochdurchsatz-Sequenzierung analysiert. Dies ermöglicht in Zukunft eine schnelle und standardisierte Analyse.

WWW

<http://GeneStream.de>



Globale Perspektive

Graben wir uns das Wasser ab?

Anmerkungen zum vernünftigen Umgang weltweit mit dem Gemeingut Wasser.

Das Rheinufer bei Düsseldorf im November 2011. Die trockene Erde ist aufgebrochen, der Pegelstand beträgt nur noch 79 cm. Seit drei Wochen hatte es kaum mehr geregnet.



ABB: MARTIN GERTEN DPA / LNW

VON MARTIN GRAMBOW

In Durko (Ghana), hier eine Aufnahme von 2012, hat Wasserübernutzung dazu geführt, dass das Grundwasser versalzen ist (Meerwasserzutritt) und die Bäche versiegen. Nun leiden die Menschen Durst.

ES IST NICHT GANZ EINFACH, einen verlässlichen Überblick über die globale Situation des Wassers zu bekommen. UN-Organisationen und Institutionen wie die Weltbank oder auch die NATO bemühen sich seit mindestens drei Jahrzehnten intensiv, die Fakten zum Umgang mit Wasser zu erfassen. Dennoch bleibt das Bild lückenhaft. Das liegt vor allem daran, dass die weltweite Datenlage immer noch unbefriedigend ist – ein erster Hinweis auf strukturelle Probleme des Sektors.

Die Aussagekraft dieser Daten steigt signifikant, wenn sie durch Informationen aus den Netzwerken der Wasseradministrationen und -institutionen sowie aus der Forschung, Think Tanks, Berichten von NGOs und Medien ergänzt werden. Aus der Summe von einigermaßen gesicherten Fakten und punktuellen, nicht statistisch abgesicherten Wahrnehmungen lassen sich durch Erfahrungswissen typische Muster der Belastungssituation und der Bewältigungsstrategien erkennen.

Globale Phänomene I: eine begrenzte Wassermenge

Wasser wird zunehmend knapp: Die Bevölkerung und damit die Nachfrage wächst. Derzeit gibt es nach UN-Zählungen immer noch rund 800 Millionen Menschen ohne zureichende Wasserversorgung. Was schlimm klingt, ist dennoch ein Erfolg: Mit den UN-Millenniumszielen aus dem Jahr 2000 hatte man sich vorgenommen, die damalige Zahl von deutlich über einer Milliarde Menschen ohne ausreichende Versorgung zu halbieren. Angesichts des erheblichen Bevölkerungszuwachses in dieser Zeit wurden hier wirklich Fortschritte gemacht.



Allerdings darf man sich die Wasserversorgung nicht wie in Westeuropa vorstellen: Das globale Leitungswasser ist nur bedingt trinkbar. Es wird in den meisten Ländern dieser Erde mit wesentlich teurerem Flaschenwasser ergänzt – wer sich das nicht leisten kann, muss öfters aufs Klo. Das liegt daran, dass dieses Wasser regelmäßig „end of pipe“ aus der Aufbereitung von erheblich belastetem Flusswasser oder Grundwasser entstanden ist. Unverfälschte Quellqualität wie in Bayern ist global die absolute Ausnahme. Das Anthropozän im Trinkwasser schmeckt nach Chlor.

Auch steigt der Bedarf deutlich überproportional, da ein höherer Lebensstandard immer noch weitgehend mit dem Konsum kurzlebiger Wirtschaftsgüter gleichgesetzt wird. Der daraus entstehende Mehrbedarf an Ressourcen trifft auch das Wasser.

Schließlich: Mehr als 70 Prozent des Wassers werden mehr oder weniger konstant weltweit für die Bewässerung verwendet – das bedeutet durch den Bevölkerungszuwachs auch hier einen stark steigenden Verbrauch, bei einer gleichzeitigen Verlagerung hin zu wasserintensiven Produkten wie tierisches Eiweiß.



mittelbare und mittelbare Folgen: Hygienisch gefährliche Lebensumstände verletzen wahrnehmbar die Menschenwürde von Milliarden Mitbewohnern unseres Planeten. In den großen Slums und Favelas der Welt leben die Menschen unter schlicht unbeschreiblichen Bedingungen, begleitet von Müll, Schlamm und Fäkalien. Das sind Brutstätten für Krankheiten, aber auch für Aufstände und die Destabilisierung ganzer Gesellschaften.

Während die humanen Katastrophen gut erkennbar sind, entsteht aus der Belastung der Ökosysteme parallel eine zusätzliche Gefahr, die sich möglicherweise noch gravierender auf unsere Lebensqualität auswirken wird. Die Mehrzahl der geltenden Grenzwerte – eingehalten oder nicht – sind unter utilitaristischen Gesichtspunkten, manchmal auch nur aus Praktikabilitätsabwägungen festgesetzt.

Reste von gewässerbegleitendem Grün in Dhaka (Bangladesh), 2014. Selbst starke Ökosysteme verlieren ihre Selbstreinigungskraft und werden ruiniert.

Diese wachsende Nachfrage trifft auf ein sinkendes verfügbares Angebot: Leider sind sowohl der Wasser-Ernährung-Nexus als auch die anderen Nexi wie Produktion oder Energie tendenziell positiv rückgekoppelt: Mehr als der reine Verbrauch verschärfen die Emissionen die dilemmatische Konkurrenz zwischen der Lebensgrundlage Wasser und der Entwicklung eines höheren Lebensstandards. Beispiele sind die Gewinnung von Bodenschätzen (Fracking, Quecksilber u. a.) und die industrielle Produktion oder die Landwirtschaft (Nährstoffe und Pestizide, Versalzung).

Globale Phänomene II: Stress bei der Wassergüte

Das leitet zur allgemeinen Wasserqualität über: Noch immer gehen über drei Viertel des Abwassers der Menschheit ungeklärt in die Umwelt. Dreieinhalb Milliarden Menschen haben nicht einmal einen vernünftigen Kanalanschluss! Zusammen mit den Emissionen aus Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie ergeben sich un-



Die große Flut vom Juni 2013 – Zufall oder Klimawandel? Allein in Deutschland kam es zu Schäden über 8 Mrd. Euro. Hunderte von Häusern gingen wie hier an der Donau bei Deggendorf unter. Deutschland reagierte mit einem nationalen Hochwasserprogramm, Bayern verdoppelte die Investitionen in den Hochwasserschutz.

Nur in wenigen Regionen wie etwa Europa versucht man, Grenzwerte auch für die oft noch viel empfindlicheren Biota, also die Grundbausteine der Ökosysteme, abzuleiten. Das ist schwierig, weil wir die Folgen der vom Menschen verursachten Veränderungen für die Stabilität der Ökosysteme bis heute nicht überall sicher abschätzen können. Damit ist derzeit keine seriöse Risikoabschätzung möglich – nach Hans Jonas eine Konstellation, in der höchste Vorsicht geboten ist (vergl. sein Werk „Das Prinzip Verantwortung“ von 1979)!

Als Zwischenfazit lässt sich feststellen: Weltbevölkerung und relativer Konsum steigen stetig und belasten die Wasserressourcen durch ihre Emissionen. Diese „Brunnenvergiftung“ – nichts anderes ist die Zerstörung der Ressource – führt in den dichtest besiedelten Teilen der Erde zu bald kaum noch lösbaren Wassermengenproblemen. Möglicherweise langfristig noch gravierender ist der Einfluss auf das biologische Erdsystem: Sogar die riesigen Weltmeere sind inzwischen mit Müll und gefährlichen Stoffen belastet.

Globale Phänomene III: Risiko- und Wachstums beim Hochwasser

Natürlich folgt der Abfluss eines Hochwassers einer Gauß-Verteilung, und es gab immer schon Extreme. Allerdings wird das Risiko bereits seit langem durch den Menschen gesteigert, etwa durch Versiegelung der Oberflächen und durch Begradigung oder Eindeichung von Flüssen. Aktuell kommen noch die Klimaänderungen durch Treibhausgasemissionen hinzu. Auf das Ausmaß der Schäden hat aber insbesondere die Raumnutzung Einfluss: Je näher Häuser, Gewerbebetriebe und teure Infrastruktur am Gewässer oder an anderen Risikogebieten (z. B. alpine Naturgefahren) liegen, desto gefährlicher werden die Schäden.

Großen Anteil an den Problemen haben eine fehlende oder verfehlte Raumplanung und mangelndes Risikobewusstsein. Manchmal ist es aber auch die pure Not, die besonders arme



Menschen zwingt, eben die Räume zu nutzen, die anderen zu gefährlich waren (symptomatisch sind Slums in Hochwasser- und Erdbebengebieten). Die weltweiten Schadensstatistiken steigen deshalb noch überproportional zum Bevölkerungswachstum: in wohlhabenderen Gegenden in Form von Sachschäden, in den Armutsgemeinden durch Tote und Verletzte.

Globale Phänomene IV: Defizite in der Organisation

Die kritischen Auswirkungen scheinen überwiegend materiell-technischer Art zu sein, sie wirken allerdings auf die Zivilisation insgesamt, d. h. auch auf die psychische und soziale Sphäre des Menschen. Die Lebensgrundlagen und Gemeingüter zu sichern ist eine grundlegende Aufgabe gesellschaftlicher Organisation. Folglich sind technische Mangelsituationen ebenso wie die ökologische Verschlechterung und Defizite bei Adaptionsmaßnahmen letztlich Symptome mangelnder Organisationsleistung. Im Rahmen der Ursachenforschung sollte das staatlich/gesellschaftliche Management oder die „good governance“ einen Schwerpunkt bilden und als Kernstück möglicher Abhilfestrategien verstanden werden. So gesehen bekommt der neoliberale Leitsatz „Der Staat ist nicht die Lösung, sondern das Problem“ eine ganz andere Bedeutung: Es ist die Beschreibung eines global häufigen Zustands, der über die oben beschriebenen Mechanismen ganze Gesellschaften in Gefahr bringt.



In den Ländern, die Wasserprobleme haben, ist die Zuständigkeit für das Wasser üblicherweise zwischen mehreren konkurrierenden Sektoren aufgeteilt, die Verwaltungen sind schwach und im Vergleich zur Wirtschaft stark unterbezahlt, es bestehen Überwachungsdefizite (u. a. sichtbar in der schlechten Datenlage), und es fehlen Gelder für Investitionen in Wasserinfrastruktur. Mangelnde Transparenz und Verantwortungswirrwarr machen es zur Herausforderung, auch nur ein Organigramm der Zuständigkeiten zu zeichnen. Solche Problemlagen reichen weit in Gesellschaft und Kultur hinein: Stabilität und Qualität der Organisationen hängen von qualifiziertem und motiviertem Personal ab, aber auch von der Struktur und Unternehmenskultur. Im Negativen spielt regelmäßig das Ausmaß der materiellen und immateriellen Korruption eine entscheidende Rolle.

Dort, wo der Staat versagt, gilt es, sich mit vertieften Fragen des politischen und technischen Gemeingütermanagements und der staatlichen Organisationen zu befassen. Das Hauptaugenmerk sollte hier auf die Umsetzung gerichtet sein, die der überwiegend ambitionierten Gesetzgebung weltweit mit wenigen Ausnahmen weit nachhinkt (Schaufensterpolitik). Die

globalen Finanzmärkte haben dieses Problem nicht lösen können, ganz im Gegenteil. Es gilt, bei den Abhilfestrategien umzudenken.

Globale Verteilung der Wasserprobleme

Nur dort, wo ein großes Wasserdargebot auf eine geringe Nutzung fällt, wie in Teilen Alaskas oder Sibiriens, kann man von einem – bis auf Klimaeinflüsse – ungestörten Wasserhaushalt sprechen. Doch selbst in diesen Regionen können punktuelle Eingriffe insbesondere aus der Rohstoffförderung Wasserprobleme verursachen. Praktisch alle dicht besiedelten Gebiete stehen dagegen wenigstens unter einem gewissen Stress durch Wassergüteprobleme und Hochwasser. Bemerkenswert ist: Weltweit, selbst in Regionen wie Westeuropa, wo die Umweltgesetzgebung und ihre stringente Umsetzung größere Verunreinigungen aus Industrie und häuslichen Abwässern weitgehend vermeiden, werden durch die Einträge aus Düngung und Pflanzenschutzmitteln regelmäßig die Erträglichkeitsschwellen im Grundwasser überschritten – mit Konsequenzen sogar für Oberflächengewässer und Randmeere. Gleichzeitig liegt der Anteil der Bewässerung an der Wassermengenwirtschaft weltweit bei über 70 Prozent. So wird die Landwirtschaft durch quantitative und qualitative Wassernutzung sowie durch das Erosionsgeschehen zu einem Hauptfaktor der Wasserbewirtschaftung. Diese Spannung wird als „Wasser-Ernährungs-Nexus“ beschrieben, obwohl in Form der Biomassennutzung für Energie längst noch ein weiterer Faktor relevant geworden ist.

Das weitgehend vom Menschen überformte System ist der Normalfall der Wasserbewirtschaftung. Leider geht der globale Regelfall der Bewirtschaftung immer noch von einem Paradigma der weitgehend unendlichen Wasserverfügbarkeit beziehungsweise Unzerstörbarkeit des Ökosystems aus. Typisch dafür ist eine nicht nachhaltige Bewirtschaftung, bei der der Verbrauch durch Nutzung und Verunreinigungen die Neubildung bzw. die Selbstreinigung des Wassers bei weitem übersteigt oder gar Grundwasser wie eine fossile Ressource „abgebaut“ wird. Derartige Fälle lassen sich weltweit belegen.

Einige regionale Belastungsmuster in China, USA und Indien deuten darauf hin, dass kritische Grenzen, so genannte Kippunkte, bereits erreicht wurden. Auch beim Hochwassergeschehen stößt man insbesondere im Zusammenhang mit dem Klimawandel bereichsweise offensichtlich an die Grenzen dessen, was zu bewältigen ist (etwa in New Orleans oder Bangladesch).

Was ist der Maßstab: Humansystem oder Erdsystem?

In der Summe kann man bezweifeln, ob die durchschnittliche Wasserbewirtschaftung mit den heutigen Organisationsmitteln den Herausforderungen gewachsen ist. Und das, obwohl bei der Versorgung der Bevölkerung einschließlich des Schutzes vor Naturgefahren die anzustrebenden Standards weltweit ohnehin bereits gewaltig schwanken. Während in Westeuropa wirklich Trinkwasser aus der Leitung kommt (in Bayern sogar weitgehend unaufbereitet), liefern die Trinkwasserversorgungen vieler Länder nur bedingt trinkbares Wasser. Als Abwassersystem gilt bereits die einfache Drainage oder Wegleitung. Von Abwasserbehandlung ist bei über 80 Prozent der Anlagen keine Rede, von einer dritten und vierten Reinigungsstufe ganz zu schweigen. Damit bestehen schon im Grad und in der Qualität der Siedlungswasserwirtschaft bereits viel größere regionale Unterschiede, als die offiziellen Statistiken suggerieren, weil die Daten nicht genormt erfasst und transparent dargestellt werden. Gleiches gilt für die Hochwasserrisikobewältigung.

Darüber hinaus besteht Anlass zur Sorge, dass jenseits der aktuellen, „utilitären“ Nutzbarkeit bereits das ganze System aus dem Gleichgewicht geraten sein könnte. Wie lange vertragen sich die Veränderungen noch mit der Widerstandsfähigkeit der Systeme? Warnsignale kommen von den Experten für die verschiedenen Ökosysteme – von den Gletschern über die Regenwälder bis zu den Meeren. Dabei gilt: So wie die Stadt nicht aus sich heraus leben kann, sondern die ländliche Umgebung braucht, so braucht der Mensch an sich die Umwelt. End of Pipe-Technologien können zwar Wasser für den menschlichen Gebrauch aufbereiten. Das Ökosystem, von dessen Leistung vermutlich die Stabilität aller Lebensräume abhängt, profitiert von diesen Investitionen aber nicht, ganz im Gegenteil – der Energieverbrauch für die Aufbereitung belastet zusätzlich, wie etwa die Aufsalzung des Arabischen Golfes durch gigantische Meerwasserentsalzungsanlagen zeigt.

Zwischenfazit: Das Humansystem ist ein Subsystem des (ökologischen) Erdsystems. Eine Entkoppelung dieses Teilsystems erscheint weder wünschenswert noch möglich.



Die Bewirtschaftung des Wassers

Warum muss Wasser bewirtschaftet werden? Die Begründung dafür ist an sich einfach: Typischerweise ist Wasser regional und saisonal so ungleich verteilt, dass permanent Bedarf an gemeinsam erstellter und betriebener Wasserinfrastruktur besteht. Und selbst dort, wo Wasser im Überfluss zur Verfügung steht, stellen zumindest der Umgang mit den Hochwässern und der Umweltschutz ein Bewirtschaftungserfordernis dar. Hinzu kommt: Die Wasserbewirtschaftung ist ein gravimetrisches Phänomen. Es müssen permanent Beziehungen zwischen Ober- und Unterliegern von Gewässern bewältigt werden, deren Skala von individuell-nachbarschaftlichen Nutzungen des Grundwassers bis hin zu internationalen Flussgebieten reicht.

Der Umgang mit dem Wasser war deshalb praktisch von Anfang an Teil der Zivilisationsleistung. Immerhin gehören in vielen Kulturen die Wasserregeln und Gesetze zu den ältesten nachgewiesenen gesellschaftlichen Normen (z. B. Kodex Hammurabi, Book of Rites). In der Theorie der Stromgesellschaften ging man sogar soweit, dass aus dem Bedürfnis der Organisation der Wasserwirtschaft ganze Staatsformen entstanden seien (Karl August Wittfogel).

Mit der Herausforderung, im „technischen“ Zeitalter des Anthropozäns ein nachhaltiges Leben



verwechseln, könnten durch solche Modelle inspiriert werden. Gegen solche Lösungen spricht: Spätestens wenn es, wie in einigen Staaten bereits geschehen, zu großem Leid und Toten kommt, werden unsere ethischen Grundregeln verletzt. Laissez-faire-Lösungen treten deshalb in Regionen auf, wo wasserbedingte Krisen bis hin zur Menschenrechtsverletzung durch ein völliges Staatsversagen entstehen. Sie markieren jeweils Krisen des Zivilisationsgedankens generell.

Vorherrschende, aber geordnete

Marktwirtschaft: Nicht nur extreme Vertreter des Neoliberalismus argumentieren, dass nur ein durch Geld und Preise beeinflusster freier Markt die Ressource Wasser angemessen behandeln könne. Wenn man die Wasserrechte frei aushandelt, würde das zum Beispiel automatisch zu größter Effizienz

Bei der Bewässerung durch Sprinkler, wie hier auf einer Farm in Yuma (Arizona), geht viel Wasser durch Verdunstung verloren.

auf der Erde zu erhalten, haben sich aus ethischer Sicht gezielt Hans Jonas in seinem Buch „Das Prinzip Verantwortung“ und Peter Sloterdijk in „Du mußt Dein Leben ändern“ (2009) auseinandergesetzt. Daraus geht eine klare Verantwortung hervor: Die Garantie für den Erhalt der (nachhaltigen) Lebensgrundlagen ist der Politik übertragen (Aristoteles, Hans Jonas). Der Staat wird nach Sloterdijk zum „dritten Immunsystem des Menschen“.

Diskussion des Wassermanagements

So gelangt man zur grundlegenden Frage nach einem funktionierenden Wassermanagement. Die derzeit praktizierten Modelle bewegen sich zwischen drei typischen Gestaltungsformen, die allerdings kaum in „Reinform“ vorkommen:

Laissez faire: Es gibt zwar wohl keinen Staat der Erde, bei dem der Wasserbereich überhaupt nicht geregelt ist, aber es gibt Regionen, in denen die Regelung so schwach ist, dass die Strukturen letztlich sich selbst überlassen scheinen. Trotzdem kommen auch dort die Menschen irgendwie über die Runden. Theoretiker, die die Abwesenheit von Regelungen mit Freiheit

bei der Nutzung führen. Lediglich die Rahmenbedingungen für den Markt seien durch Gesetz vorzuschreiben. Solche Gedanken finden sich in Publikationen der Weltbank, der Privatisierungsbefürworter, aber auch teilweise der EU. Dagegen spricht, dass Geld eben nicht der Maßstab für das Wasser ist und ein hauptsächlich darauf gegründeter Maßstab zu weiteren Fehlern bei der Verteilung führt. Weder die human-sozialen noch die ökologisch-systemischen Belange kann man in Geld umrechnen.

Ordoliberalen Lösungen: Sie umgehen die Probleme der monetären Wertzuordnung durch starke staatliche Festlegung und Durchsetzung. Angesichts der Rückschläge im generellen Gütermanagement fordern Ethiker wie Küng, Radermacher oder Weizsäcker diese klare staatliche Fürsorge für die großen Gemeingüter (Allmende), besonders Wasser, Boden und Luft. Die Abwägung zwischen legitimen Werten kommt aufgrund von Fakten und gesellschaftlich-politischer Verhandlung zustande. Sie werden durch staatliche Institutionen in einem transparenten demokratischen Prozess implementiert. Monetäre Steuerungsmechanismen werden ebenfalls eingesetzt, haben aber keinen Vorrang. Dagegen spricht die offensichtliche Durchsetzungsschwäche in vielen Staaten dieser Erde, die strukturell, korruptionsbedingt oder das Ergebnis von bad governance sein kann.

Frauen und Kinder im indischen Ahmedabad holen Trinkwasser aus einem mobilen Wassertank der Regierung. Dem Land mit mehr als 1,2 Milliarden Einwohnern droht in den nächsten Jahren ein extremer Wassermangel. Politikexperten kritisieren, dass derartige drängende Probleme bei der letzten Parlamentswahl im April/Mai 2014 keine Rolle spielten.

Wie kann man die Regierungsleistung im Wassersektor messen und verbessern?

Regierungssysteme entstehen aus Traditionen, politisch-gesellschaftlichen Überzeugungen und Wertevorstellungen sowie weiteren, heute oft globalen Rahmenbedingungen. Es ist zu vermuten, dass sie sich als Ausdruck einer Verhandlungsethik typischerweise nur schrittweise und homogen weiterentwickeln.

Gesellschaften werden sich durch Theorie nichts vorgeben lassen. „Driving factors“ großer Entwicklungen können (nur?) unmittelbar und mehrheitlich wahrgenommene praktische Notwendigkeiten sein. Die Tätigkeit von Regierungen suggeriert subjektiv für den Einzelnen eher Einschränkungen und Grenzsetzungen und wird nicht ohne weiteres als Voraussetzung für einen besseren Lebensstandard und damit als unmittelbares persönliches Ziel verstanden. Aber vielleicht könnten Indikatoren der Regierungsleistung so ausdrucksreich sein, dass sie – besonders vor dem Hintergrund erkennbarer Defizite – eine breite gesellschaftliche Diskussion und letztlich die Forderung nach einem funktionierenden, die Gemeingüter verwaltenden System hervorrufen würden? Auf dieser Hoffnung basieren alle Transparenz- und Partizipationsansätze zum Beispiel auch innerhalb der EU (EU-WRRL). Gute Beispiele für solche Indikatoren gibt es in der Umweltstrategie und Normengebung der EU.

Allerdings sind die meisten Indikatoren „materieller“ Art, d. h. sie zeigen das Ergebnis der Handlungen in einem Umweltmedium auf. Organisationsparameter, also Frühindikatoren für die Administrationsstruktur und -leistung selbst, sind schwieriger zu gewinnen. Modelle wie Benchmarks und die Kosten-Leistungs-Rechnung können hier angewandt werden, sollten aber für die konkrete Frage der Allmenderverwaltung weiterentwickelt werden. Insbesondere geht es um die Frage, inwieweit bestimmte strukturelle Grundformen und Ressourcenverteilung mit guter Regierungsleistung korrelieren, beispielsweise in der Frage, ob die Wasserwirtschaft überwiegend in einer Organisation beheimatet (Integrationsprinzip) oder besser über mehrere Sektoren verteilt sein sollte (Mehraugenprinzip).

Die an der TU München (Lehrstuhl Prof. Disse) gemeinsam mit der bayerischen Wasserwirtschaft dazu laufenden Forschungsarbeiten basieren auf vergleichenden Untersuchungen mehrerer Administrationsmodelle in Europa und Asien. Ausgangspunkte für die Diskussion liegen in den nachfolgend zusammengefassten Thesen:



Zur Bestandsaufnahme und Einordnung der Herausforderungen:

- Der Umgang mit der Ressource Wasser ist seit historischen Zeiten ein Gradmesser der Regierungsleistung, über Jahrhunderte war dabei die Wassermengenbewirtschaftung ausschlaggebend – ein Muster, das bis heute viele Wasserwirtschaften bestimmt.
- Im Anthropozän werden die Verschmutzung und die Gewässerstrukturveränderung zu einem weiteren Problem. Hinzu kommen geopolitisch wirksame Veränderungen durch die Landnutzung und den Klimawandel.
- Während wir einerseits erheblich in das Ökosystem eingreifen, ist andererseits die Frage nach der Bedeutung der Naturräume für die Stabilität (Resilienz) nicht belastbar geklärt. Damit ist auch nicht geklärt, wo dieses System seine Grenzen findet und wie mögliche Versagensmuster aussehen. Risikoabschätzungen sind schwierig.
- In der Konsequenz scheint aktuell die Bewirtschaftung von Land und Wasser eine Bewährungsprobe für eine nachhaltige Zivilisationsentwicklung zu werden.
- Inzwischen ist auch erkannt, dass bei den großen Gemeingütern wie Wasser, Boden und Luft Fragen im Vordergrund stehen, die nicht allein durch entsprechende technische Lösungen zu beantworten sind.
- Vielmehr handelt es sich um politisch-gesellschaftliche Fragen im Zusammenhang mit Lebensqualität, gesellschaftlichen Normen



beim Umgang mit dem Gemeinwohl und Generationenverantwortung (Nachhaltigkeit). Die Wurzeln des Übels nicht nachhaltiger Entwicklung liegen in erfolgreichem rücksichtslosen Durchsetzen egoistischer, kurzfristiger Interessen durch Mechanismen der gesellschaftlichen Beeinflussung bis hin zur Korruption, vergesellschaftet mit kurzfristigen Planungshorizonten.

- Die Hoffnung, dass sich stabile, selbstregulierende politische Systeme durch weitgehende Privatisierung und Zurückdrängen des Staates entwickeln würden (neoliberaler Ansatz), hat sich bislang nicht erfüllt.

Politische Herausforderungen:

- Das Gemeingut Wasser wird – wie andere sog. Allmende – auch durch Auswirkungen der wirtschaftlichen Globalisierung (z. B. durch globalen Verbrauch, Verschmutzung oder wirtschaftliche Vereinnahmung) weltweit zunehmend knapp. Eine Reaktion muss deshalb auch global abgestimmt erfolgen, durch bessere überstaatliche Zusammenarbeit.
- Diese kann ihrerseits nur entstehen und Erfolg haben, wenn die nationalen Strukturen der Staaten stark genug sind. Eine der Haupteckensteine lautet hierbei: Stärke nach außen kann nur aus innerer Stabilität entstehen.
- Kern dieser nationalen (politischen) Stabilität ist bezüglich der Allmende eine ordnende Rolle des Staates beziehungsweise eine dem Gemeinwohl verpflichtete Autorität (z. B. durch ordoliberalen Strukturen [Hans Jonas, Kardinal Reinhard Marx, Ernst Ulrich von Weizsäcker]) – oder mit anderen Worten: Mit dem Menschenrecht auf Wasser entsteht auch ein Menschenrecht auf eine vernünftige Verwaltung der Ressource Wasser.

Wissenschaftliche Herausforderungen:

- Wir wissen relativ wenig über unsere lebenserhaltenden großen Ökosysteme, insbesondere, was die Systemgrenzen und die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) angeht.
- Während bei der Trinkwasserqualität durch die Standards der Weltgesundheitsorganisation WHO noch eine einigermaßen gleichmäßige Beurteilung möglich ist, sind einheitliche Zielvorstellungen für die natürliche Gewässerqualität praktisch nicht vorhanden. Weder darüber, was ein natürlicher Zustand ist, noch ob ein solcher überhaupt anstrebenswert ist, besteht Einigkeit. Folglich sind global auch noch keine Indikatoren für den physikalisch-chemisch-biologischen Zustand des Wassers vereinbart worden. Wegbereiter für allgemeine Standards könnten die Qualitätsstandards der EU werden.
- Besonders lückenhaft ist das Bild bei der Regierungsleistung. Es gibt zwar das Leitbild eines integrierten Wasserressourcen-Managements (IWRM), aber es fehlen bisher Indikatoren, die eine Regierungsleistung auf dem Wassersektor greifbar machen. Das gilt noch mehr für die Ableitung von allgemeinen Organisationsempfehlungen.

Fazit: Es ist hoch an der Zeit, die Organisation des Wassermanagements Disziplinen übergreifend zwischen Politologie, Soziologie, Naturwissenschaften und Technik besser zu untersuchen. ■

DER AUTOR

Prof. Dr. Martin Grambow leitet die Abteilung Wasserwirtschaft und Bodenschutz im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Er ist u. a. zuständig für das Wasserrecht, die Gewässerüberwachung und -entwicklung, die Wasserversorgung sowie den Hochwasserschutz. Er vertritt Bayern in nationalen sowie internationalen Fachgremien und leitet die Flussgebietsgemeinschaft Donau. Seit 2012 ist er Honorarprofessor an der Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt der TU München.

Literatur

- H. Jonas, Das Prinzip Verantwortung – Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation, Frankfurt a. M. 1979.
- M. Grambow (Hrsg.), Nachhaltige Wasserbewirtschaftung – Konzept und Umsetzung eines vernünftigen Umgangs mit dem Gemeingut Wasser, Wiesbaden 2013.
- W. Mauser, Wie lange reicht die Ressource Wasser? Vom Umgang mit dem blauen Gold, Frankfurt a. M. 2007.
- P. Sloterdijk, Du mußt dein Leben ändern. Über Anthropotechnik, Frankfurt a. M. 2009.
- E. U. von Weizsäcker, K. Hargroves, M. Smith, Faktor Fünf. Die Formel für nachhaltiges Wachstum, München 2010.
- K. A. Wittfogel, Die orientalische Despotie. Eine vergleichende Untersuchung totaler Macht, 1957.

Wasserverbrauch

Virtuelles Wasser – mehr als nur eine Rechengröße

Wie viel Wasser wird bei der Herstellung von Brot, Kleidung oder anderen Lebensmitteln und Konsumgütern verbraucht? Und welche Verantwortung entsteht daraus für jeden Einzelnen?

VON HERMANN H. HAHN

Zum Begriff „virtuelles Wasser“

Es hat sich heute bei uns eingebürgert, das Adjektiv „virtuell“ meist als „möglich, gedacht“ als „Kraft“ oder auch „ohne Wirksamkeit vorhanden“ zu verwenden (zurückzuverfolgen zum Lateinischen *virtus* oder *vir* – Kraft, Tugend, Männlichkeit). Adjektive, die Gegenteiliges andeuten – wie „tatsächlich, reell, physisch, real“ –, machen vielleicht noch deutlicher, mit welchen Untertönen heute der Begriff „virtuell“ verwendet wird: von unwirklicher, scheinbarer, nicht tatsächlicher Form. Vor allem in den Natur- und Ingenieurwissenschaften spricht man, insbesondere bei sog. Modellbildungen und damit errechneten Ergebnissen, von virtuellen Abbildungen und virtuellen Zuständen.

Der britische Wissenschaftler John Anthony Allan führte den Begriff „virtuelles Wasser“, genauer gesagt „virtueller Wasserverbrauch“, Anfang der 1990er Jahre ein. Er soll dem Nutzer bzw. Verbraucher von Nahrungs- und Konsumgütern zeigen, dass mit dieser Nutzung auch ein Wasserverbrauch einhergeht. Dieser ist allerdings nur am Ort der Entstehung des Produktes zu erkennen und damit dem Nutzer nicht ohne weiteres bewusst, also „virtuell“ im zuvor erläuterten Sinne. Allan wurde für seine Arbeiten 2008 mit dem Stockholmer Wasserpreis ausgezeichnet.

Was bedeutet der Verbrauch virtuellen Wassers? Der Wasserverbrauch/-bedarf besteht aus dem so genannten „häuslichen Verbrauch“, der uns täglich vor Augen steht, und dem uns schon wesentlich weniger bewussten „öffentlichen Verbrauch“, der sich z. B. in den städtischen Brunnenanlagen, aber auch in allen anderen kommunalen Einrichtungen zeigt. Und dass bei der Herstellung eines Blattes Papier oder eines Stü-

ckes Brot auch Wasser benötigt wird, wissen wir vielleicht, bedenken dies aber bei Nutzung oder Verzehr kaum. Hier in Deutschland nimmt der Wasserbedarf der verschiedenen Segmente in folgender Reihenfolge zu: häuslicher Verbrauch, öffentlicher Verbrauch, industrieller Verbrauch und schließlich Verbrauch in der Landwirtschaft. Für andere Regionen können sich andere Relationen ergeben.

Werk der Künstlerin Brigitte Nowatzke-Kraft in der Ausstellung „Wasser und Brot“ der Stadtwerke Karlsruhe, 2014.





ABB.: D. MAIER UND HERMANN JOSEF ROTH, AUSSTELLUNG „WASSER UND BROT“, STADTWERKE KARLSRUHE

Stellt man das Wasser, das verbraucht wird, dem Angebot einer Region (Grundwasser, Oberflächenwasser, Niederschlagswasser etc.) gegenüber, so ist es notwendig, auch den natürlichen Wasserbedarf zu bedenken (z. B. die natürliche Verdunstung). Der Lebensmittelverfahrenstech-

niker Helmar Schubert weist darauf hin, dass neben dem industriellen und dem landwirtschaftlichen Wasserverbrauch, also dem von Allan als „virtuell“ bezeichneten Verbrauch, in einer Gesamtbilanz auch die so genannte „grüne Komponente“, also das biologisch (z. B. in Pflanzen) gebundene Wasser ebenso wie die geologisch (z. B. als kapillares Wasser) gehaltene Wassermenge zu berücksichtigen sind. Allerdings sind sie für unsere Argumente des virtuellen Wassers im engeren Sinn nur dann von Bedeutung, wenn z. B. keine landwirtschaftliche Bewässerung für die Produktion spezifischer Güter, die andernorts bewässert werden müssen, erforderlich ist.

Zahlenmäßige Angaben zum industriellen und landwirtschaftlichen Wasserverbrauch, z. B. bezogen auf eine Einheit eines produzierten Konsumgutes (etwa eine Gewichtseinheit Papier oder ein definiertes Textilprodukt), schwanken sehr stark. Dies hängt zum einen damit zusammen, dass sie aus unterschiedlichen Quellen und zu verschiedenen Zeitpunkten erfasst worden sind. Zum anderen hängt es aber auch von der Art der Gesamtbilanzierung ab, also von den Produktionsgegebenheiten und der Abgrenzung von anderen Produktionsbereichen. Die Vereinigung Deutscher Gewässerschutz (VDG) hat sich schon sehr früh mit der kritischen

Tab. 1: Wasserverbrauch in der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion.

Wasserverbrauch	
Produkt	Wasserverbrauch bei der Herstellung
1 kg Recyclingpapier (ca. 200 Blatt)	2,5 l
1 kg Hochglanzpapier (ca. 200 Blatt)	8 l
1 kg Stahl	100 l
1 T-Shirt	8.000 l bis 23.000 l
1 kg Kunststoff	800 l
1 Paar (Damen-)Schuhe	125 l
1 kg Rindfleisch	250 l bis 5.700 l
1 kg Zucker	1.500 l bis 3.000 l
1 kg Süßgetränk	50 l
1 kg Orangensaft	179 l bis 591 l
1 kg Tomaten	30 l
1 kg Brathähnchen	3.500 l
1 kg Reis	1.900 l

QUELLE: SINNGEMÄSS ZITIERT NACH VEREINIGUNG DEUTSCHER GEWÄSSERSCHUTZ (WWW.VDG-ONLINE.DE)

Sammlung und Analyse, vor allem aber auch mit der öffentlichkeitswirksamen Darstellung dieser Zahlenwerke befasst. Tabelle 1 führt einige der erfassten Zahlen auf, um die Größenordnung, aber auch die Schwankungsbreite zu zeigen.

Die Frage, ob der sog. virtuelle Wasserverbrauch in Industrie und Landwirtschaft fernab von unserem Wohnort wirklich so erfolgt, wie wir dies täglich bei der häuslichen Wassernutzung erfahren, wird intensiv erörtert. Die Frage ist vor allem bei einer Gesamtbilanzierung des Wasserverbrauchs in einer Region von großer Bedeutung. Entscheidend ist, dass bei spezifischen Produkten Wasser in bestimmten Anteilen im Produkt selbst eingeschlossen ist (z. B. bei Bier). Im überwiegenden Maße wird aber die Masse des an einem Produktionsprozess beteiligten Wassers nicht verbraucht im Sinne von „verschwinden“. Vielmehr ist dieses Wasser für viele Nutzungen nicht mehr verfügbar, weil es durch negative Veränderungen seiner Eigenschaften nicht mehr „gebraucht“ werden kann. Wenn man heute neue Produktionsprozesse konzipiert, versucht man daher, den Wasserkreislauf sozusagen zu „schließen“. Dabei wird das in der Produktion verwandte Wasser intern wieder so aufbereitet, dass es für den gleichen Produktionsprozess erneut verwendet werden kann. Dieses Konzept nennt man „integrierter Umweltschutz“.

Regionale und transregionale Folgen des virtuellen Wasserverbrauchs

Vor dem Hintergrund dieser Erklärungen zu den verschiedenen Verbrauchskomponenten interessiert uns Verbraucher – oder sollte uns zumindest interessieren –, welcher Art unsere Verantwortung oder sogar Mitwirkung beim Wasserverbrauch sein kann oder sein sollte. Drei Beispiele sollen dies illustrieren:

Tab. 2: Gegenüberstellung zweier unterschiedlicher Verhaltens- und Verbrauchskategorien von Wasser aufgrund unterschiedlicher Konsumgewohnheiten.

Verbrauchskategorien			
„rein“ vegetarisch		20 % des Kalorienbedarfs aus Fleisch gedeckt	
Nahrung (min)	230 m ³ /c.a.	Nahrung (min)	640 m ³ /c.a.
(landw.) Verluste	92 m ³ /c.a.	(landw.) Verluste	420 m ³ /c.a.
industr. Prod.	180 m ³ /c.a.	industr. Prod.	180 m ³ /c.a.
Haushaltsbedarf	50 m ³ /c.a.	Haushaltsbedarf	50 m ³ /c.a.
allg. Verluste	250 m ³ /c.a.	allg. Verluste	250 m ³ /c.a.
insgesamt ca.	800 m ³ /c.a.	insgesamt ca.	1.550 m ³ /c.a.

Alle Angaben pro Kopf (c.) und Jahr (a.)

Schon im Ausgang des 20. Jahrhunderts wurde in Nordkalifornien argumentiert, dass es möglicherweise sinnvoller sein kann, das natürliche Wasserangebot eher für das computerproduzierende Gewerbe einzusetzen als für die landwirtschaftliche Bewässerung. Damit wäre der monetär bewertete Gewinn pro eingesetzter Wassereinheit viel höher.

Als zweites Beispiel mag die in einer Kinderuniversitätsvorlesung von den jungen Hörern mit großer Begeisterung beantwortete Frage „Wie viel Wasser brauchen wir für unser Frühstück?“ dienen. Die erste und augenscheinliche Antwort beinhaltete den im Haushalt beobachteten Verbrauch, einerseits zum Trinken, aber darüber hinaus auch zum Abspülen des verwendeten Geschirrs. Eine Frage nach dem, was über das Getränk hinaus noch beim Frühstück verzehrt wird, etwa Säfte, Molkereiprodukte oder Backwaren, lässt schnell erkennen, dass, wie VDG-Zahlen andeuten, mit jedem verzehrten Produkt auch das zur Herstellung benötigte Wasser verbraucht wird (z. B. für ein Glas Orangensaft etwa 50 bis 130 Liter Wasser). Sehr engagiert errechneten die jungen Hörer einen Wasserverbrauch von etwa 450 bis 500 Litern, je nach Zusammensetzung der Mahlzeit und Herkunft der Produkte: zum Trinken von Wasser ca. 1/4 l (wenn ein Schokogetränk gewünscht wird, so mag das bei 10 g Kakao zu 100 l führen), zum Abspülen allen Geschirrs durch die jungen Haushälter etwa 5 l pro Gedeck, für 50–100 g Brot etwa 65–130 l, für den heute üblichen 1/4 l Orangensaft etwa 125 l, für geschätzte 100 Gramm Molkereiprodukte (Butter, Milch) 100 l und für die nicht von allen kleinen Hörern genannten Fleischprodukte, etwa 20 g Schinken oder Wurst, 100 l Wasser. Hier zeichnet sich ab, dass es sehr wohl in der Entscheidung jedes Einzelnen liegen kann, wie hoch sein persönlicher Wasserverbrauch ist.

Ein drittes Beispiel greift die Problematik des Verbrauchs von Konsumgütern aus landeseigener Produktion oder Importquellen unterschiedlichster Art auf. Wie viel Wasser verbrauchen wir, wenn wir leben wie unsere Vorfahren, mit wenig Verbrauch oder Verschleiß und sparsamem Umgang mit Nahrungsmitteln – oder im Gegensatz dazu mit einer „Ich habe Anspruch auf alles“-Mentalität? In Tabelle 2 sind die Verbrauchswerte für zwei unterschiedliche Verhaltensmuster dargestellt.

Bilanzieren wir mit solchen Zahlen unsere Wassersituation in Deutschland, so erkennen wir, dass etwa 160 Mrd. m³ Wasser insgesamt für unsere 80 Mio. Einwohner pro Jahr zur Verfügung gestellt werden müssen oder – wie eine modernere Formulierung lauten würde – reell und virtuell verbraucht werden. Vergleichen wir das mit der Menge von Grund- und Oberflächenwasser, die jährlich in Deutschland entnommen wird, also etwa 60 Mrd. m³, so erkennen wir, dass wir mehr (und dann in diesem Fall virtuell genannt) verbrauchen, als bei uns gefördert wird. Dass Deutschland in einem sehr weitgehenden Sinn über seine Verhältnisse lebt, wird auch aus einer anderen Zahl deutlich, nämlich dem so genannten „ökologischen Fußabdruck“, also aus der Fläche Land, die wir benötigen, um all unsere Bedürfnisse zu befriedigen. Dieser Fußabdruck beträgt bei uns 4,6 ha pro Einwohner und im Mittelwert auf der ganzen Welt etwa 2 ha pro Einwohner, wie die Studie „Zukunftsfähiges Deutschland II“ vorrechnet.

Man erkennt unschwer, dass jeder einzelne Konsument mit darüber entscheidet, wie hoch sein Wasserverbrauch ist und vor allem auch, aus welchen Quellen, besser vielleicht auch, aus welchen Regionen das verbrauchte Wasser kommt. Die Verhaltensweise jedes Einzelnen ist eine Sache. Eine andere sind die Fragen und Herausforderungen, vor denen Entscheidungsträger, Planer und Betreiber von Wasserinfrastruktureinrichtungen stehen.

Wieweit ist ein steuernder Eingriff in virtuelle Wasserströme möglich und sinnvoll?

Abschließend soll kurz, aber umso nachdrücklicher darauf hingewiesen werden, dass jedes meist auch gutgemeinte Konzept, bestimmte virtuelle Wasserströme, vor allem aus wasserprekären Regionen, zu verändern, auch weitere Folgen in gesamtwirtschaftlicher und sozioökonomischer Art, für diese Regionen hat (Produktionsverlagerungen, Veränderungen in der Hierarchie der Wasserverbraucher, u. U. überschüssige Kapazitäten oder Kapazitätsfehlmen). Insbesondere wenn man die Kapazitäten nach unten anpassen muss, führt das nicht nur dazu, dass Einrichtungen zur Wasserbereitstellung und zum Abtransport genutzten Wassers nicht mehr benötigt werden, sondern dass der Betrieb eines gesamten Systems erschwert wird. Zusätzlich erhöhen sich in aller Regel noch die finanziellen Belastungen für die weiterhin aktiven Nutzer der verbliebenen Einrichtungen. Dies kann in vielen Fällen bedeuten, dass

schwerwiegende und langfristige politische Entscheidungen notwendig werden.

Auf T-Shirts aus dem sprichwörtlich wasserverschwendenden Südostasien zu verzichten, mag „nobel“ sein. Für die produzierende Region selbst könnte dies aber zunächst zu einem dramatischen Einbruch im Bruttosozialprodukt führen, der meist nicht durch kurzfristige Maßnahmen aufgefangen werden kann. Wie sollten in einer arbeitsteiligen, globalisierten Welt die Aufgaben verteilt sein, also die Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse ebenso wie die hochtechnologischer Konsumgüter einzelnen Regionen zugewiesen sein oder erlaubt respektive nicht empfohlen? Und wer sollte diese Entscheidungen fällen? Hier zeigt sich in einer neuen und bisher kaum geführten Diskussion um das virtuelle Wasser eine im weitesten Sinne politische Herausforderung für die Zukunft. Wie sind die Eigenheiten des Klimas und der Geographie, vor allem des Wasserdargebots in jeder Region einerseits und die regionale Bevölkerungsdynamik andererseits, in Überlegungen zur Steuerung virtueller Wasserströme einzu beziehen? Darf hier aufgrund einer Gesamtanalyse von verfügbaren Ressourcen nicht nur natürlicher Art, sondern auch von Bildungs- und Produktionsträger-Ressourcen möglicherweise geregelt werden, wer was in einer vernetzten Wirtschaft – vor allem mit welchem Gewinn – produziert? Dies sind Fragen, die in jedem Fall über die Kompetenz eines Wassermanagers hinausgehen, die aber andererseits auch nicht „marktregulierenden Mechanismen“ überlassen werden sollten oder nur durch direkt eingreifende politische Entscheidungen geregelt werden können. ■

DER AUTOR

Prof. Dr. Hermann H. Hahn ist em. Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der Universität Karlsruhe (heute Karlsruher Institut für Technologie). Seine Tätigkeitsfelder sind Forschung und Lehre im aquatischen Umweltschutz, Technologietransfer sowie die Beratung von Wirtschaft, Verwaltung und Politik. Von 1996 bis 2006 war er Präsident der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) und von 1998 bis 2001 Vizepräsident der International Water Association (IWA). Er ist Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und war von 2009 bis 2013 deren Präsident.

Literatur

H. Schubert, Die Konzepte des virtuellen Wassers und des Wasser-Fußabdrucks, acatech Materialien Nr. 4, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, München 2011.


H. H. Hahn, Einengungen im Wasserverbrauch, in der Wasserqualität, Jahrbuch der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, Heidelberg 2006, S. 105–107.

H. H. Hahn, 150 Liter Wasser zum Frühstück? Vorlesung an der Kinderuniversität der damaligen Universität Karlsruhe (heute KIT), 2005.

Wassertechnische Großprojekte

Fluch und Segen neuer
Technologien
zur Wassernutzung





28. Juli 2010: Nach anhaltenden Regenfällen in China bedroht eine Flutwelle des Flusses Jangtse die Mauern der riesigen Drei-Schluchten-Talsperre. Der Damm erreicht fast seine Kapazitätsgrenze, Zehntausende Menschen entlang des Flusses werden evakuiert. An der Drei-Schluchten-Staumauer mit dem größten Wasserkraftwerk der Welt wird seit 2008 Elektrizität produziert. Die Mauer ist 185 Meter hoch, das Reservoir hat eine Länge von rund 600 Kilometern. Die Effizienz des Bauwerks ist bis heute umstritten, der Transport des erzeugten Stroms in andere Regionen führt zu hohen Verlusten. Für die Errichtung der Anlage wurden nach offiziellen Angaben 1,4 Millionen Menschen umgesiedelt.

Von ökologischen Herausforderungen und gesellschaftlichen Chancen

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gesellschaft – Wasser – Technik“ an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften untersucht am Beispiel von zwei Regionen die Rahmenbedingungen großer Projekte zum Wassermanagement.

VON REINHARD F. HÜTTL, CHRISTINE BISMUTH, SEBASTIAN HOECHSTETTER
UND OLIVER BENS

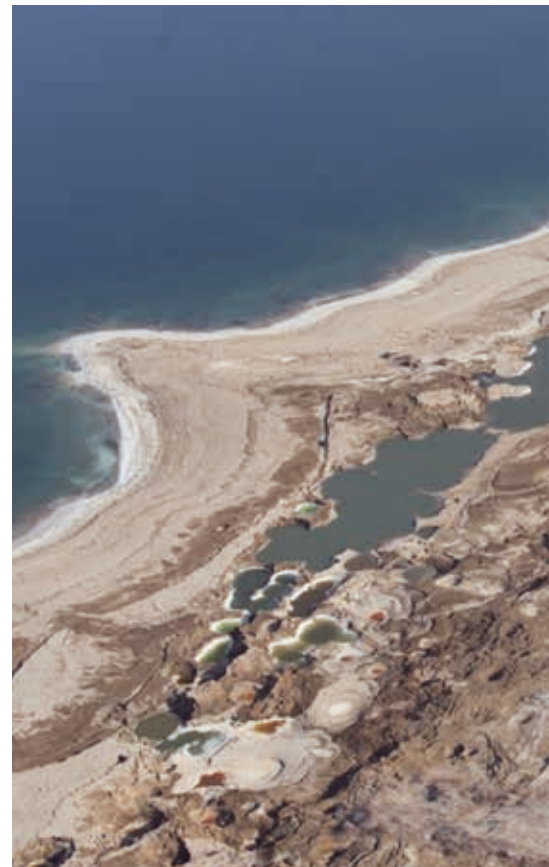
WASSERTECHNISCHE Großprojekte, wie z. B. Staudämme, Wasserkraftwerke, großflächige Bewässerungsanlagen oder die Schiffbarmachung von Flüssen, haben nicht nur in der Vergangenheit Gesellschaften und Ökosysteme in unterschiedlicher Weise geprägt, sondern sie gelten auch in heutiger Zeit in vielen Regionen der Welt als geeigneter Weg, um unseren Bedarf an Energie und Wasser zu decken. Diese Projekte haben aber auch große Veränderungen im Naturhaushalt und in sozio-ökonomischen Systemen hervorgerufen.

Angesichts der globalen Herausforderungen durch die wachsende Bevölkerung, veränderte Konsumgewohnheiten und den Klimawandel stellt sich nicht nur für politische Entscheidungsträger, sondern auch für die beratende Institution Wissenschaft die Frage, mit welchen Mitteln sich die künftige Nutzung der Georessource Wasser am nachhaltigsten, aber auch am effizientesten gestalten lässt und welche Konsequenzen sich aus weiteren großtechnischen Eingriffen ergeben. Reduzieren die langfristigen Wirkungen solcher Vorhaben unseren künftigen Handlungs- und Entscheidungsspielraum? Haben sich bestimmte Regionen und Staaten womöglich dadurch bereits in eine „Sackgasse“ ohne Möglichkeiten zur Richtungsänderung begeben?

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gesellschaft – Wasser – Technik“ an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (BBAW) untersucht diese Fragestellungen anhand zweier Fallstudien: dem Unteren Jordaneinzugsgebiet im Nahen Osten und dem Ferganatal in Zentralasien. Beide Regionen gelten als geopolitische

„Hot Spots“ nicht nur in Bezug auf wasserwirtschaftliche Fragestellungen, sondern auch die gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen betreffend.

Noch vor 25 Jahren stand die Befürchtung im Raum, dass ein Konflikt um Wasser zu einem Krieg zwischen Israel und seinen arabischen Nachbarstaaten führen könnte. Heute ist diese Annahme sehr unwahrscheinlich. Für das Ferganatal kann man eine ähnlich optimisti-



sche Aussage allerdings nicht mit der gleichen Sicherheit treffen. Anhand solch unterschiedlicher Gemengelagen lässt sich die Bandbreite des Wirkungsspektrums von Großprojekten im Wassersektor dokumentieren: Stellen sie in bestimmten Regionen ein Hemmnis für nachhaltige Entwicklung und erfolgreiche Transformation dar, bieten sie andernorts ökonomische Chancen und können den Handlungsspielraum der gesellschaftlichen Akteure erweitern. Diese unterschiedlichen Aspekte sollen im Folgenden kurz erläutert werden.

Retten Meerwasserentsalzungsanlagen das Tote Meer?

Das Tote Meer wird hauptsächlich aus dem Zufluss des Jordans gespeist. Die Wassermengen dieses Stroms sind in den letzten rund 70 Jahren um mindestens 85 Prozent zurückgegangen. Weil am Toten Meer Wasser für Bewässerungszwecke, aber auch für die Mineraliengewinnung entnommen wird, sinkt der Wasserspiegel jährlich um ca. einen Meter. Dadurch fließt Grundwasser nach und reichert sich mit Salzen an. Durch die Salzauswaschung aus dem Boden wiederum wird die strukturelle Stabilität der Küstenlinie bedroht, und es kommt großflächig zur Bildung von Senkungstrichtern (Abb. 1).

ABB.: A. KÜNZELMANN, UFZ



Israel hat als Konsequenz aus den letzten Dürreperioden eine radikale Wende in seiner Wasserpolitik vollzogen. Die Wasserwirtschaftsverwaltung wurde umstrukturiert, und kostendeckende Wasserpreise wurden eingeführt. Die Maßnahmen wurden von einer Aufklärungskampagne zum sparsamen Umgang mit Wasser begleitet. Um sich von den natürlichen Wasserzuflüssen unabhängiger zu machen, wurden die Meerwasserentsalzungskapazitäten massiv ausgebaut und die Verwendung von gereinigtem Abwasser für die Bewässerung forciert.

Jordanien war mit der Umstrukturierung seiner Wasserwirtschaft bislang weniger erfolgreich. Die Landwirtschaft als größter Verbraucher zahlt immer noch einen geringen Preis für das Wasser, der nicht einmal die Kosten für die Bereitstellung deckt. Die niedrigen Wasserpreise haben zu einem ineffizienten Umgang mit Wasser, insbesondere zu hohen Wasserverlusten in teilweise defekten Leitungssystemen und zu hohem Verbrauch in der Landwirtschaft geführt. Fortschritte wurden auch durch Kompetenzstreitigkeiten zwischen den unterschiedlichen Wasserbehörden behindert. Die schwachen wasserwirtschaftlichen Institutionen haben den mächtigen Interessengruppen – vor allem den Grundbesitzern –, die an einer Beibehaltung des Status quo interessiert sind, wenig entgegenzusetzen. Eine nachhaltige strukturelle Reform des Wassersektors wäre Teil eines umfassenden politischen Reformprozesses. Dieser lässt sich jedoch nur sehr langsam umsetzen, da die traditionellen Strukturen auf der Aushandlung von Kompromissen basieren. Deshalb wird in Jordanien technischen Lösungen häufig Vorrang vor institutionellen Lösungsansätzen bzw. Regelungen gegeben, weil sie kurzfristig eher umsetzbar scheinen. Die hohen Folgekosten und die Auswirkungen auf die Umwelt werden dabei vielfach nicht hinreichend berücksichtigt.

Die palästinensischen Autonomiegebiete als dritter Anrainerstaat des Jordans haben aufgrund der israelischen Besatzungspolitik kaum Gestaltungsmöglichkeiten für ein

Abb. 1: Totes Meer: Erosion der Küstenlinie und Entstehung von Absenkungstrichtern.

umfassendes Wassermanagement. Die eigenen wasserwirtschaftlichen Institutionen sind fragmentiert, und der Zugang zu den Wasserressourcen ist beschränkt. Während Israel und Jordanien in wasserwirtschaftlichen Fragen durchaus „auf Augenhöhe“ miteinander kooperieren, ist die Beziehung zwischen Israel und Palästina durch eine Machtasymmetrie und durch die Instrumentalisierung von Wasser als politisches Druckmittel geprägt. Deutlich wurde diese Konstellation z. B. bei den Verhandlungen zum Bau einer Meerwasserentsalzungsanlage am Roten Meer. In Verbindung mit einer Überleitung der Salzlake in das Tote Meer sollte das weitere Absinken des dortigen Wasserspiegels eingedämmt werden. Bei den Palästinensern stand die Durchsetzung nationaler Motive zur Unterstützung der Bildung eines palästinensischen Staates an erster Stelle, während sich Israel und Jordanien relativ zügig auf den Bau einer Meerwasserentsalzungsanlage in Aqaba und einen „Wassertausch“ einigen konnten. Die Analyse des gesamten Verhandlungsprozesses lässt vermuten, dass dabei die Revitalisierung des Toten Meeres eher eine untergeordnete Rolle spielte, wichtiger waren vielmehr die Sicherstellung der Trinkwasserversorgung für Amman und die Stabilisierung der politischen Lage in Jordanien.

Der Überleitungskanal zum Toten Meer soll nun in Teilschritten gebaut werden, um auf eventuelle negative Auswirkungen passend reagieren zu können. Allerdings ist die Finanzierung dieses Teils des Projekts noch mehr als ungewiss. Es lässt sich jedoch bereits feststellen, dass Israel durch den Bau der Meerwasserentsalzungsanlage und den Ausbau der Abwasserbehandlungskapazitäten seine Entscheidungsspielräume erweitern konnte. Es könnte sogar zur teilweisen Renaturierung des Jordanunterlaufes kommen. Wichtige Schritte zum Erhalt des Toten Meeres, wie z. B. die finanzielle Beteiligung der industriellen Profiteure der Mineral-/Salzgewinnung an notwendigen Meliorationsmaßnahmen oder eine umfassende Reform des Wassersektors in Jordanien, wurden bislang jedoch nicht angegangen. Daher kommen in weiten Teilen des Einzugsgebietes des Jordans das „Verursacherprinzip“ und das „Vermeidungsprinzip“ beim Umgang mit Kosten und Gewinnen aus der Wassernutzung noch nicht vollständig zur Anwendung.

Was hat das Ferganatal mit dem Aralsee zu tun?

Der Aralsee teilt mit dem Toten Meer das Schicksal eines „langsamen Todes“. Hier wie dort ist der große Wasserbedarf der Landwirtschaft die Hauptursache für den stetigen und wahrscheinlich unwiederbringlichen Rückgang eines Binnensees. Der Aralsee wird hauptsächlich aus den Gewässern gespeist, die den zentralasiatischen Hochgebirgen entspringen. Einer dieser großen Zuflüsse ist der Syrdarja, der durch den Zusammenfluss von Naryn und Karadarja, zweier aus Kirgisistan kommender Quellflüsse, entsteht und das Ferganatal durchquert (Abb. 2).

Die Bewässerungskultur im Ferganatal zählt zu einer der ältesten der Menschheit. Die ursprüngliche Oasenbewirtschaftung mit einfachen Mitteln wurde in sowjetischer Zeit grundlegend durch große Bewässerungskanäle und den Bau von Staureservoirs überprägt, die sich heute in Kirgisistan und Tadschikistan befinden. Bewässerung und Bewirtschaftungsmethoden orientieren sich stark an den Anforderungen des Baumwollanbaus.

Zu sowjetischer Zeit spielte der Interessenausgleich zwischen Ober- und Unterliegern des Flusses mit ihren jeweiligen Ansprüchen keine Rolle, da die Bewirtschaftung zentral in Moskau geregelt wurde und diese Vorgaben einzuhalten



Abb. 2: Nutzung der Ressource Wasser zur Stromerzeugung: der Naryn bei Uchkurghon.

waren. Viele der negativen Folgen eines solch großflächigen Bewässerungs- und Bewirtschaftungssystems für Mensch und Umwelt blieben dabei unberücksichtigt. Mit der Unabhängigkeit der zentralasiatischen Staaten brach dieses Regels- und Steuerungssystem zusammen. Eine organisatorische und raumplanerische Restrukturierung der Landwirtschaft scheiterte in der Folge an der überdimensionierten technischen Infrastruktur und an der einseitigen Ausrichtung der Landwirtschaft auf staatlich geforderte Anbauprodukte wie Baumwolle und Weizen.

Ein Versuch, das Wassermanagement auf unterer Ebene mit regionalen Institutionen neu zu organisieren, war die Einrichtung so genannter „Wassernutzervereinigungen“ (Water Users Associations, WUAs). Diese Einheiten dienen jedoch weniger der Förderung der unternehmerischen Eigeninitiative der Landwirte, sondern vielmehr der effektiveren Umsetzung staatlicher Vorgaben. Anreize zum Wassersparen und zum Einsatz effizienter Technologien fehlen. Gleichzeitig bindet der Unterhalt der Tausenden von Kilometern an Bewässerungs- und Entwässerungskanälen enorme finanzielle und personelle Ressourcen. Dies überfordert die Möglichkeiten sowohl des Staates als auch der WUAs.

Unterdessen scheiterten bislang alle Ansätze zur Etablierung einer flussgebietsbezogenen

Bewirtschaftung am mangelnden Willen zur Zusammenarbeit zwischen Ober- und Unterliegerstaaten der großen Flüsse. Die gegenläufigen Ansprüche an die Ressource Wasser zur Stromerzeugung am Oberlauf einerseits und zur Nutzung für Bewässerungszwecke am Unterlauf andererseits führten in der Vergangenheit häufig zu Konflikten. Solange konkurrierende Partikularinteressen in den jeweiligen Staaten anstelle von gemeinsamen Belangen maßgeblich für die Ausrichtung der Wasser- und Landwirtschaftspolitik sind, werden einvernehmliche Lösungen schwer zu finden sein. Vor allem in Usbekistan behindern die Staatswirtschaft und die zentralistischen Anbauvorgaben die Eigeninitiative und die Förderung der Bauern als selbstständige Unternehmer. In einem noch stärkeren Ausmaß als in Jordanien verhindert dort ein nepotistisches Regime die Einführung einer effizienten und partizipativen Bewässerungswirtschaft.

Als eine Folge davon verschwindet der Aralsee zusehends von der Landkarte – seine Erhaltung bzw. Wiederherstellung erscheint kaum mehr möglich. Es geht dort im Wesentlichen um „Schadensbegrenzung“, also um die Eindämmung der Folgen der Verwüstung und Versalzung weiter Landstriche an den Unterläufen von Syrdarja und Amudarja sowie im Delta des Aralsees.

Das Beispiel des Ferganatalts belegt, wie wenig die gesellschaftliche Dimension bei der Umsetzung großer wassertechnischer Projekte Berücksichtigung fand und in zahlreichen vergleichbaren Regionen der Welt weiterhin findet. Mit technischen Maßnahmen allein lassen sich aktuelle und zukünftige Herausforderungen nicht bewältigen. Im Gegenteil: Es besteht das Risiko, dass sie den Handlungsspielraum nachfolgender Generationen einschränken. In Erwartung kurzfristiger Erfolge werden die langfristigen Auswirkungen, vor allem die ökonomischen und ökologischen Folgekosten, nicht adäquat mit einbezogen. Als „interdisziplinäres“ Vorhaben im besten Sinne wird im Rahmen des hier beschriebenen Projekts an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften (www.bbaw.de/forschung/gwt) der Versuch unternommen, Erkenntnisse aus den Sozial- und Gesellschaftswissenschaften mit dem ingenieur- und naturwissenschaftlichen „state of the art“ zu verbinden. So werden Prozesse und institutionelle Rahmenbedingungen identifiziert, die für eine funktionale Kontinuität und den nachhaltigen Betrieb von wassertechnischen Großprojekten maßgeblich sind und die eine wissensbasierte Entscheidungsfindung im Kontext wassertechnischer Großprojekte besser als in der Vergangenheit ermöglichen. ■

DIE AUTOREN

Prof. Dr. Reinhard F. Hüttl ist **Wissenschaftlicher Vorstand und Vorstandsvorsitzender des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ) und Sprecher der Interdisziplinären Arbeitsgruppe (IAG) „Gesellschaft – Wasser – Technik“ an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Christine Bismuth** ist **Wissenschaftliche Koordinatorin der Arbeitsgruppe. Dr. Sebastian Hoechstetter** ist **Wissenschaftlicher Mitarbeiter am GFZ. Dr. Oliver Bens** leitet den **Wissenschaftlichen Vorstandsbereich des Deutschen GeoForschungsZentrums und ist Mitglied der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.**



Die Kraft des Wassers: Segen oder Fluch?

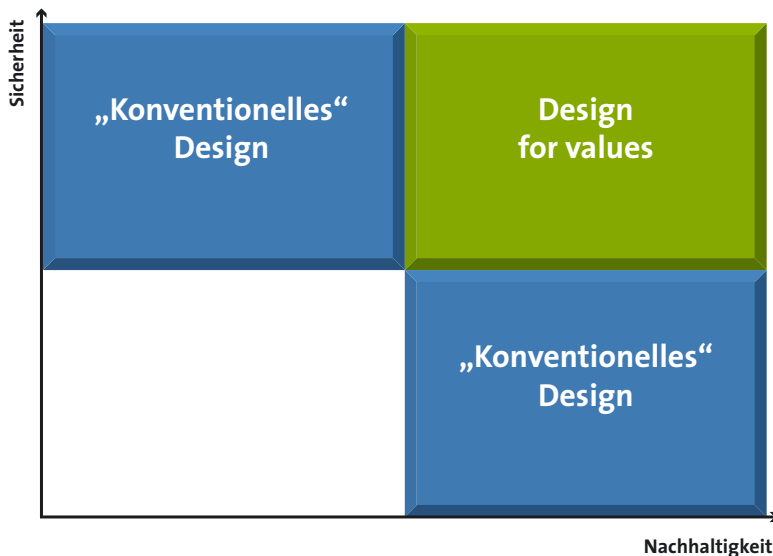
Wie gelingt uns eine ethisch vertretbare
Energieversorgung?

VON RAFAELA HILLERBRAND

WASSER IST UNBESTREITBAR das zentrale Element für Leben und Überleben auf unserem blauen Planeten, der zu 70 Prozent von Wasser bedeckt ist. Im Gegensatz zum naturwissenschaftlichen Bestreben, Wasser in allen seinen Facetten zu verstehen, geht es der Technik um dessen Nutzung: den Gebrauch von Wasser zu verschiedensten Zwecken, von der Gewinnung von Speisesalz aus Meerwasser bis hin zur Stromerzeugung aus Süß- und Salzwasser. Technik lässt sich als „Kunst des Möglichen“ (Christoph Hubig) begreifen: Menschliche Handlungsmöglichkeiten werden durch den Einsatz von Technik erweitert.

Den Energietechniken im Allgemeinen sowie den Stromerzeugungstechniken im Besonderen kommt hierbei zentrale Bedeutung zu: Ob für den Rechner zuhause, die industrielle Produktion, die Klimaanlage oder die Intensivstation im Krankenhaus – Strom lässt sich immer und überall flexibel einsetzen. Allerdings werden

Abb. 1: Welche Werte zählen?
Das Design-for-values-Konzept bezieht ganz unterschiedliche Aspekte ein.



durch die Öffnung neuer Handlungsspielräume oftmals andere geschlossen: Weil wir fossile Ressourcen für die Energiegewinnung verbrauchen, erschöpfen wir gerade endliche Vorräte. Unser Handlungsspielraum und der nachfolgender Generationen wird dadurch empfindlich eingeschränkt. Darüber hinaus trägt die Nutzung fossiler Energieträger zur Klimaveränderung bei. Die Ausdehnung von Wüstenregionen lässt das Schwinden der Artenvielfalt befürchten. Je weniger Diversität unsere Lebenswelt bietet, desto geringer sind unsere Handlungsoptionen und die unserer Kinder und Kindeskiner.

Widerstand gegen Wasser

Regenerative Formen der Energieumwandlung wie Wind-, Solar- und Wasserenergie scheinen einen Ausweg aus diesem Dilemma zu bieten. Im Prinzip sind sie erneuerbar und damit unerschöpflich, sie vermindern nicht den Bestand endlicher Ressourcen und erhalten damit Handlungsoptionen für künftige Generationen. Auch emittieren sie kein Kohlenstoffdioxid bei der Umwandlung und tragen daher nicht zu einer Klimaänderung bei.





Abb. 2: Oosterschelde-Sturmflutwehr, Oosterscheldeseite.

Im Gegensatz zu Sonne und Wind liefert Wasser in Laufwasserkraftwerken kontinuierlich Strom, kann also für die wichtige Grundlastversorgung eingesetzt werden. Durch Pumpspeicherkraftwerke kann Wasser für die Stromerzeugung auch gespeichert werden. Wenn man für den Energietransport die verlustarme Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) nutzt, verlieren zudem die unter Umständen großen Entfernungen der Wasserkraftpotentiale von den Verbrauchern an Bedeutung. Allein in Deutschland könnte nach Einschätzung von Experten der Anteil der Wasserkraft um 50 Prozent steigen, wenn ältere und kleine Wasserkraftwerke wieder in Betrieb genommen würden.

Warum stößt die Nutzung der Wasserkraft dennoch zunehmend auf Widerstand? Wasserbehörden, Fischer und Naturschutzverbände äußern Bedenken und wollen möglichst keine Staustufen in den Flüssen. Wenn man das Wasser staut, lagern sich zunehmend Teilchen am Boden ab (Sedimentation). Der vormals überströmte Kies-

und Geröllgrund geht verloren, Tiere und Pflanzen, die auf fließendes Wasser angewiesen sind, sterben aus. Um Wanderfische wie die Meerforelle oder den Lachs wiederanzusiedeln, müssten die Flussläufe im Gegenteil sogar renaturiert werden. Besonders heftigen Widerstand gibt es gegen den Bau von Pumpspeicherkraftwerken, da die Eingriffe in Natur und Umwelt hier besonders groß sind. Auch ästhetische Argumente führen Gegner der Wasserkraft an, wenn in schöner Gebirgslandschaft wie zum Beispiel oberhalb des oberbayerischen Walchensees an der Südseite des Jochbergs ein Pumpspeicherkraftwerk errichtet werden soll.

Solch lokaler Widerstand wird nur zu gerne leichtfertig als Ausdruck rein egoistischer Präferenzen abgetan: Das so genannte NIMBY (*not in my backyard*)-Phänomen beschreibt eine Haltung, bei der die Betroffenen zwar prinzipiell einverstanden sind mit der Nutzung von Wasserkraft – aber gegen ein Kraftwerk in ihrer unmittelbaren Umgebung. Neuere sozialwissenschaftliche Studien zeigen hingegen, dass es nicht (nur) egoistische Interessen sind, welche die Anwohner in der direkten Nachbarschaft vor-

bringen: Vielmehr äußern sie häufig berechtigte Kritik, weil bestimmte moralische oder gesellschaftliche Werte bei den Planungen nicht berücksichtigt wurden.

So wird etwa gegen die Wasserkraft angeführt, dass die heute bereits bestehenden Pumpspeicherkraftwerke um ein Mehrfaches ausreichen, um Stromspitzen und schwankenden Bedarf auszugleichen. Außerdem würden Pumpspeicherkraftwerke dazu benützt, billigen Atom- und Kohlestrom in teuren Spitzenstrom zu veredeln. Es gilt in dieser Debatte, materielle Werte wie Verteilungsgerechtigkeit, Effizienz oder Versorgungssicherheit von prozeduralen Werten wie Verfahrensgerechtigkeit zu unterscheiden.

Wie kann man mit berechtigter Kritik umgehen?

Abb. 3: Das erste Großkraftwerk der USA: Bereits 1896 entstand eine Wasserkraftwerkanlage an den Niagarafällen. Im Bild die Umspannstation der heutigen Anlage der Sir Adam Beck Hydroelectric Generating Stations auf der kanadischen Seite der Wasserfälle.

In der Technikethik greifen so genannte Design-for-values-Ansätze diese berechtigte Kritik auf. Es geht hier darum, bereits in der Planungs- und Konstruktionsphase die oben genannten Werte zu verankern. Oftmals werden technische Anlagen mit Blick auf den Wert „Sicherheit“ oder den Wert „ökologische Nachhaltigkeit“ optimiert (Abb. 1). Das Ziel sollte allerdings eine multidimensionale Optimierung sein, wie sie in Abbildung 1 im rechten oberen Quadranten angedeutet ist. Das Oosterschelde-Sturmflutwehr an der niederländischen Küste ist hierfür ein gutes Beispiel: Zum Schutz vor Überflutung sollte der Oosterschelde-Damm ursprünglich als geschlossenes Bauwerk ausgeführt werden. Damit drohte jedoch das ökologisch wertvolle Salz- und Brackwassermilieu der Flussmündungen verlorenzugehen. Proteste von Umweltschützern und der Widerstand der örtlichen Fischer führten zu einer Ergänzung des Damms durch ein Sturmflutwehr. Dieses Wehr wird nur bei Sturmflut geschlossen, ansonsten ist der Einfluss der Gezeiten weiterhin möglich, und die wertvolle Salz- und Brackwasserzone bleibt erhalten (Abb. 2). Generell muss eine multidimensionale Optimierung aber nicht allein Sicherheit und Nachhaltigkeit berücksichtigen, sondern alle relevanten Werte.



Auch bei der Nutzung der Wasserkraft zur Stromgewinnung gibt es bereits Vorbilder für Ansätze, die eine multidimensionale Werteoptimierung anstreben. Der Ausbau des Wasserkraftwerkes Rheinfelden, das zwischen der Schweiz und Deutschland liegt, kann als gutes Beispiel dienen, wie länderübergreifend die Werte verschiedenster Interessensgruppen – von Fischern über die Stromerzeuger bis hin zur regionalen Tourismusindustrie – Berücksichtigung finden können.

Welche Werte gilt es zu berücksichtigen?

Die einzelnen Gruppen artikulieren ihre unterschiedlichen Interessen, allerdings sind nicht alle Interessen auf gleiche Art und Weise zu berücksichtigen. Auch haben *Interessen* als Präferenzen von Individuen oder Gruppen per se keinerlei normativen Anspruch. *Werte* als normative Konstrukte sind hiervon zu unterscheiden. Ihnen liegt eine Theorie zugrunde, die allen Beteiligten nachvollziehbar vermitteln kann, was als wertvoll zu erachten ist und warum.

Beim Bau von Wasserkraftwerken geht es um Werte wie Nachhaltigkeit (Erhaltung der Lebensgrundlage für zukünftige Generationen), Sicherheit (für Arbeiter und Anwohner), Versorgungssicherheit oder den ästhetischen Wert der Landschaft. Hinzu kommt, dass Wasser zwar aus Sicht der Energieversorgung ein erneuerbarer Rohstoff, zugleich aber auch direkte Lebensgrundlage von Menschen ist. Wasser ist daher eine überaus kostbare Ressource: 70 Prozent der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt, aber nur drei Prozent davon sind Süßwasser. Davon wiederum stehen weniger als zwei Prozent für die Versorgung einer anwachsenden Weltbevölkerung zur Verfügung. Bereits heute haben nahezu eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu sauberem Wasser. Der Tod von täglich 5.000 Kindern wird zu 90 Prozent auf mangelnde Versorgung mit Trinkwasser zurückgeführt.

Nicht bei jedem geplanten Wasserkraftwerk laufen alle Werte Gefahr, verletzt zu werden. Jedoch bleibt das grundsätzliche Problem, wie die verschiedenen Werte gegeneinander abzuwägen sind, und zu allererst, welche Werte es überhaupt zu berücksichtigen gilt. Soll von Wasserkraft generell Abstand genommen werden, weil Trinkwasser weltweit nicht ausreichend verfügbar ist? Sollen ästhetische Argumente genauso Berücksichtigung finden wie Fragen der Sicherheit? Sicherlich nicht! Aber wie gegeneinander abwägen, wenn es sich strenggenommen um inkommensurable Werte handelt, also Werte, die nicht miteinander vergleichbar sind?

Capabilities oder Fähigkeiten als Bewertungsmaßstab

Einen Ausweg bietet die Rückbesinnung auf das, was zu Beginn dieses Artikels als wertvoll im Umgang mit Technik erachtet wurde: der Zuwachs an Möglichkeiten, den Technik bietet. Der Ökonomie-Nobelpreisträger Amartya Sen hat im Bereich der Entwicklungstheorie eine Wertetheorie vorgeschlagen, die genau dies zu formalisieren versucht. Sen zufolge bilden das intrinsisch Wertvolle sog. *capabilities* oder Fähigkeiten. Diese lassen sich ganz grob mit den grundlegenden Voraussetzungen identifizieren, die erfüllt sein müssen, damit jemand überhaupt die Konzeption eines nach individuellen Maßstäben glücklichen Lebens ausbilden kann. Was sind solche Voraussetzungen? Der Human Development Index (HDI), der jährlich von den Vereinten Nationen herausgegeben wird und auf

den Ideen Sens beruht, nennt Bildung, materiellen Wohlstand sowie Gesundheit als solche Voraussetzungen.

Angewandt auf unterschiedliche Energietechniken bedeute dies, dass diese nicht allein danach bewertet werden dürfen, wie sie sich zu einem bestimmten Zeitpunkt auf verschiedene Aspekte menschlichen Lebens auswirken. Vielmehr muss auch der Zuwachs oder die Abnahme an Handlungsoptionen berücksichtigt werden. Hierzu ein Beispiel: Sollten wir in naher Zukunft feststellen, dass die Windenergie unabwägbare Risiken darstellt, dann können wir oder nachfolgende Generationen mehr oder weniger einfach die Windräder abbauen. Für das Wasserkraftwerk Belo Monte in Brasilien, das den Rio Xingu in einen Stausee von der Größe des Bodensees verwandelt, wäre dies schon schwieriger. Bei einem Lager für hochradioaktive Abfälle ist diese Handlungsoption – das einfache Beseitigen der Gefahr – nicht möglich und nimmt uns und zukünftigen Generationen daher viele Handlungsmöglichkeiten. Diesen Verlust an Freiheit gilt es in einer ethischen Bewertung mitzuberücksichtigen.

Bei der Diskussion, ob ein Wasserkraftwerk gebaut werden soll, dürfen aber nicht nur Aspekte wie ökonomische Effizienz, technische Machbarkeit, Sicherheits- und direkte Gesundheitsprobleme (z. B. erhöhte Malaria-Gefahr bei aufgestauten Gewässern) oder der Einfluss auf die Wasserversorgung und damit indirekt auf die Gesundheit berücksichtigt werden. Auch die kulturelle Bedeutung des Wassers muss eine Rolle spielen: Wasser ist in vielen Kulturen nicht allein Mittel zum Zweck (Flüssigkeitsaufnahme, Stromerzeugung usw.), sondern auch von religiöser Bedeutung (z. B. für spirituelle Wuschungen). Zu den materiellen und kulturellen Werten kommen schließlich noch prozedurale Werte. Verfahrensgerechtigkeit bedeutet, dass alle Interessengruppen den Entscheidungsprozess mitgestalten können oder ihre Positionen zumindest Gehör finden.

Die Abwägung zwischen Pro und Kontra bei der konkreten Realisierung eines Wasserkraftwerkes scheint damit sehr vielschichtig zu sein. Allerdings sind wir bereits seit langem daran gewöhnt, bei der technischen Realisierung von Projekten immer auch ökonomische Randbedingungen und damit technikfremde Zwänge zu berücksichtigen. Es ist nun an der Zeit, technischen Projekten zusätzlich auch ethische Randbedingungen aufzuerlegen, die nicht allein als Einengung zu sehen sind, sondern ganz im Gegenteil dazu dienen, unseren Handlungsspielraum zu erhalten und sogar auszuweiten. ■

DIE AUTORIN

Prof. Dr. Dr. Rafaela Hillerbrand arbeitet derzeit als Associate Professor für Philosophie und Trägerin des Delft University Technology Fellowships an der Technischen Universität Delft. Zuvor leitete sie als Juniorprofessorin die interdisziplinäre Arbeitsgruppe Ethics for Energy Technology an der RWTH Aachen, ein Projekt der Exzellenzinitiative. Ab 2009 war sie Mitglied der Jungen Akademie der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und der Leopoldina. Sie wurde in Theoretischer Physik sowie in Philosophie promoviert. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die Wissenschafts- und Technikphilosophie. Sie ist u. a. Autorin von „Technik, Ökologie und Ethik“ (2005) sowie Mitherausgeberin des „Handbook of Risk Theory“ (2012).



Jenseits von $374\text{ }^{\circ}\text{C}$ – überkritisches Wasser

Jenseits seiner kritischen Temperatur und seines kritischen Drucks erreicht Wasser einen fluiden Zustand, bei dem man nicht mehr zwischen flüssig und gasförmig unterscheiden kann. Überkritisches (auch: superkritisches) Wasser hat ganz besondere Eigenschaften: die Dichte des normalen Wassers und die Viskosität des Wasserdampfes. Es wird heute bei einer Vielzahl von Produktionsprozessen eingesetzt.



Luftaufnahme des geothermischen Kraftwerks bei Krafla im Norden Islands. In der Ebene wurde bereits 2007 versucht, in rund 4 km Tiefe erstmals nach überkritischem Wasser zu bohren, was jedoch nicht gelang. Überkritisches Wasser könnte bis zu zehnmal mehr Strom liefern als herkömmliche geothermische Kraftwerke auf der Insel. (Quelle: www.scinexx.de)

VON GERD BRUNNER

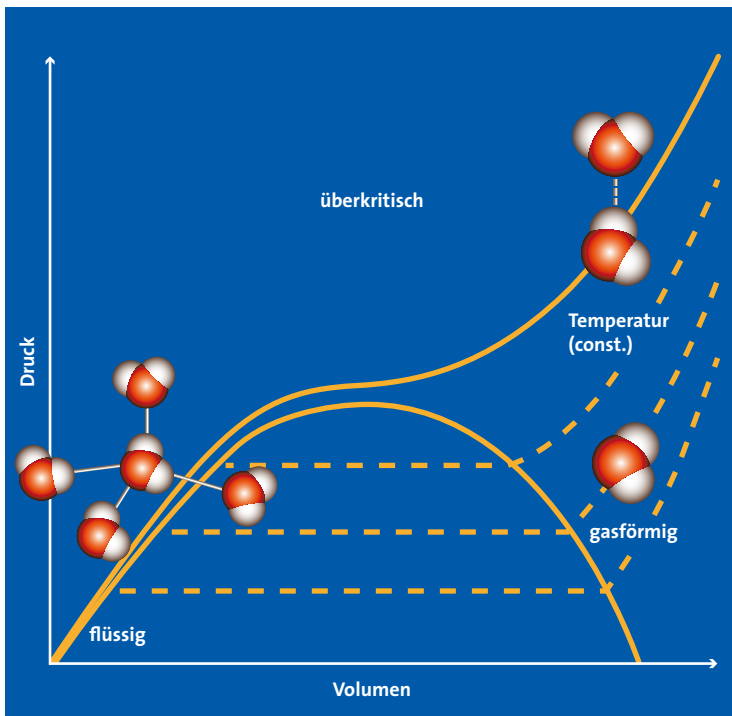
WASSER IST EIN außerordentlicher Stoff. Es ist lebensnotwendig und allgegenwärtig. Wasser wird in zahlreichen alltäglichen Arbeiten und industriellen Prozessen angewendet. Seine Eigenschaften verändern sich drastisch bei erhöhten Temperaturen (und Drücken), da sich dann seine molekulare Struktur verändert. Diese besteht bei niedrigen und mäßig erhöhten Temperaturen aus einem stabilen dreidimensionalen Netzwerk, verursacht von Wasserstoffbrückenbindungen, und verändert sich bei hohen und überkritischen Temperaturen hin zu einer Anordnung getrennter polarer Wassermoleküle. Wenn man Temperatur und Druck erhöht, wandelt sich Wasser daher von einem Lösungsmittel für ionische Verbindungen, z. B. Salze, zu einem Lösungsmittel für polare und unpolare Stoffe, z. B. Benzin.

Diese Veränderlichkeit der Eigenschaften von Wasser hat zu vielen praktischen und technischen Anwendungen geführt. Überkritisches Wasser wird etwa bei der Energieübertragung, der Extraktion von Wertstoffen, der Durchführung einzigartiger chemischer Reaktionen, der Biomasseverwertung, der Verarbeitung von Brennstoffen, der Zerstörung von toxischen Stoffen, der Kreislaufführung von Kunststoffen, der Erzeugung von Einkristallen und der Herstellung von metallischen Nanopartikeln verwendet, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Wasser zur Wärmeübertragung

Wasser hat eine hohe Wärmekapazität und eine außerordentlich hohe Verdampfungsenthalpie – es muss also sehr viel Energie aufgebracht werden, bevor es verdampft. Diese Eigenschaften sind für die Übertragung von Energie als Wärme sehr wichtig. Hydrothermales und überkritisches Wasser wird deshalb vielfach eingesetzt, um Wärme zu übertragen, etwa in Kraftwerken, aber häufig auch in Produktionsprozessen.

In vielen Prozessen ist Wasser der Hauptbestandteil, z. B. bei der Verarbeitung von Biomasse. Diese Prozesse laufen bei relativ hohen Temperaturen ab, daher ist die Energierückgewinnung unabdingbar. In vielen Fällen kann der Wärmeübertragungsprozess zunächst auf reines Wasser be-



Schematisches Zustandsdiagramm von Wasser. Es zeigt unterschiedliche Wechselwirkungen der Wassermoleküle miteinander. Bei überkritischem Wasser ist die Temperatur höher als 374 °C und der Druck höher als 220 bar.

zogen werden. Dennoch tritt in der Praxis häufig der Fall ein, dass sich die zunächst homogene Mischung bei Temperatursenkung in mehrere Phasen aufteilt, z. B. eine gasförmige und eine flüssige. Daher muss auch das Mischungsverhalten in die Modellierung einbezogen werden, wie beispielsweise bei Prozessen zur Vergasung von Biomasse. Dabei entstehen aus einer zunächst homogenen gasförmigen Mischung bei Temperatursenkung eine gasförmige und zwei flüssige Phasen. Eine davon ist sehr reich an Wasser, die andere sehr reich an Kohlenwasserstoffen, womit gleichzeitig eine Trennung herbeigeführt wird.

Wasser und chemische Reaktionen

In hydrothermalem und überkritischem Wasser können interessante und z. T. neuartige chemische Reaktionen durchgeführt werden. Dabei kann man die Reaktionsbedingungen in einem weiten Bereich anpassen, ohne die Zusammensetzung der Mischungen ändern zu müssen, wie beispielsweise durch Hinzufügen eines Lösungs-

mittels. Je nach den Zustandsbedingungen kann damit Wasser auf die gleichen Stoffe völlig unterschiedliche Wechselwirkungen ausüben. Für Reaktionen unter hydrothermalen Bedingungen muss der Druck höher als der entsprechende Dampfdruck des Wassers gehalten werden, um die Reaktionsmischung flüssig zu halten. Dies ist nötig, da Wasser im gasförmigen Zustand eine wesentliche Eigenschaft verliert, nämlich seine Lösefähigkeit.

Im kritischen Bereich hat Wasser eine Dichte, die leicht durch Druck und Temperatur verändert werden kann. Überkritisches Wasser verliert unter niedrigem Druck seine Lösefähigkeit, bleibt aber ein polares Lösungsmittel. Unter höherem Druck werden wieder eine gute Lösefähigkeit und eine höhere Polarität erreicht. Daher kann man im kritischen und im überkritischen Zustandsbereich unterschiedliche Reaktionsbedingungen verwirklichen, einerseits zur Durchführung von Reaktionen, andererseits zur Abscheidung von Reaktionsprodukten. Da Wasser im kritischen und überkritischen Zustand mit vielen organischen und anorganischen Stoffen vollkommen mischbar ist, kann man Reaktionen im homogenen Bereich durchführen. Dafür bräuchte man ansonsten organische Lösungsmittel.

Überkritisches Wasser ist darüber hinaus ein hervorragendes Reaktionsmedium für heterogen katalysierte Prozesse. Die hohe Diffusionsgeschwindigkeit unter diesen Bedingungen vermeidet die Begrenzung durch Stofftransportprozesse. Die hohe Lösefähigkeit verhindert die Bildung von koksartigen Ablagerungen und damit die Verringerung der Katalysatorwirkung. Die Reaktionsgeschwindigkeiten sind durch die erheblich angestiegene Stoßhäufigkeit erhöht. Reaktionen von hochmolekularen Radikalen, die bei Pyrolyseprozessen häufig auftreten, werden durch den Käfigeffekt verlangsamt, bei dem die in großer Zahl vorhandenen Lösungsmittelmoleküle (Wasser) die Radikale umgeben.

Wasser als Extraktionsmittel

Wertvolle Stoffe kommen in der Natur oftmals in wasserhaltigen Materialien vor, wie beispielsweise in frischen Pflanzen. Die Extraktion solcher

Stoffe mit heißem Wasser bei Umgebungsdruck wird seit vielen Jahrhunderten praktiziert. Wendet man heißes Wasser bei Temperaturen oberhalb von 100 °C und entsprechend erhöhten Drücken an, also oberhalb des Umgebungsdrucks, lassen sich die Möglichkeiten dieser Extraktion deutlich erweitern. Das macht Stoffe zugänglich, die unter Normalbedingungen nicht extrahiert werden können. Unter nahekritischen und überkritischen Bedingungen wird zudem auch die vollständige Extraktion von toxischen Verunreinigungen aus Abfall und Bodenmaterial möglich.

Bei Temperaturen zwischen 100 °C und etwa 350 °C kann man mit Wasser ionische und polare Stoffe extrahieren, etwa Salze, Benzin oder Fett. Wasser bildet damit eine umweltverträgliche Alternative zur Naturstoffextraktion derartiger Stoffe, die mit unpolaren Stoffen wie z. B. Kohlenstoffdioxid nicht zugänglich sind. Bei Temperaturen im kritischen Bereich und darüber werden auch nichtpolare Stoffe, etwa Methan, durch Wasser extrahiert. In vielen Fällen verläuft dieser Vorgang physikalisch, die Moleküle werden also nicht verändert. Häufig reagiert Wasser aber auch mit den Materialien, bricht Bindungen zwischen Substrat und Wertstoff auf oder reagiert direkt mit den Wertstoffkomponenten. Mittels solcher Verfahren können Extrakte, Substrate oder beide als Produkte gewonnen werden. Beispiele hierfür sind die Reinigung von Bodenmaterial von toxischen Verunreinigungen, die Reinigung von Knochenmaterial zur Herstellung von Implantaten und die Extraktion von Farb- oder Geschmacksstoffen (Polyphenole) aus Pflanzen.

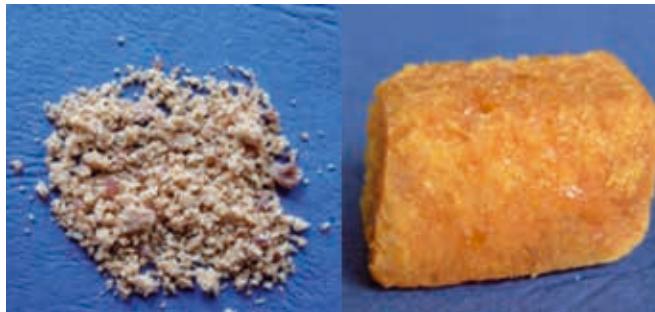
Wasser und Brennstoffe

Kohlenwasserstoffe, die Hauptbestandteile von Brennstoffen zur Energiebereitstellung, können mit hydrothermale und überkritischem Wasser umweltfreundlich behandelt werden. In dieser Hinsicht wurde die Verarbeitung von Kohlen, Ölschiefer und Teersanden umfangreich wissenschaftlich untersucht.

Bei niedrigen Temperaturen sind Kohlenwasserstoffe mit Wasser nahezu nicht mischbar. Bei hohen Temperaturen nimmt die gegenseitige Löslichkeit zu, bis bei Temperaturen im kritischen Bereich eine vollständige Löslichkeit erreicht werden kann. Parallel dazu nimmt mit der Temperatur auch die Reaktionsfähigkeit zu, und es treten hydrolytische und pyrolytische Umsetzungen der Kohlenwasserstoffe auf. Nur relativ einfache Kohlenwasserstoffe sind bei überkritischen Temperaturen für Wasser stabil.

Mit zunehmender Temperatur verändern sich auch andere Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe: Die Viskosität wird stark verringert, ebenso verringert sich die Oberflächenspannung mit größer werdender gegenseitiger Löslichkeit. Verunreinigungen, wie z. B. Schwefel, reagieren zu flüchtigen Verbindungen, die dann leicht entfernt werden können. Auch die Abtrennung von feinen Feststoffpartikeln, die ansonsten ein großes Problem bei derartigen Produktionsprozessen darstellt, ist mit überkritischem Wasser leicht zu bewerkstelligen.

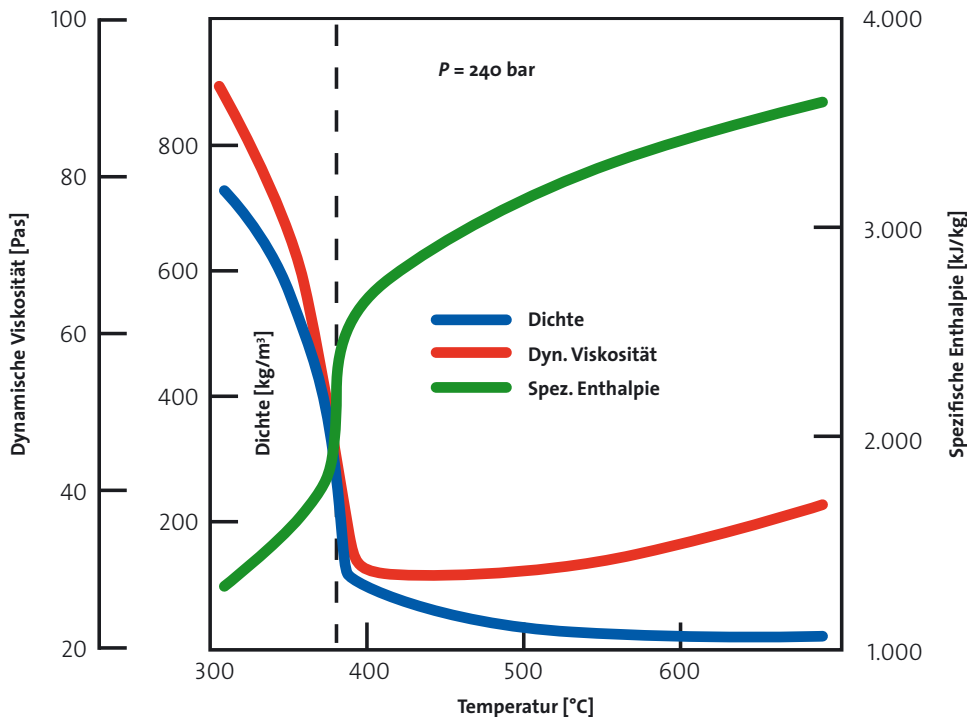
vorher



nachher



Bei der Herstellung von Implantaten wird Knochenmaterial mit überkritischem Wasser gereinigt.



flüssigung zu Brennstoffen oder die Vergasung zur Erzeugung von Synthesegas.

Die Verarbeitung von Biomasse mit hydrothermale und überkritisches Wasser ist in diesem Zusammenhang ein wichtiges Arbeitsgebiet. Dabei werden unterschiedliche Zwecke verfolgt, nämlich die Extraktion und Umwandlung von Stoffen für Nahrungszwecke, die Bereitstellung von Stoffen für die chemische Synthese, die Aufbereitung für die anschließende Fermentation oder die Aufbereitung zur Bereitstellung von Energie. In dieser Hinsicht ist Biomasse eine erneuerbare Energiequelle, die nur wenig Schwefel enthält und nahezu CO₂-neutral ist.

Wasser zur Wiederverwertung von Kunststoffen

Im kritischen Bereich verändert Wasser seine Eigenschaften.

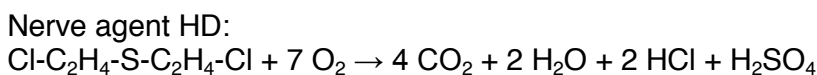
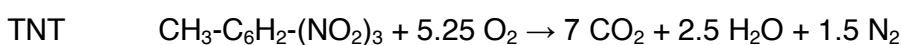
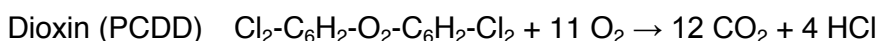
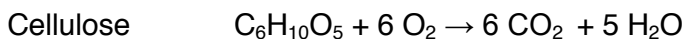
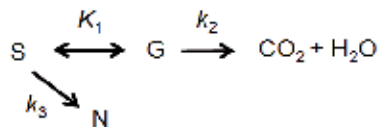
Wasser zur Nutzung von Biomasse

Biomasse ist eine komplizierte Mischung unterschiedlicher Bestandteile, wie beispielsweise Zucker, Stärke, Zellulose, Hemizellulose, Lignin, und Proteinen – abgesehen von einer Vielzahl von Begleitstoffen, die häufig vorher schon als Wertstoffe extrahiert werden. Die Absicht, möglichst viele Bestandteile der Biomasse zu nutzen, führt zur Idee der Bioraffinerie, in der die Biomasse in die einzelnen Bestandteile zerlegt und zu Produkten aufgearbeitet wird. Andere Wege zur Nutzung von Biomasse sind die Ver-

Zerstörung von Stoffen mit heißem Wasser (sog. „Naßoxidation“).

Ein weiterer wichtiger Bereich, in dem hydrothermales und überkritisches Wasser sinnvoll verwendet werden kann, ist die Rückführung von synthetischen Polymeren, also Kunststoffen. Wasser zersetzt unter diesen Bedingungen die Kunststoffe zu Bruchstücken, die wieder in der Produktion verwendet werden können, und verunreinigt die Produkte nicht.

Beispielsweise werden Polymere aus Kondensationspolymerisationen, wie z. B. Polyethylenterephthalat (PET), Polyamide und Polyurethane in überkritischem Wasser in ihre Monomere überführt, ebenso Additionspolymere, wie z. B. Phenolharze, Epoxidharze und Polyethylene. Materialien aus mehreren Polymeren (so genannte Komposite) können in ihre Bestandteile zerlegt und wiederverwendet werden. Biologisch abbaubare Polymere, wie polymere Milchsäure, können als Monomere in hoher Reinheit und fast vollständig wiedergewonnen werden.



Wasser zur Vernichtung toxischer Stoffe

Mit hydrothermalem und überkritischem Wasser können toxische und gefährliche Stoffe in wässriger Umgebung isoliert und sicher durch Oxidation beseitigt werden. Die Oxidation wird dabei entweder als sog. „Nassoxidation“ oder als Oxidation mit überkritischem Wasser durchgeführt. Diese Oxidationsreaktionen zielen auf die Umwandlung organischer Stoffe zu vollkommen oxidierten Endprodukten ab oder auf Produktströme, die mit konventioneller Abwasserbehandlung gereinigt werden können.

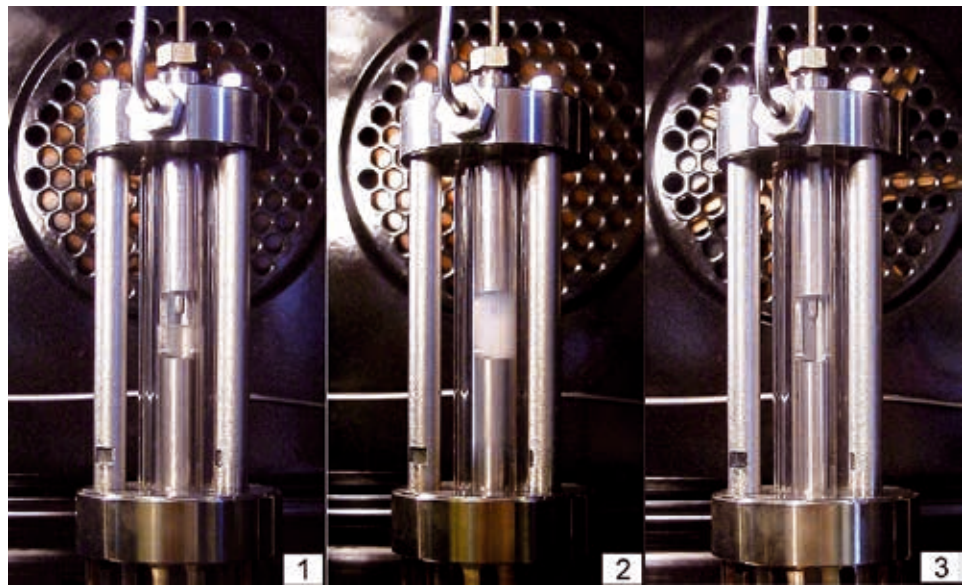
Wasser zur Verarbeitung anorganischer Stoffe

Anorganische Stoffe wie Metalle oder Salze können mit hydrothermalem und überkritischem Wasser in sog. „hydrothermalen Prozessen“ verarbeitet werden. Dabei entstehen Nanopartikel, Monokristalle, funktionale Metalloxide und andere Materialien. Oft reichen Temperaturen unterhalb des kritischen Bereichs für die Durchführung der Prozesse aus. Dennoch sind überkritische Bedingungen für Wasser auch hier von Interesse, da Dichte, Viskosität, Stofftransport und dielektrische Eigenschaften mit einfacher Veränderung des Druckes oder der Temperatur eingestellt werden können. Damit lassen sich in den Produkten die Partikelgröße, die Kristallstruktur und die Formgebung steuern.

Wasser in Produktionsanlagen

Produktionsverfahren mit hydrothermalem und überkritischem Wasser benötigen einen Behälter, der den Betriebsbedingungen widerstehen kann. Die Technik, derartige Druckbehälter zu bauen, wurde in den letzten 150 Jahren so weit entwickelt, dass man heute davon ausgehen kann, dass für alle in Frage kommenden Bedingungen geeignete Behälter hergestellt werden können.

Obwohl es viele und verschiedenartige Produktionsprozesse mit hydrothermalem und überkritischem Wasser gibt, sind doch die einzelnen Verfahrensschritte ähnlich. Diese umfassen die Zuführung der Ausgangsstoffe in die Hochdruckbehälter, die Herstellung und Kontrolle der Be-



triebsbedingungen, die kontrollierte Durchführung des Produktionsvorgangs, die Entnahme der Produkte aus der Produktionsapparatur und ihre Abtrennung vom Reaktionsmedium Wasser, das nach einer weiteren Aufbereitung wieder in den Prozess zurückgeführt oder nach der Reinigung abgeführt wird.

In Produktionsprozessen werden meist große Stoffmengen verarbeitet, die von einigen hundert Kilogramm pro Jahr für sehr hochwertige Produkte bis hin zu mehreren hunderttausend Tonnen pro Jahr reichen. Um derartige Mengen handzuhaben, müssen viele Aufgaben gelöst werden – zumeist von Ingenieuren. Ferner ist zu beachten, dass die Lösung eines Produktionsschrittes mit überkritischem Wasser noch nicht den gesamten Produktionsprozess ausmacht. Hierfür sind noch eine Vielzahl weiterer Prozessschritte und manch andere Probleme zu lösen, wie die Bereitstellung der Rohstoffe, die Abfallbehandlung, die Finanzierung und die gesellschaftliche Akzeptanz.

In Bezug auf den kritischen Punkt verhalten sich alle Stoffe gleich. Im Bild die sichtbaren Phasen am Beispiel des Ethan: 1: unterkritisches Ethan, koexistente Flüssig- und Dampfphase; 2: kritischer Punkt, Opaleszenz; 3: überkritisches Ethan, Fluid.

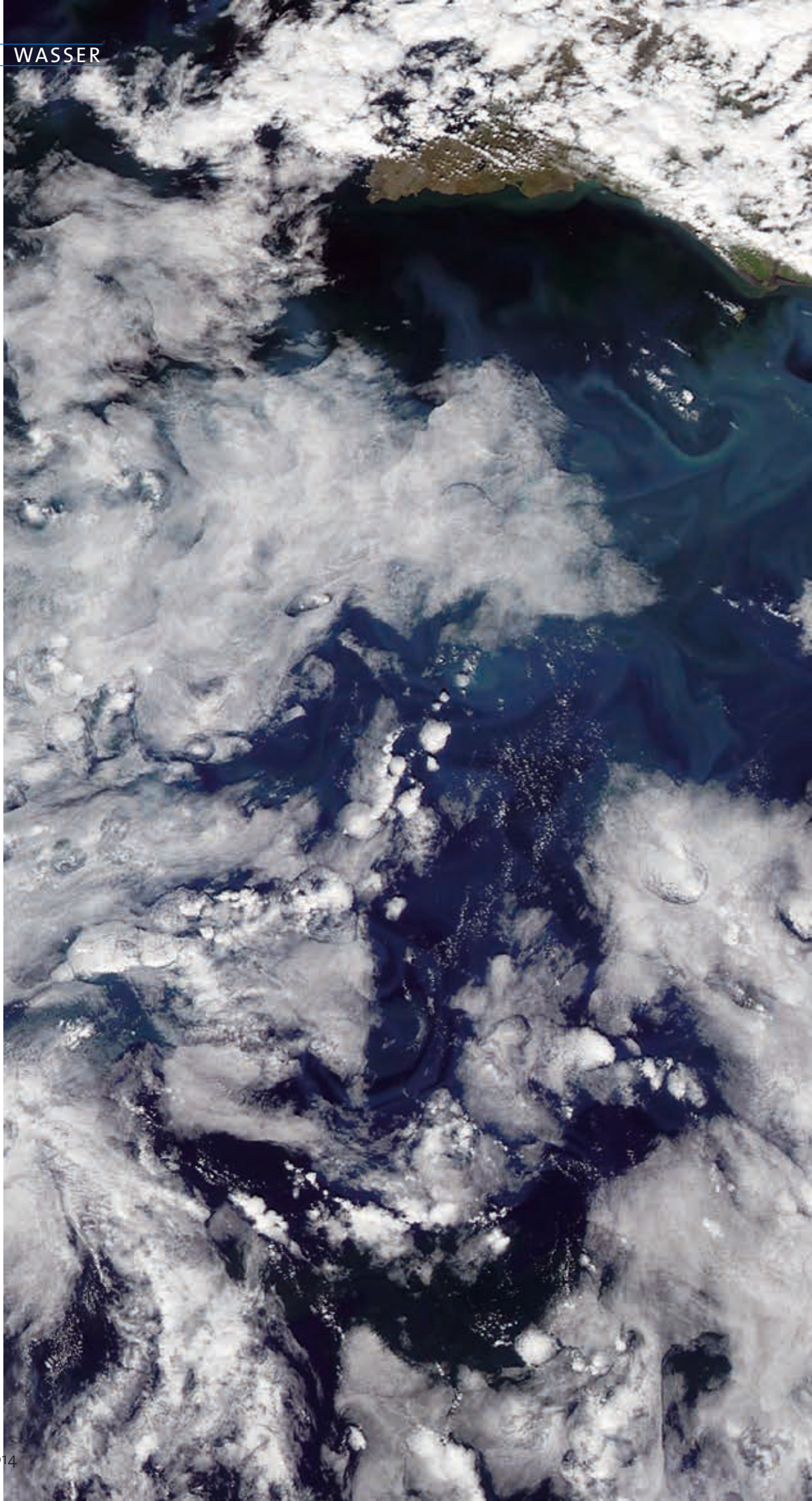
DER AUTOR

Prof. Dr.-Ing. Gerd Brunner ist ehemaliger Leiter des Instituts für Thermische Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Hamburg-Harburg und Mitglied der Akademie der Wissenschaften in Hamburg. Seine Arbeitsgebiete sind die Thermodynamik bei hohen Drücken und Anwendungen überkritischer Fluide.

Literatur

G. Brunner, Hydrothermal and Supercritical Water Processes, Amsterdam 2014.

Frühjahrsblüte des Phytoplanktons im Atlantik nahe der isländischen Küste Anfang Juni 2014, aufgenommen mit dem „Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer“ (MODIS) auf dem Aqua-Satelliten der NASA. Wie Klimaveränderungen auf das Meeresplankton wirken, ist Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen.



Dürre, Hochwasser, Wetterextreme

Wasser als Indikator
von Klimaveränderungen



Klimageschichte

Der Arktische Ozean – ein Frühwarnsystem für globale Umweltveränderungen

Eines der letzten naturwissenschaftlichen Projekte im Akademienprogramm erforscht den Klimawandel in der Arktis gestern, heute und morgen. Die Erkenntnisse helfen, globale Umweltveränderungen besser zu verstehen.

VON JÖRN THIEDE, HENNING BAUCH UND ROBERT SPIELHAGEN

Abb. 1: Wolkenformationen über Spitzbergen, Svalbard-Archipel.

Wasser im Klimasystem und die bipolare Vereisung

Die Erde ist ein von Wasser geprägter Planet: Mehr als zwei Drittel der Oberfläche sind von Wasser bedeckt. Dieser Stoff spielt eine extrem wichtige Rolle für nahezu alle Lebewesen, sowohl als Lebensraum als auch zur Lebensgrundlage. Viele Wasserstudien berücksichtigen jedoch kaum, dass fast 70 Prozent der Süßwasservorräte dieser Erde in destillierter Form in den großen polaren Eisschilden der Antarktis (25,7 Mio. km³) und Grönlands (2,8 Mio. km³) gebunden sind. Das moderne Klimasystem, in dem Wasser als Transportmedium für Wärme eine herausragende Rolle spielt, unterliegt gegenwärtig dramatisch schnellen Veränderungen. Der neueste Weltklimabericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2014) äußert die Befürchtung, dass durch die gegenwärtige Erwärmung die Eisschilde und die sie umgebenden Meereisflächen schnell schrumpfen. Während der letzten Eiszeit war über Verdunstung und Niederschlag so viel Süßwasser in die hohen nördlichen und südlichen Breitengrade transportiert worden, dass dort unter dem Einfluss der niedrigen eiszeitlichen Temperaturen riesige Eiskappen (auf der Antarktis, in Nordamerika und im nordwestlichen Eurasien mit einem weltweit ca. 135 Meter tieferen Meeresspiegel) wachsen konnten, deren bescheidene Reste in der heutigen Eisbedeckung Grönlands und der Antarktis bewahrt sind.

Der Planet Erde hat im Laufe seiner Geschichte viele Vereisungsphasen durchlaufen, die sehr unterschiedlicher Natur waren. Aufgrund der Stellung der Erde in ihrem Orbit um die Sonne und der Geographie der Verteilung von Land und Meer, die sich erst durch die plattentektonischen Bewegungen in der Erdneuzeit entwickelt hat, wird das Klimasystem der jüngsten geologischen Vergangenheit durch eine bipolare Vereisung und große Tempera-

turunterschiede zwischen polaren und tropischen Klimazonen geprägt. Da die Klimazonen hoher nördlicher und südlicher Breitengrade grundsätzliche geographische Unterschiede aufweisen und Veränderungen in der Arktis unmittelbare Bedeutung für unsere eigenen Lebensumstände haben, konzentriert sich das Mainzer Akademievorhaben „Frühwarnsysteme für globale Umweltveränderungen“ darauf, Geschwindigkeit und Regionalität von Umweltveränderungen in den polaren und subpolaren Meeres- und Landgebieten der Nordhemisphäre zu bestimmen. Klimaveränderungen erfolgen und erfolgten dort in der Regel früher, dramatischer und schneller als in der Südhemisphäre und besitzen oft sogar weitreichende Fernwirkungen für südlichere Gebiete der Erde.

Abbildung 2 zeigt die Verteilung von Land, Eis und Meer auf der Nordhemisphäre. Die Niederschläge über Nordeurasien werden hauptsächlich von feuchten Luftmassen von Westen her gespeist, die damit einen wichtigen Einfluss auf die Flusssysteme der großen sibirischen Ströme haben, die in das Nordpolarmeer münden. Die Seen und Permafrostgebiete Nordsibiriens und das angrenzende Nordpolarmeer enthalten hervorragende Klimaarchive, die es zu enträtseln gilt und die im Vergleich als „Frühwarnsystem“ für die Auswirkungen zukünftiger Klimaveränderungen genutzt werden können.

Wechselwirkungen zwischen den „polaren“ Kontinenten und den Polarmeeren der Nordhemisphäre

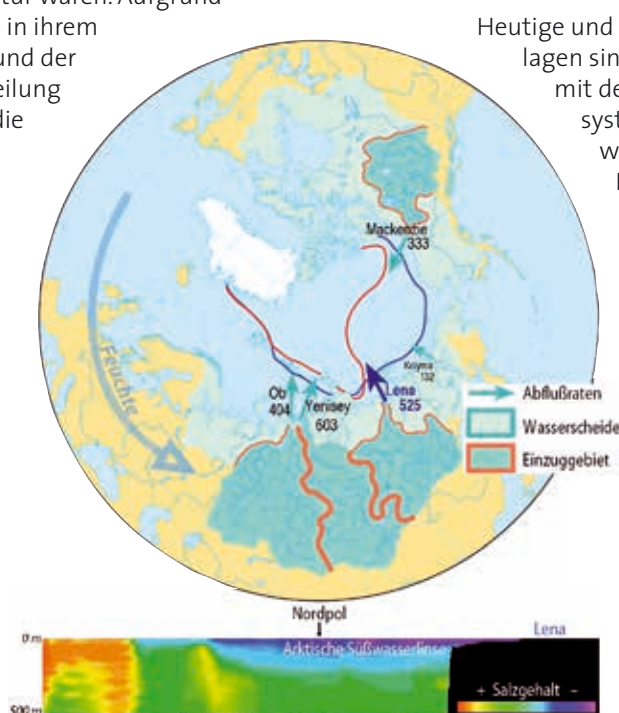


Abb. 2: Klimarelevante Elemente der Geographie der Nordhemisphäre. Grönland wird zum allergrößten Teil noch vom Rest einer eiszeitlichen Eiskappe bedeckt, während die nördlichen Gebiete von Eurasien und Nordamerika heute meist eisfrei sind. Die Hydrographie des relativ kleinen und nur über schmale Meeresstraßen mit dem Weltmeer verbundenen Nordpolarmeeres wird stark vom Süßwasserzustrom aus Nordsibirien (Abflüsse aus den Strömen in km³/Jahr; die Lena ist der wichtigste) und Nordamerika beeinflusst, weil sich an seiner Oberfläche eine dünne Schicht von Brackwasser gebildet hat, die größtenteils von einer 2 bis 4 m mächtigen Meereisdecke überzogen ist. Mächtigkeit und Ausdehnung dieser Meereisdecke verringern sich zur Zeit dramatisch (sommerliche Meereisbedeckung: blau 1979 bis 2000; rot 2007).

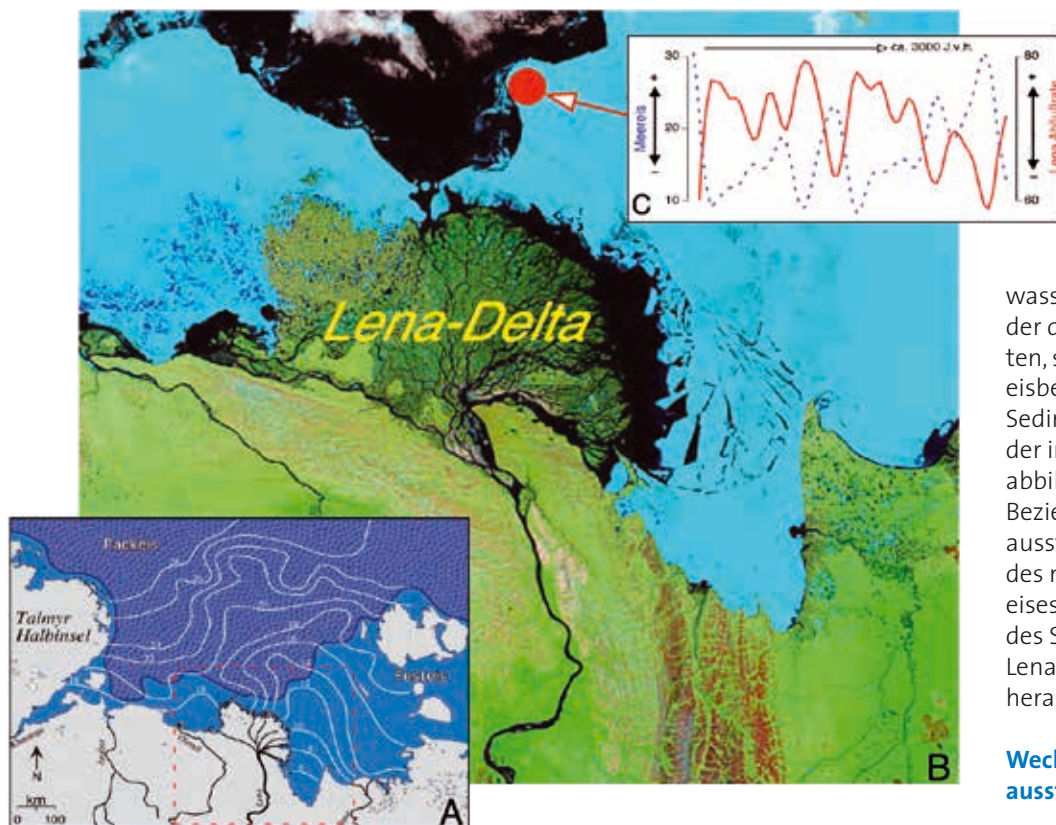


Abb. 3: A) Übersichtskarte der Laptevsee mit winterlichem Pack- und Festeis. Klar zu erkennen ist die Dominanz vom Flusswasser der Lena auf den durchschnittlichen Salzgehalt im Oberflächenwasser (weiße Linien). B) Typische Satellitenaufnahme des Lena-Deltas für Ende Juni (Ausschnitt s. roter Rahmen in A). Das mit dem Land verbundene so genannte Festeis (blau) beginnt sich aufzulösen und wird bis in den August hinein gänzlich verschwunden sein. Der rote Punkt markiert die Position eines untersuchten Sedimentkerns (C) von der Pack-Festeisgrenze, an dem mit Hilfe von Kieselalgen (Diatomeen) relative Veränderungen der Eisbedeckung sowie des Ausstroms von Lenawasser (über den Salzgehalt) für den Zeitraum der letzten 3.000 Jahre rekonstruiert wurden.

die heute flachen sibirischen Nebenmeere seit dem Beginn des globalen Meeresspiegelanstiegs vor ca. 20.000 Jahren ausgeprägten, dynamischen Veränderungen. Die Überflutung der eiszeitlich trocken liegenden heutigen Schelfmeere ging einher mit einem sukzessiven Rückzug aller sibirischen Flussmündungen nach Süden. Die Umwandlung in einen marinen Ablagerungsraum war vor ca. 5.000 Jahren abgeschlossen, so dass sich dann das heutige Umweltsystem ausbilden konnte (Abb. 3).

Die hydrologischen und kryologischen Bedingungen in den neugeformten Flachmeeren, d. h. die zeitliche Veränderlichkeit von Abflussraten der mittelsibirischen Flüsse sowie der Meereisbildungsraten, wurden damit ein integraler Bestandteil des heutigen arktischen Klimageschehens. Abgestorbene mikroskopische Kleinstlebewesen (Mikrofossilien), die sich an unterschiedliche Milieus wie Süß- bzw. Salzwasser angepasst haben, geben Zeugnis der zeitlichen Veränderungen der Umweltbedingungen in den letzten Jahrtausenden. Am Fallbeispiel der Laptevsee, die maßgeblich durch den enormen Süßwasserausstoß des Flusses Lena geprägt ist, konnten diese mithilfe einzelliger Kieselalgen rekonstruiert werden. Demnach zeigt die Zusammensetzung unterschiedlicher Algenvergesellschaftungen (Eis-, Süßwasser-, Meer-

wasserdiatomeen) in Oberflächensedimenten der Laptevsee einen engen Zusammenhang mit dem durch das Flusswasser gesteuerten Salzgehalt und der durch Meereisbildung bedingten, sich alljährlich ausbildenden eisbedeckten Phase. Anhand eines Sedimentkerns vom Meeresboden, der in etwa die letzten 3.000 Jahre abbildet, konnte die zeitliche Beziehung zwischen Flusswasserausstoß auf der einen und Position des mobilen winterlichen Meereseis (Packeis) relativ zur Position des Sedimentkerns nördlich des Lena-Deltas auf der anderen Seite herausgearbeitet werden (Abb. 3).

Wechselwirkungen von Süßwasserausstrom und Klima in der Arktis

Während der Eiszeiten kam es vor allem in der jüngeren geologischen Vergangenheit, also in den letzten 200.000 Jahren, zu radikalen Veränderungen im hydrologischen System der Arktis. Mehrere z. T. einige Kilometer dicke Eisschilde blockierten die Abflusswege vieler der riesigen Stromsysteme (z. B. Ob/Irtysh, Jenissei, Mackenzie). Das Süßwasser staute sich daher südlich der Eiskappen und bildete z. B. im Gebiet des heutigen Russlands ausgedehnte Seen, deren Gesamtfläche etwa der von Nord- und Ostsee entsprach (Abb. 4). In einigen Bereichen der sibirischen Nordküste finden sich entsprechende Ablagerungen aus diesen Seen heute in geologischen Aufschlüssen. Als das Wasser eine von den morphologischen Gegebenheiten abhängige Stauhöhe erreicht hatte, suchte es sich aus den Seen neue Abflusswege, die mitunter für eine Umkehrung der Fließrichtung sorgten, so dass ein Teil des Wassers über das Schwarze Meer schließlich das Mittelmeer erreichte. Als gegen Ende der Vereisung die Eisschilde zerbrachen und sich die Gletscher in die Gebirgsregionen zurückzogen, öffneten sich wieder Abflusswege nach Norden, über die sich die Eisstauseen in den Arktischen Ozean entleeren konnten. Die Tiefseeablagerungen haben dort die Umweltveränderungen auf den umgebenden Kontinenten und die Variabilität des Süßwasserzustroms detailliert aufgezeichnet: Während in Zeiten großflächiger Vereisungen die von den Gletschermassen abbrechenden Eisberge große Mengen von z. T. sehr grobkörnigem Material in den Arktischen Ozean transportierten (massive dunkelgraue Lagen), zeugen die etwas jüngeren, stark geschichteten

Lagen von der vermutlich schubweise erfolgten Entleerung der Seen (Abb. 4). Kurzfristig, über Jahrzehnte bis Jahrhunderte, muss wegen des starken Süßwasserzuströms der Salzgehalt des Oberflächenwassers im Arktischen Ozean drastisch abgesenkt worden sein und ein großer Teil dieses salzarmen Wassers auch den Nordatlantik erreicht haben. Computer-basierte Klimamodelle, die die Veränderlichkeit von Ozean, Atmosphäre und Klima koppeln, haben aufgezeigt, dass der globale Wärmetransport mit dem weltumspannenden ozeanischen Strömungssystem höchst empfindlich auf derartige Veränderungen im Salzgehalt des Ozeans im nördlichsten Nordatlantik reagiert, wo die so genannte „Tiefenwassererneuerung“ die globale Zirkulation antreibt. Durch Untersuchungen an verschiedenen Sedimentkomponenten wie Mikrofossilien und mit geochemischen Methoden, etwa Sauerstoffisotopenmessungen, kann tatsächlich nachgewiesen werden, dass es unmittelbar nach starken „Süßwasserereignissen“ zu einer globalen oder hemisphärischen Kälteperiode kam, weil sich die Ozeanzirkulation abgeschwächt hatte.

Die eiszeitlichen Extremereignisse können, in deutlich abgeschwächter Form, durchaus als Beispiel für zukünftige Klimaveränderungen dienen. Im letzten halben Jahrhundert, das geprägt war von einer starken Zunahme der globalen und insbesondere der arktischen Lufttemperaturen, konnte eine deutliche Zunahme des Süßwasseranstroms vieler Flüsse in den Arktischen Ozean gemessen werden. Als Ursache wird ein verstärkter Feuchtigkeitstransport in der wärmeren Luft mit den vorherrschenden Westwinden über dem nördlichen Eurasien angenommen. Diese Süßwasserzufuhr kann im Laufe der nächsten 50 bis 100 Jahre gemeinsam mit Schmelzwasser der abtauenden grönländischen Gletschermassen im Nordatlantik den Salzgehalt im Oberflächenwasser signifikant verringern. Auch wenn dadurch die Tiefenwassererneuerung und der nordwärts gerichtete Wärmetransport abgeschwächt werden sollten, wird es tendenziell eher nicht zu einer Abkühlung in Europa kommen, wie noch vor einiger Zeit befürchtet. Klimamodelle haben vielmehr gezeigt, dass der durch den verstärkten Treibhaus-

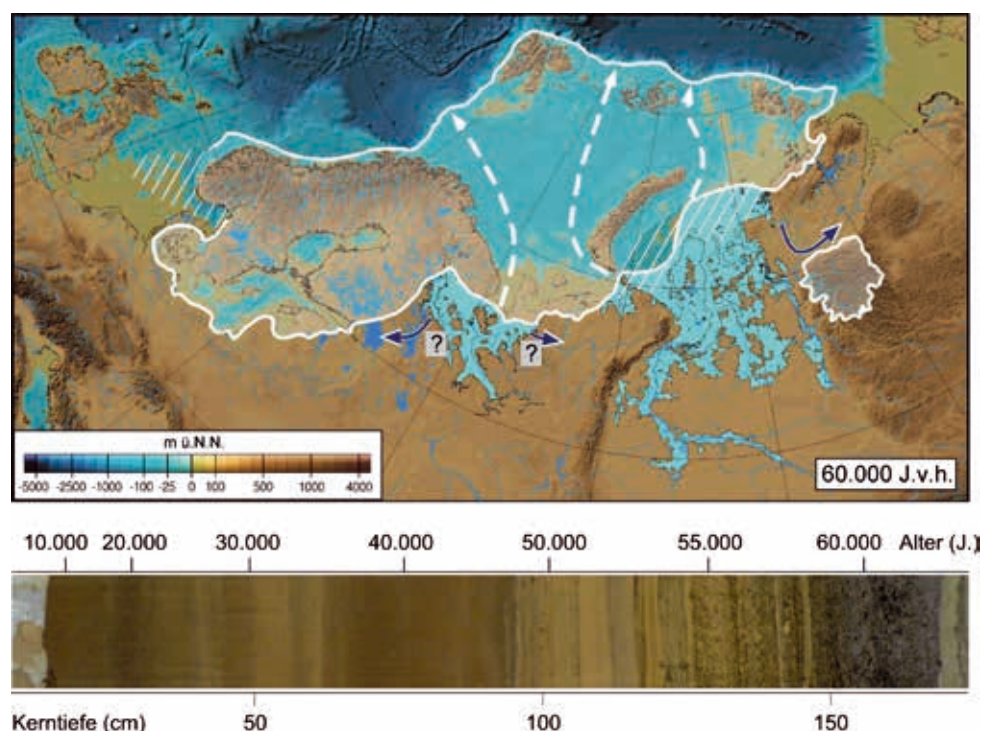
effekt verursachte Temperaturanstieg weitaus stärker wiegt. Nach speziellen Computerszenarien wird bei einem globalen Anstieg um 5 °C die Erwärmung in Westeuropa etwa 1 bis 1,5 °C geringer ausfallen.

Einsetzen der Vereisung der nördlichen Hemisphäre und langfristige Änderungen der sibirischen Flussläufe

Wann die Vereisung der Nordhemisphäre eingesetzt und wie sie sich zeitlich verändert hat, darüber wird seit langem spekuliert. Im Jahre 2004 wurden Tiefseebohrungen in unmittelbarer Nähe des Nordpols vorgenommen, weil ein reflexionsseismisches Profil des Forschungsschiffes „Polarstern“ aus dem Jahre 1991 eine scheinbar ungestörte Sedimentabfolge auf dem Lomonosow-Rücken erkennen ließ. Man hoffte, so die Umweltgeschichte des Nordpolarmeeres in der Erdneuzeit, also während der letzten ca. 66 Millionen Jahre, entziffern zu können. Die gewonnenen Bohrkerne enthielten groben, eistransportierten Gesteinsschutt und belegen damit, dass das Nordpolarmeer vor ca. 48 Millionen Jahren zu vereisen begann – also wesentlich früher, als bisher angenommen. Leider weisen die Schichtabfolgen zwei große Lücken auf, so dass die Frage nach dem Beginn der ganzjährigen Eisbedeckung weiterhin offen bleiben muss.

Unmittelbar vor dem eistransportierten Material sind in den Bohrkernen Sporen des Süßwasserfarms *Azolla* enthalten, der heute in subtropischen

Abb. 4: Oben: Rekonstruktion der Eiskappe über dem nördlichen Eurasien vor ca. 60.000 Jahren mit Ausdehnung der Eisstauseen am südlichen Rand. Schwarze Pfeile bezeichnen die möglichen Abflussrichtungen der Seen. Unten: Sedimentkern aus dem zentralen Arktischen Ozean (ca. 1.000 m Wassertiefe) mit Tiefenskala und Altersangaben. Die dunkle Lage wurde im Ozean während der Zeit maximaler Eisausdehnung an Land abgelagert. Die stark geschichteten Sedimente (Alter: ca. 49.000 bis 58.000 Jahre) wurden während des langsamen Zerfalls der Eismasse und des Süßwasserausstroms aus den Eisstauseen (gestrichelte weiße Pfeile) abgelagert und deuten auf rasch wechselnde Umweltbedingungen im Arktischen Ozean zu dieser Zeit hin.



DIE AUTOREN

Der Geologe und Paläontologe Prof. Dr. Jörn Thiede war bis 2007 Direktor des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung sowie Gründungsdirektor des Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung GEOMAR in Kiel, wo er heute noch tätig ist. Zudem forscht er an der Staatlichen Universität von St. Petersburg. Er ist Mitglied der Akademie der Wissenschaften und der Literatur Mainz, wo er das Vorhaben „Frühwarnsysteme für globale Umweltveränderungen und ihre historische Dokumentation in natürlichen Klimaarchiven“ leitet, das am GEOMAR durchgeführt wird. Dr. Henning Bauch und Dr. Robert Spielhagen sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Forschungsprojekts.

Gebieten vorkommt. Das so genannte Azolla-Event weist den ersten massiven Einstrom von Süßwasser in das Nordpolarmeer nach, ein Ereignis, das eventuell die Bildung einer ganzjährigen Meereisdecke und damit eine generelle Abkühlung der Nordhemisphäre bewirkte. Der Hintergrund für diese Prozesse ist womöglich in Veränderungen der großräumigen plattentektonischen Konfigurationen zu suchen.

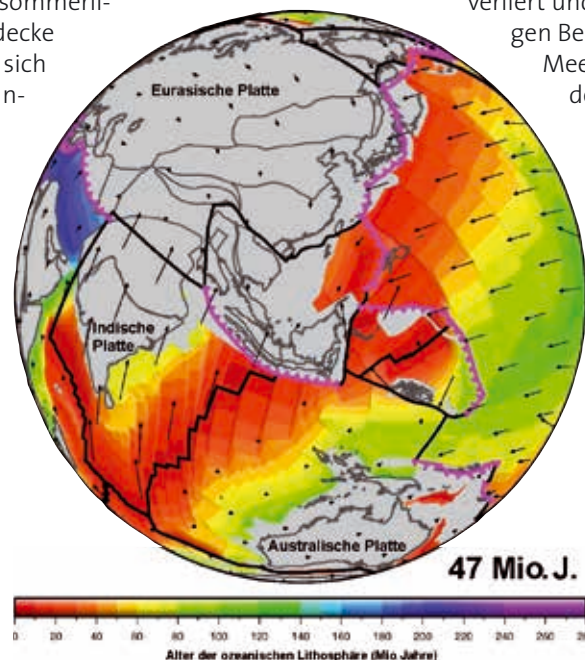
Die Geographie Sibiriens wird durch die großen Stromsysteme gekennzeichnet, die nahezu alle nach Norden in das Nordpolarmeer fließen. Über Geschichte und Entwicklung dieses Abflussmusters ist nur wenig bekannt. Es ist möglich, dass es durch ein plattentektonisches Ereignis stark verändert wurde (Abb. 5), als im Alttertiär der indische Subkontinent seine Wanderung von Süden nach Norden mit der Kollision mit dem südlichen Kontinentalrand der eurasischen Platte beendete und sich die süd- und zentralasiatischen Faltengebirge und Hochplateaus zu bilden begannen. Damals wurde die sibirische Platte so gekippt, dass die großen Flüsse nach Norden strömten und nun dem Nordpolarmeer viel Süßwasser zuführten. Die oberflächliche Wasserschicht verbrackte, und es konnte sich damit leichter eine Meereisdecke ausbilden. Damit hätten die sibirischen Ströme, die heute in das Nordpolarmeer münden, ebenfalls eine lang zurückliegende Entwicklung durchlaufen.

Abschätzbare Entwicklungen in der Zukunft

Wenn die vom IPCC für die nächsten 80 bis 100 Jahre vorhergesagte globale Erwärmung eintritt und damit die sommerliche arktische Meereisdecke verschwindet, würden sich unsere Lebensbedingungen einschneidend verändern, z. T. zum Besseren, z. T. zum Schlechteren:

- Die Existenz der Meereisdecke hat einen nachhaltigen Einfluss auf die Albedo der Nordhemisphäre. Ihr Verschwinden würde die Erwärmung des Nordpolarmeeres und damit die globale Erwärmung nachhaltig beschleunigen.
- Ein zumindest saisonal eisfreies Nordpolarmeer würde dazu führen, dass kommerziell nutzbare marin lebende Ressourcen einwandern, z. B. Fische. Der Preis dafür wäre die Zerstörung der Lebensgrundlagen von Ökosystemen, die an das Vorhandensein von Eis gebunden sind.
- Die Ausbeutung von nicht-lebenden marinen Ressourcen (Rohstoffen) im Nordpolarmeer wäre weniger gefährlich als unter den gegenwärtigen Bedingungen.
- Die Öffnung der nordwestlichen und nordöstlichen Seewege, u. U. auch direkt über das zentrale Nordpolarmeer, würde die Schifffahrtsrouten zwischen Europa und dem Fernen Osten wesentlich verkürzen.
- Die Lebensbedingungen der Gesellschaften in den gemäßigten Breitengraden würden sich wahrscheinlich verbessern, aber die Lebensgrundlage der an die hohen Breitengrade angepassten indigenen Bevölkerungen würde zerstört werden.
- Das Auftauen des Permafrostes würde enorme Mengen von Treibhausgasen freisetzen und eine schwere Störung (oder gar Zerstörung) der technischen Infrastruktur von weiten Gebieten Nord Sibiriens und Nordamerikas bedeuten.

Abb. 5: Plattentektonische Rekonstruktion für das frühe Eozän, vor etwa 47 Millionen Jahren, als der indische Subkontinent den südlichen Kontinentalrand Eurasiens erreichte. Das Alter der Ozeanböden (in Millionen Jahren) ist über den Farbcode (unten) ablesbar. Die schwarzen Linien in den Ozeanen zeigen die Lage der damaligen Plattengrenzen.



Alle Beobachtungen deuten darauf hin, dass der grönländische Eisschild schnell an Masse verliert und damit einen wichtigen Beitrag zum weltweiten Meeresspiegelanstieg von derzeit etwas mehr als 3 mm pro Jahr leistet. Bei weiterer Destabilisierung der Eisschilde auf Grönland und in der Antarktis könnte der Meeresspiegel auch kurzfristig um mehrere Dezimeter bis Meter steigen, mit dramatischen Konsequenzen für die Weltbevölkerung. ■



Hochwasser im Ötztal bei Umhausen während des Alpenhochwassers am 23. August 2005.



Das niederbayerische Deggen-dorf an der Donau nach der Flut am 13. Juni 2013.

Hydrologie und Meteorologie

Hochwasser aus den Alpen

Mit zerstörerischer Kraft schießt Wasser immer wieder aus Europas zentralem Gebirge und richtet enorme Schäden in den Anrainerstaaten an. Welche Rolle spielen die Alpen selbst bei der Entstehung solcher Hochwasserkatastrophen, und was kann man dagegen tun?

VON MARKUS WEBER UND LUDWIG BRAUN

VIELE LESERINNEN und Leser dürften sich an die Bilder des letzten Frühsommers 2013 erinnern, sei es aus eigener Anschauung oder aber aus den Fernsehnachrichten: lehmig braune Fluten fast bis an den Horizont, mittendrin Hausdächer wie Boote im See, Sandsäcke, verzweifelte Anwohner vor den Resten ihres mit Schlamm bedeckten Hausstandes ...

Dabei nahm die Katastrophe wie so oft eigentlich eher unspektakulär ihren Anfang: Nach einem ungewöhnlich nassen Frühjahr begann es Ende Mai entsprechend der Prognosen der Wetterdienste entlang der Alpennordseite wieder einmal zu regnen. Zwar wurden in den Wetternachrichten energische Warnungen vor einer so genannten Vb-Wetterlage mit extremen Niederschlägen besonders an den Alpen ausgegeben, aber es schien im Alpenvorland niemand besonders beunruhigt, denn die wenigsten Bayern wohnen an großen Flüssen. In München fielen allein am 2. Juni im Stadtzentrum 65 l Regen pro Quadratmeter (das entspricht einer Niederschlagshöhe von 65 mm) bei gerade einmal knapp zweistelligen Temperaturen. Das war zu kalt für die Jahreszeit, die Regenmenge aber gut die Hälfte dessen, was sonst im ganzen Monat Mai oder Juni fällt. Auch in den Tagen davor herrschte eine wenig sommerliche Witterung, es regnete in der Summe weitere 50 mm.

Direkt am Nordrand der Alpen fiel noch mehr Regen: 259 mm wurden vom 29. Mai bis zum 3. Juni in Salzburg registriert, 403 mm waren es in Aschau im Chiemgau. Zeitgleich begannen die Pegel der Flüsse zu steigen. Am Abend des 3. Juni erreichte die Scheitelwelle des Donau-

Hochwassers am Pegel Passau das Allzeithoch von 12,89 m, entstanden durch die Flutwelle des Inn. In der Folge wurden im Stadtgebiet 1.186 Gebäude überflutet, der Schaden wurde allein in Passau mit 190 Millionen Euro beziffert, bayernweit sogar mit 1,3 Milliarden Euro. Betroffen waren neben Deutschland insgesamt acht mitteleuropäische Länder, darunter Alpenanrainer wie Österreich, die Schweiz oder die Slowakei. Insgesamt waren 25 Todesopfer zu beklagen. Damit reiht sich das Hochwasser vom Sommer 2013 in die Serie der „Jahrhunderthochwasser“ im Alpenraum ein, nur noch übertroffen von dem Ereignis vom 15. August 1501.

Hochwasser im Alpenraum seit 1954

Hochwasser sind dem Namen nach ein meist natürliches Phänomen, bei dem der Wasserstand im Gerinne vorübergehend über dem Durchschnitt liegt. Wird dabei die Transportkapazität des Gewässerlaufs überschritten, kommt es zur Ausuferung und damit häufig in der näheren Umgebung des Wasserlaufs zu beachtlichen privat- und volkswirtschaftlichen Schäden. Wo und weshalb diese eintreten, ergibt sich meist als Folge eines sehr komplexen Zusammenspiels mehrerer Faktoren. Zu nennen wären in erster Linie die herrschende Witterung, die Füllstände und Kapazitäten der vorhandenen natürlichen und künstlichen Wasserspeicher sowie die Beschaffenheit der Gerinne. Menschliche Eingriffe in das System (z. B. Versiegelung und Wasserbaumaßnahmen) haben auch einen beachtlichen Einfluss und führen gegebenenfalls zu einer höheren oder geringeren Hochwasserneigung.

Gebirgsketten wie die Alpen spielen in diesem Mechanismus eine besondere Rolle. Sie beeinflussen einerseits direkt das Wetter und fördern die Niederschlagsbildung, geben aber andererseits das gesammelte Wasser wegen der Höhenunterschiede rasch in die engen Täler ab und produzieren dabei gegenüber dem Flachland hohe und schnelle Abflüsse mit teilweise zerstörerischer Kraft. Diese weiß die Energiewirtschaft schon seit längerer Zeit zu nutzen. Ereignen sich dabei Unfälle, wie beispielsweise der Bruch der Malpasset-Staumauer bei Fréjus (Frankreich) am 2. Dezember 1959 oder der des Tesero-

Die Dreiflüssestadt Passau nach der Flut am 13. Juni 2013.



Hochwasserereignisse im Alpenraum seit 1954

Datum	Region	Auslöser und Klassifikation der Wetterlage	Regenmenge / Zeit	Opfer	Schadensvolumen	Bemerkung
11.5. – 18.5.2014	Balkan	Starkregen, Vb	120 mm in 24 h	>44	k. A.	Auswirkungen im Alpenraum gemildert wegen Absinken der Schneegrenze, atypisch langsam für eine Vb-Wetterlage
31.5. – 2.6.2013	Mitteleuropa	Starkregen, Vb	403 mm in 96 h	>25	6,68 Mrd. € (Deutschland)	„Jahrhunderthochwasser“, großräumig
4.11. – 8.11.2011	Nordwestitalien, Südfrankreich	Starkregen, Genuatief	600 mm in 72 h	11	0,8 Mrd. €	Hochwasser südlich des Alpenhauptkammes
30.6.2011	München (West)	Starkregen, Gewitter	90 mm in 1 h	0	k. A.	Sehr lokales Ereignis
19.6. – 29.6.2009	Mitteleuropa	Starkregen, Va/b	207 mm in 48 h	k. A.	0,1 Mrd. €	In Deutschland an Isar und Inn, Donau ab Passau betroffen
9.8.2007	Schweiz, Österreich	Starkregen, Gewitter	45 mm in 1 h	k. A.	96 Mio. €	Regionales Ereignis
20.8. – 23.8.2005	Ostalpenraum, Süddeutschland, Balkan	Starkregen, Vb	286 mm in 48 h	>30	3 Mrd. €	„Alpenhochwasser“
6.8. – 13.8.2002	Mitteleuropa, Alpenraum	Starkregen, Vb	300 mm in 24 h	>45	15 Mrd. €	Mehrere aufeinanderfolgende Hochwasserereignisse
20.5. – 22.5.1999	Bayern	Nordstau + Schneeschmelze	180 mm in 72 h	5	345 Mio. €	Bekannt als „Pfungsthochwasser“
4.8.1998	Vernagtbach, Österreich	Starkregen, Gewitter + Eisschmelze	20 mm in 1 h	0	k. A.	Sehr lokales Ereignis
4.8. – 8.8.1997	Österreich	Starkregen, Vb	k. A.	9	3 Mrd. €	„Großer Regen“ (zuvor im Juli in Deutschland „Oderflut“)
Juli 1994	Niederösterreich, Bisamberg	Starkregen, Gewitter	45 mm in 3 h	1	Millionenschäden	Lokales Ereignis
31.7. – 5.8.1991	Donauraum, Salzach, Inn, Enns	Starkregen, Vb	60 mm in 36 h	6	72,7 Mio. €	Schwerstes Hochwasser seit 1954
25.8.1987	Ötztal, Österreich	Starkregen + Eis-/Schneeschmelze	100 mm in 72 h	13	200 Mio. €	Aufgleitniederschläge aus Südwesten, danach Ausbau des Hochwasserschutzes
31.8. – 4.9.1965	Kärnten, Osttirol	Starkregen, Vb, Schneeschmelze	181 mm in 48 h	2	43 Mio. €	Mehrere aufeinanderfolgende Hochwasserereignisse
4.7. – 11.7.1954	Bayern, Österreich	Starkregen, Höhentief + Vb	400 mm in 96 h	12	120 Mio. €	„Jahrhunderthochwasser“, Absinken der Schneegrenze auf 600 m

Dammes in Südtirol am 19. Juli 1985, kommt es für die Anrainer zu einer Hochwasserkatastrophe ungeheuren Ausmaßes. Aber derartige Ereignisse sind zumindest in Europa bislang eher selten und lokal begrenzt geblieben. Sie stellen damit keine umfassende Bedrohung für die Mehrzahl der Bewohner in und um die Alpen dar.

Das Bedrohungspotential durch ein natürliches Hochwasser ist dagegen selbst in einigem Abstand von den Alpen erfahrungsgemäß ungleich höher. Die Tabelle auf Seite 61 listet chronologisch Ereignisse unterschiedlichen Ausmaßes im Bereich der Ostalpen und dem Alpenvorland seit 1954 zum Zwecke der Ursachenforschung auf. Die Liste stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und eignet sich daher auch nicht dazu, zu untersuchen, ob sich die Häufigkeit solcher Ereignisse verändert. Soweit verfügbar, dienen

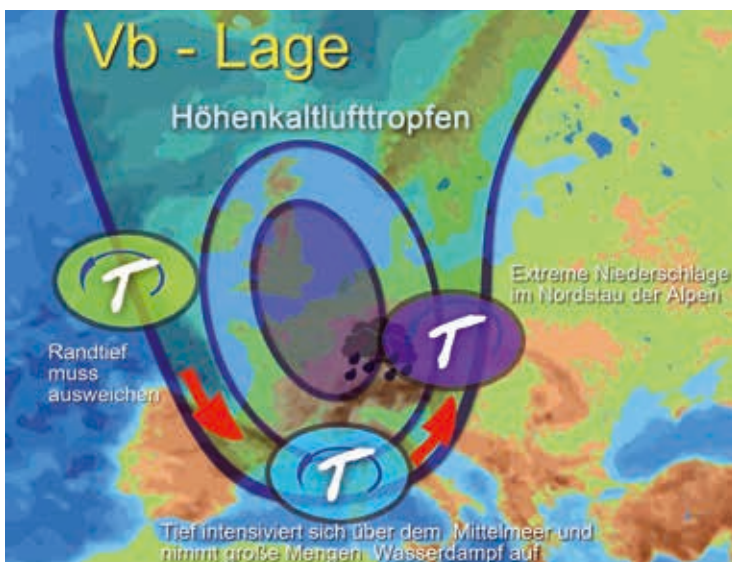


Die Alpen als Wetterküche

Allen Ereignissen in der Tabelle ist gemeinsam, dass sie ausschließlich im Sommerhalbjahr in Verbindung mit einer Wetterlage mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen auftraten. Sie lassen sich ihrer Ursache nach grob in drei Gruppen unterteilen:

- Am häufigsten sind Hochwasser im Einzugsgebiet der oberen Donau und des Inns nach flächendeckendem, mehrere Tage andauernden Niederschlag, ausgelöst durch großräumige Hebungsprozesse mit Stauregen und Gewitterlinien (z. B. Hochwasser 1954, 1991, 2005, 2013).
- Sehr viel seltener entammt das Wasser einer vermehrten Schneeschmelze nach großräumigem Regen in eine mächtige durchnässte Schneedecke (Pfungsthochwasser 1999, Ötztal 1987).
- Gelegentlich ereignen sich kleinräumige Hochwasser innerhalb der Alpen durch lokale Starkregenfälle, sehr selten auch in Überlagerung mit der Abflusswelle der zuvor gebildeten Eisschmelze von Gletschern.

Die erste Gruppe von Hochwassern ist eng mit dem meteorologischen Begriff der Vb-Wetterlage verbunden. Dieser geht auf den Meteorologen Wilhelm Jacob van Beber (1841–1909) zurück, der 1891 in der „Meteorologischen Zeitschrift“ eine Typologie der Zugbahnen von Tiefdruckgebieten in Europa als Hilfsmittel für die Wettervorhersage veröffentlichte. Im Zeitalter der numerischen Prognose wurde diese praktisch bedeutungslos, verlagern sich doch



Schematischer Ablauf einer Vb-Wetterlage in Mitteleuropa.

die Angaben über die Zahl der Opfer und die Bezifferung des materiellen Schadens als Bewertungskriterium für die Schwere der Katastrophe, wenn sich auch im Laufe der Zeit das Gefährdungspotential geändert haben mag.

Die Altstadt von Passau wurde demnach in der Vergangenheit sehr häufig überschwemmt. Dies hängt nicht zuletzt mit ihrer Lage am Zusammenfluss der Donau mit zwei weiteren Flüssen zusammen, wobei das Einzugsgebiet des größeren davon – des Inn – weit in die Alpen reicht. Kommt es großräumig im Raum Donau-Inn zu einem Flutereignis, ist in der Regel auch die Region um Passau davon betroffen.



die wetterbestimmenden Störungen im Bodendruckfeld (Zyklone) mit der Höhenströmung der Troposphäre und unterliegen somit keinem erkennbaren Ordnungsprinzip.

Eine Ausnahme bildet jedoch die von Bebbert mit Vb klassifizierte Zugbahn von der Adria über den Rand des östlichen Alpenbogens nach Norden. Nimmt ein Tiefdruckgebiet ungefähr diese Route, spricht man auch heute noch von einer Vb-Wetterlage als Ausdruck einer gewissen Reproduzierbarkeit. Voraussetzung für deren Entstehung ist jedoch zunächst, dass sehr kalte Luft in den oberen Schichten der Atmosphäre nach Mitteleuropa bis zu den Alpen fließt: Es bildet sich ein ortsfester „Höhenkaltlufttropfen“ (Abb. S. 62). Dieser produziert schon allein durch seine sehr labile thermodynamische Schichtung in der Höhe Schauer- und Gewitterwolken, sofern nur genügend Nachschub an feuchter Luft in tieferen Schichten erfolgt. Eine derartige Wetterlage ist meist schon der Garant für instabiles Wetter im Alpenraum, in dessen Verlauf örtlich mit Unwetter und Starkregen zu rechnen ist.

Bei der klassischen Vb-Wetterlage findet aber zusätzlich eine Wechselwirkung der unteren mit den oberen Schichten der Atmosphäre statt. Bildet sich auf der Westseite der Höhenkaltluft eine schwache zyklonale Störung (ein bodennahes Tiefdruckgebiet), so wird diese durch den Kaltlufttropfen gezwungen, nach Süden in

das Mittelmeer auszuweichen. Dabei kommen erstmals die Alpen als Hindernis ins Spiel: Beim Überqueren wird der horizontal gelagerte Luftwirbel durch die Erhebungen der Alpen vertikal gestaucht. Wegen des so genannten Pirouetten-Effektes intensiviert sich in der Folge die gegen den Uhrzeigersinn gerichtete Drehbewegung. Über dem warmen Golf von Genua und der Adria wird die Zyklone dann mit großen Mengen Wasserdampf beladen und anschließend entlang der Ostflanke der Höhenkaltluft wieder nach Norden geführt.

In dieser Phase kann das Vb-Wettertief zur Höchstform auflaufen: Erneut intensiviert, schiebt es unablässig feuchte Luftmassen gegen die Nordseite der Alpen. Diese werden am Alpenrand zum Aufsteigen gezwungen und bilden dadurch hochreichende Bewölkung in der Höhenkaltluft, welche wiederum ihre unheilvolle nasse Fracht über dem Alpenvorland entlädt. Eine solche Wetterkonstellation ist erstaunlich stabil, so dass die ergiebigen Niederschläge über Tage andauern können, bis sich die Struktur endlich wieder auflöst. 1954 oder 2013 ergoss sich auf das Einzugsgebiet des Inns innerhalb von vier Tagen eine Wassermenge, mit der man den Starnberger See zweimal hätte füllen können. Normalerweise verschwindet ein beträchtlicher Anteil des Wassers zunächst im Bodenspeicher. Sind die Böden jedoch nach einem vorangegangenen nassen Witterungsabschnitt gesättigt oder großflächig versiegelt, fließt das Wasser fast vollständig über das nächstgelegene Gerinne ab. Darin bilden sich dann die gefürchteten Hochwasserwellen, die mit Verzögerung flussabwärts laufen und sich an Mündungsverzweigungen wie bei Passau ungünstig überlagern können. Der Scheitel des Hochwassers tritt üblicherweise erst einige Tage nach dem Einsetzen der Niederschläge ein. So mag es eine Ironie des Schicksals gewesen sein, dass dieselbe Wetterlage, die am 4. Juli 1954 maßgeblich zum Sieg der deutschen Fußballnationalmannschaft bei der Weltmeisterschaft in Bern beigetragen haben soll, wenige Tage später Bayern und Österreich ein Jahrhunderthochwasser bescherte.

Ein natürlicher Schutzmechanismus der Alpen gegen Hochwasser

Innerhalb der Alpen können die Auswirkungen einer Vb-Wetterlage zum Alpenhauptkamm hin deutlich entschärft werden, wenn durch den charakteristischen Temperatursturz zu Beginn die Schneegrenze erst einmal bis in die Täler absinkt. Dann fällt der Niederschlag in den höheren Lagen überwiegend als Schnee, und dieser muss erst wieder geschmolzen werden, bevor er

Überschwemmung in Umhausen während des Alpenhochwassers am 23. August 2005.

DIE AUTOREN

Dr. Markus Weber ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für Erdmessung und Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er ist dort in der Abteilung Glaziologie zuständig für den Bereich Meteorologie und hat das Projekt GLOWA-Danube betreut. Dr. Ludwig Braun ist wissenschaftlicher Leiter der Abteilung Glaziologie, sein Forschungsschwerpunkt ist die Hydrologie.

zum Abfluss beiträgt. Auch die Eisschmelze auf Gletschern, die üblicherweise während Strahlungswetterlagen im August am größten ist, wird durch den Temperatursturz augenblicklich unterbunden. Dieser als eine Art Selbstsicherung im Hochgebirge wirkende Mechanismus hat in einigen Fällen eine Hochwasserkatastrophe im Alpenraum verhindert, so zuletzt im Mai 2014, als sich ein Adria-Tief zum Glück für die Bewohner in Bayern ungewöhnlich langsam nach Norden verlagerte, dafür aber den Balkanländern die Katastrophe brachte.

In der Regel hilft dieser Mechanismus aber nur kurzzeitig, denn die Schneegrenze steigt unvermeidlich wieder an, wenn die Kaltfront vorübergezogen ist. Dann wird die Schneeschmelze durch Regen auf die Schneedecke sogar noch gefördert. Die rasche Erwärmung des gesamten Schneepaketes auf den Schmelzpunkt bietet die ideale Voraussetzung dafür, dass der Schnee sehr effizient geschmolzen werden kann. Regen ist daher der klassische „Schneefresser“, auch im Tiefland. Besonders in Jahren mit einem schneereichen Winter stellen Vb-Wetterlagen im Frühjahr somit eine weitere potentielle Gefahr für Hochwasser dar, wobei der Abfluss nicht allein aus dem Regen, sondern zusätzlich auch aus der Schneeschmelze resultiert. Ein typisches Beispiel war das Pfingsthochwasser im Mai 1999, bei dem die spontan einsetzende Schneeschmelze im Alpenraum einen erheblichen Beitrag zur Katastrophe leistete.

Auf ähnliche Weise kann auch eine sommerliche Schneeaufgabe auf Gletschern zu einem Problem werden. Eindrucksvoll demonstriert dies das Beispiel der Überflutung des Ötztals im August 1987 nach intensiven Aufgleitniederschlägen aus Südwesten.

Muss man zukünftig mit mehr Hochwassern rechnen?

Ob Hochwasser im Rahmen des Klimawandels häufiger und intensiver werden, ist unter den Hydrologen umstritten. Zu komplex sind die Zusammenhänge und noch zu unsicher die Details der Klimaprognosen, als dass hierzu klare Aussagen möglich wären. Prinzipiell wäre eine Zunahme des Hochwasserpotentials physikalisch allein auf Grund der positiven Rückkopplung zwischen der Temperatur und dem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre plausibel. Andererseits deutet die Erfahrung der jüngeren Vergangenheit eher darauf hin, dass



die Entwicklung der großräumigen Wetterlage zusammen mit einigen mehr oder weniger zufälligen Faktoren für die lokale Ausprägung der Katastrophen verantwortlich war.

Deshalb ist es wenig verwunderlich, dass auch eine im Rahmen des Verbundprojekts GLOWA-Danube durchgeführte Untersuchung, in der das Zusammenwirken relativ vieler der angesprochenen Faktoren in einem komplexen Rechenmodell berücksichtigt wurde, für die nächsten 50 Jahre keinen eindeutigen Trend zu mehr Hochwassern im Einzugsgebiet der oberen Donau zeigt. Die Ergebnisse lassen für den Pegel Achleiten bei Passau nicht auf signifikante Änderungen der Hochwasserspitzen unter der Bedingung eines wärmeren Klimas schließen. In den Alpentälern und Kopfeinzugsgebieten dagegen muss mit einer Erhöhung der Abflüsse bis zum Faktor drei gerechnet werden, hervorgerufen durch die Veränderung der Niederschlagsart in den alpinen Regionen und der damit verbundenen Reduzierung des Schneespeichers.

Tatsächlich sind die Ansprüche an die Detailliertheit der Szenarien für die prozessbasierte Analyse des Hochwasserpotentials sehr hoch. Das Projekt GLOWA-Danube konnte diese auf Grund der angewandten Methodik nur eingeschränkt erfüllen. Die Hochwasserneigung wird über längere Wetter- und Witterungsabschnitte geprägt, die in den Szenarien realistisch wiedergegeben werden müssen. Dazu gehört die wichtige Frage, ob die Häufigkeit von Vb-Wetterlagen unter einem wärmeren Klima zu- oder abnimmt, und wie die zeitliche Abfolge sein wird.



Derzeit existiert noch keine deterministische Lösung, um diese Fragen zu beantworten. Eine neuere empirisch-statistische Untersuchung aus der Schweiz, die auf der Rekonstruktion von 842 Hochwasserereignissen im Alpenraum während der letzten 2.500 Jahren basiert, kommt allerdings zu der interessanten Erkenntnis, dass Flutkatastrophen häufiger in vergleichsweise kühlen Sommern stattfanden. Da die Klimawissenschaftler im Verlauf des anthropogenen Klimawandels mit einer Häufung heißer Sommer rechnen, kann man also davon ausgehen, dass Hochwasser wegen Vb-Wetterlagen künftig seltener auftreten. Allerdings kann die Studie im Gegensatz zu GLOWA-Danube keine Aussage zur Intensität der Ereignisse machen. Extremere Hochwasserkatastrophen können folglich nicht ausgeschlossen werden.

Kann man Hochwasser im Alpenraum vorbeugen?

Auch wenn die Wissenschaft derzeit noch keine exakten Vorhersagen machen kann, sollte man nicht verkennen, dass die Wetterprognose mittlerweile erheblich genauer geworden ist. Dies gilt insbesondere für die regionale Mittelfristvorhersage über einen Zeitraum bis zu einer Woche, welche die Entwicklung von Vb-Wetterlagen inklusive der zu erwartenden Niederschlagsmengen in den letzten Jahren sehr gut benennen konnte. Es fehlte auch nicht an Warnhinweisen.

Kann man einer Hochwasserkatastrophe also mit technischen Mitteln begegnen? Zweifellos wird man das Wetter selbst nicht beeinflussen

können, und die Mittel für einen wirksamen Hochwasserschutz sind beschränkt. Aber die Stadt München an der Isar zeigt, was möglich ist: Nach dem Ausbau des Sylvensteinspeichers verfügt die Isar für ihr Einzugsgebiet von 1.138 km² im Karwendelgebirge über ein zusätzliches Speichervolumen von 124 Mio. m³. Dieses kann einen flächendeckenden Niederschlag von 100 mm auffangen. Dank der Vorhersagen konnte der Speicher in der Vergangenheit mehrfach rechtzeitig abgelassen und damit die Stadt München erfolgreich vor zu hohen Wasserständen der Isar geschützt werden.

Im Bereich der Donau und des Inn sind zwar die erforderlichen Speicherkapazitäten für ein umfassendes Hochwassermanagement noch nicht verfügbar, es wäre aber zumindest theoretisch möglich, durch mehr Speichervolumen die ganz großen Katastrophen abzumildern.

Im Gegensatz dazu scheint es geradezu unmöglich, die Überschwemmung von Kellern nach einem lokalen Gewitterregen zu verhindern. Überschreitet die Intensität eines Starkregens innerhalb einer Stunde die Schwelle von 30 bis 50 mm, wird die Abflusskanalisation üblicherweise überfordert. Gleichzeitig ist die Kurzfristprognose solcher Ereignisse noch völlig unbefriedigend. In den Wettermodellen fallen lokale Gewitter durch das Modellraster, und die mit moderner Satelliten- und Radartechnologie präsentierte Detailgenauigkeit im Internet trügt, denn es handelt sich dabei nicht um eine Vorausschau, sondern um eine Nachschau des Ereignisses: Der Schauer wird erst angezeigt, nachdem er bereits eingesetzt hat. Noch ungenauer ist die Methodik im Gebirge, denn das Radar benötigt eine direkte Sichtverbindung mit dem Objekt, welche in vielen Alpentälern bei der gegenwärtigen Abdeckung mit Niederschlagsradargeräten gar nicht gewährleistet ist. Insofern wird immer ein nicht unerhebliches Restrisiko verbleiben, doch noch nasse Füße zu bekommen ... ■

**Schwere Unwetterfront
am Flughafen Innsbruck,
20. Juli 1985.**

Literatur und WWW

L. Braun, M. Weber, Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher?, in: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie (≈ Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 24), S. 47–66, München 2002.

L. Glur et al., Frequent floods in the European Alps coincide with cooler periods of the past 2500 years, in: Scientific Reports article no.: 2770, doi:10.1038/srep02770, 2013.

GLOWA Danube-Projekt: www.glowa-danube.de

Klimawandel und Trinkwasser- versorgung – Ergebnisse der Langzeitforschung an Talsperren

Die Klimaerwärmung ist heute in aller Munde und damit auch die Frage, ob es denn künftig genug Wasser geben wird. Doch die Sorge um mengenmäßig ausreichendes Trinkwasser ist nur eine Seite des Problems. Auch die Qualität unseres wichtigsten Lebensmittels ist zunehmend durch den Klimawandel bedroht.

VON HEIDEMARIE HORN, WOLFGANG HORN, KERSTIN RÖSKE UND ISOLDE RÖSKE

SOMMER 2002: Ein Hochwasser ungewöhnlichen Ausmaßes überflutet auch die Talsperre Saidenbach im sächsischen Erzgebirge, die den Großraum Chemnitz mit Trinkwasser versorgt. Innerhalb weniger Tage ergießen sich mehr als 25 Prozent des normalen Jahreszuflusses in den Stausee und das Sechs- bzw. Elffache der üblichen Phosphor- und Partikelmengen werden hineingespült, gefährden die Qualität des Rohwassers und erfordern von den Wasserwerkern höchsten Einsatz.

Sommer 2003: Der Wasserspiegel der Talsperre sinkt unaufhörlich. Nach monatelanger Trockenheit liegt er am Jahresende 14 Meter unter dem Hochwasserüberlauf, und die Talsperre besitzt nur noch 33 Prozent ihres möglichen Wasservolumens. Nährstoffe und Planktonorganismen, also kleinste Algen, Tiere und Bakterien, akkumulieren sich im immer enger werdenden Stauraum, das kühle, saubere Tiefenwasser schrumpft zu einem kleinen Rest am Beckengrund zusammen. Ein ganzes Jahr wird es dauern, bis das Stauziel erreicht und die Talsperre endlich wieder voll ist.

Sind das wirklich nur Ausnahmen, so genannte Jahrhundertereignisse? Das Hochwasser 2002 war das dritte innerhalb von elf Jahren im Erzgebirge und wiederholte sich 2013 mit beinahe gleicher Intensität. Auch Trockenheit und starke

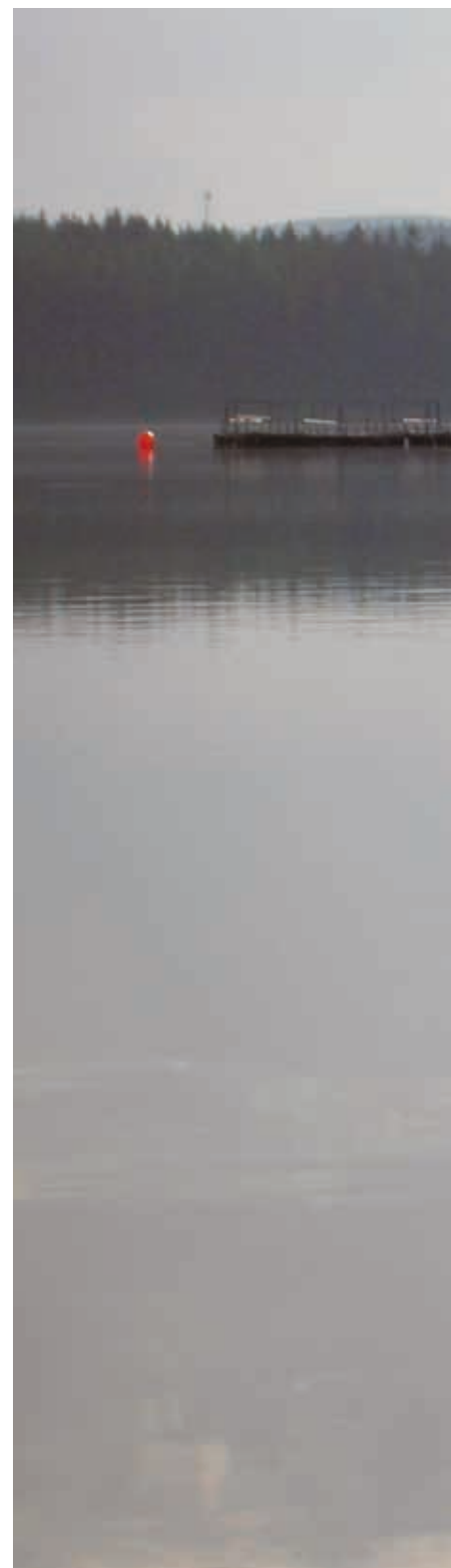


ABB. W. HORN

Die Talsperre Saldenbach im sächsischen Erzgebirge.



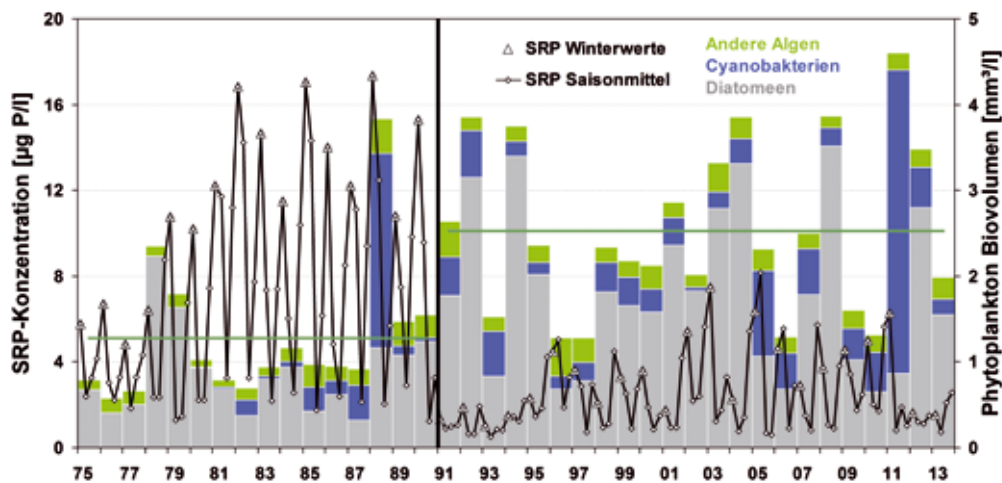


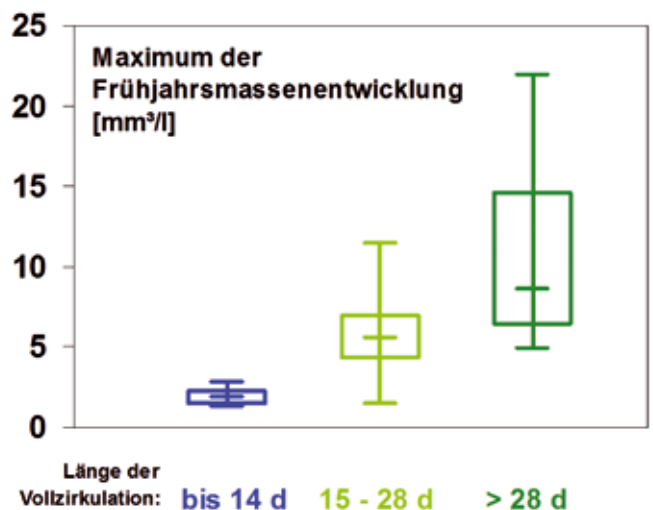
Abb. 1: Die mittleren saisonalen Freiwasserkonzentrationen des Orthophosphates (SRP) sowie die Jahresmittel der zwei wichtigsten Phytoplanktongruppen der Talsperre Saidenbach seit 1975. Für das Orthophosphat wurde für jede „Jahreszeit“, d. h. für die Zeit der Eisbedeckung (= Winterwert), der Frühjahrsvollzirkulation, der Sommerschichtung und der Herbstvollzirkulation, ein Saisonmittel berechnet. Die Winterwerte, beim SRP in der Regel die höchsten im Jahr, wurden besonders gekennzeichnet. Die grünen, waagerechten Linien geben das langjährige Mittel des Phytoplanktons vor und nach 1990 an. Die Untersuchungen erfolgten bis 1985 wöchentlich, danach im zweiwöchigen Abstand.

Stauspiegelabsenkung machten 2011 den Talsperrenbetreibern wieder sehr zu schaffen. Und doch sind das nur die (noch immer) seltenen Extremereignisse. Daneben, schleichend und selbst für den Fachmann schwer von den normalen, zwischenjährlichen Schwankungen abzugrenzen, schlagen sich die Änderungen im Klima aber auch langfristig auf die Beschaffenheit unseres Trinkwassers nieder. Eine Arbeitsgruppe der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig untersucht seit 1975 die Auswirkungen natürlicher und menschlicher Einflüsse auf die biotische Struktur von Stauseen, deren Eigenschaften wichtige Kriterien der Wassergüte darstellen. Mit der dabei gewonnenen, auf Grund ihrer zeitlichen Länge, Kontinuität und Umfassenheit weltweit außergewöhnlichen Datenreihe kommt sie zu unerwarteten Ergebnissen.

Nährstoffrückgang und Phytoplanktonzunahme – ein Widerspruch?

Im Wasser ist es wie auf dem Feld: Es kann nur so viel wachsen, wie die Menge des vorhandenen Nährstoffes es zulässt. In Saidenbach, wie in den meisten Gewässern Mitteleuropas, begrenzt fast ausschließlich der Phosphor das Wachstum des Phytoplanktons. Obwohl er pro Liter nur in Mikrogrammmengen vorkommt, war seine Konzentration doch bis Ende der 1980er Jahre so hoch, dass die Talsperre nach her-

Abb. 2: Solange noch Nährstoffe vorhanden sind, ist das Maximum der Frühjahrsmassenentwicklung des Phytoplanktons (erfasst als über die gesamte Tiefe gemittelte Biovolumenkonzentration) in der Talsperre Saidenbach davon abhängig, wie lange die Frühjahrsvollzirkulation dauert.



kömmlichen Modellen als eutroph – also hochproduktiv – eingestuft wurde. Mit diesen Phosphormengen ergaben sich zwischen 1975 und 1990 im Mittel Konzentrationen von 1,3 mm³ Phytoplankton-Biovolumen pro Liter (Abb. 1). Dieser niedrig erscheinende Wert darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass bei Massenentwicklungen durchaus mehr als 30 mm³ Algenbiovolumen pro Liter Rohwasser in Einzeltiefen auftreten können.

Mit der Wiedervereinigung wurden ab Sommer 1990 alle phosphorhaltigen Waschmittel durch phosphorfremde ersetzt – mit der Konsequenz,

dass die Phosphorkonzentration im Talsperrenwasser plötzlich um ca. 60 Prozent zurückging (Abb. 1). Theoretisch wurde die Talsperre dadurch mesotroph. Paradoxerweise verringerte sich jedoch die Algenproduktion keineswegs – im Gegenteil: von 1991 bis 2013 wurden durchschnittlich 2,5 mm³ Phytoplankton pro Liter beobachtet (Abb. 1), also fast das Doppelte!

Milde Winter verlängern das Frühjahrswachstum

Diese Erhöhung des Jahresmittels wurde vor allem durch verstärkte Frühjahrsmassenentwicklungen verursacht. Diese treten unmittelbar nach Eisauflauf während der so genannten Frühjahrs-Vollzirkulation auf, einer Zeit tiefer Durchmischungen, wenn sich die inverse, winterliche Temperaturschichtung des Wassers auflöst. Akteure dieser Frühjahrsblüte sind stets schwere, d. h. Turbulenz bedürftige Kieselalgen (Diatomeen). Sie reichern sich mit allem während der

Winterzeit nicht genutzten Phosphor an und beginnen ihr Wachstum, sobald das Licht ungehindert vom Eis wieder ins Wasser dringt. Weil die Temperaturen bei nur etwa 4 °C liegen und das Lichtangebot noch immer sehr gering ist, wachsen sie aber nur langsam. Es dauert sechs bis sieben Tage, ehe sich die Population verdoppelt. Mit Einsetzen der Sommerschichtung lässt dann die Turbulenz des Wassers drastisch nach, und die Diatomeen sinken rasch zu Boden. Der bis dahin noch nicht für das Wachstum genutzte Phosphor im Zellinneren wird mit ins Sediment genommen und somit produktionsunwirksam.

Gleichzeitig mit der Phosphorabnahme ab 1990 begann europaweit eine Serie besonders milder Winter. Die Talsperre war deutlich kürzer mit Eis bedeckt, was zu längeren Vollzirkulationen führte – praktisch also eine Verlängerung des Frühjahrs auf Kosten des Winters. Dadurch konnte in diesen Jahren der in den Algen gespeicherte Phosphor vollständig in Biomasse umgesetzt und das vorhandene Nährstoffpotential ganz ausgenutzt werden. So kam es zu erhöhten Phytoplanktonkonzentrationen (Abb. 2).

Heiße Sommer fördern das Cyanobakterienwachstum

Obwohl das Phosphorangebot nun im Sommer deutlich geringer ist, kommt es auch in dieser Zeit zu keinem Rückgang der Phytoplanktonmenge. Zwar tritt die Kieselalge *Fragilaria crotonensis*, die bis 1990 im Hochsommer vorherrschte und an episodisch auftretende Teilzirkulationen gut angepasst ist, deutlich seltener auf. Der Grund dafür sind neben dem geringeren Phosphorangebot auch die höheren Oberflächentemperaturen und größere Temperaturgradienten zwischen Oberfläche und Grund, die die Wasserstabilität deutlich erhöhen, so dass durch verstärkte Sedimentation deren Massenaufkommen verhindert wird. Das verschaffte aber zugleich den Cyanobakterien einen Konkurrenzvorteil: Sie treten nun verstärkt auf, und in vielen Jahren nach 1990 fällt ihre Biomasse höher aus als zuvor (Abb. 3). Diese früher als

Blaualggen bezeichneten Prokaryoten werden traditionell und funktionell zum Phytoplankton gestellt. Sie gehören zu den ältesten noch existierenden Organismen auf der Erde und demonstrieren damit ihre hohe Anpassungsfähigkeit, getragen auch von der Vielzahl an Arten, die sie umfassen. Alle zusammen kennzeichnen einige gemeinsame Eigenschaften, die ihnen insbesondere unter den Bedingungen der Eutrophierung und Klimaerwärmung Vorteile verschaffen, so z. B. ihre Vorliebe für warme und stabil geschichtete Gewässer. Bei Wassertemperaturen deutlich über 20 °C wachsen sie generell schneller als die meisten eukaryotischen Algen. Obwohl sie

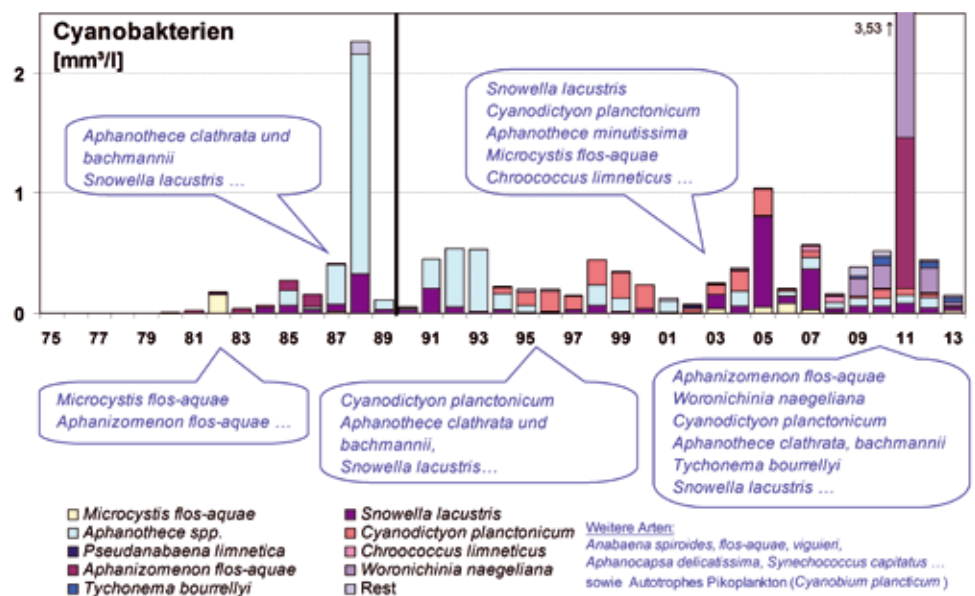


Abb. 3: Die qualitativen und quantitativen Veränderungen der Cyanobakteriengemeinschaft (Jahresmittel des Biovolumens der dominanten Arten) in der Talsperre Saidenbach seit 1975.

vorwiegend Indikatoren für ein großes Nährstoffangebot im Wasser sind, sind viele ihrer Arten auch an das Wachstum bei niedrigsten Phosphorkonzentrationen angepasst. Zudem ist in Saidenbach zwar der Phosphorimport von außen stark zurückgegangen, durch die verminderte Kieselalgensedimentation im Sommer entfällt jetzt aber in dieser Zeit der Phosphortransfer in das Sediment. Die trophogene Schicht wird daher zwar deutlich weniger mit Phosphor beliefert, er verbleibt jedoch dort und kann intensiver im internen Kreislauf genutzt werden.

Cyanobakterien sind vor allem deshalb unerwünscht, weil sie Giftstoffe bilden, so genannte Toxine. Alle bekannten, Wasserblüten bildenden Vertreter sind in der Lage, Hepato- oder Neurotoxine zu produzieren. Auffallend nach 1990 waren

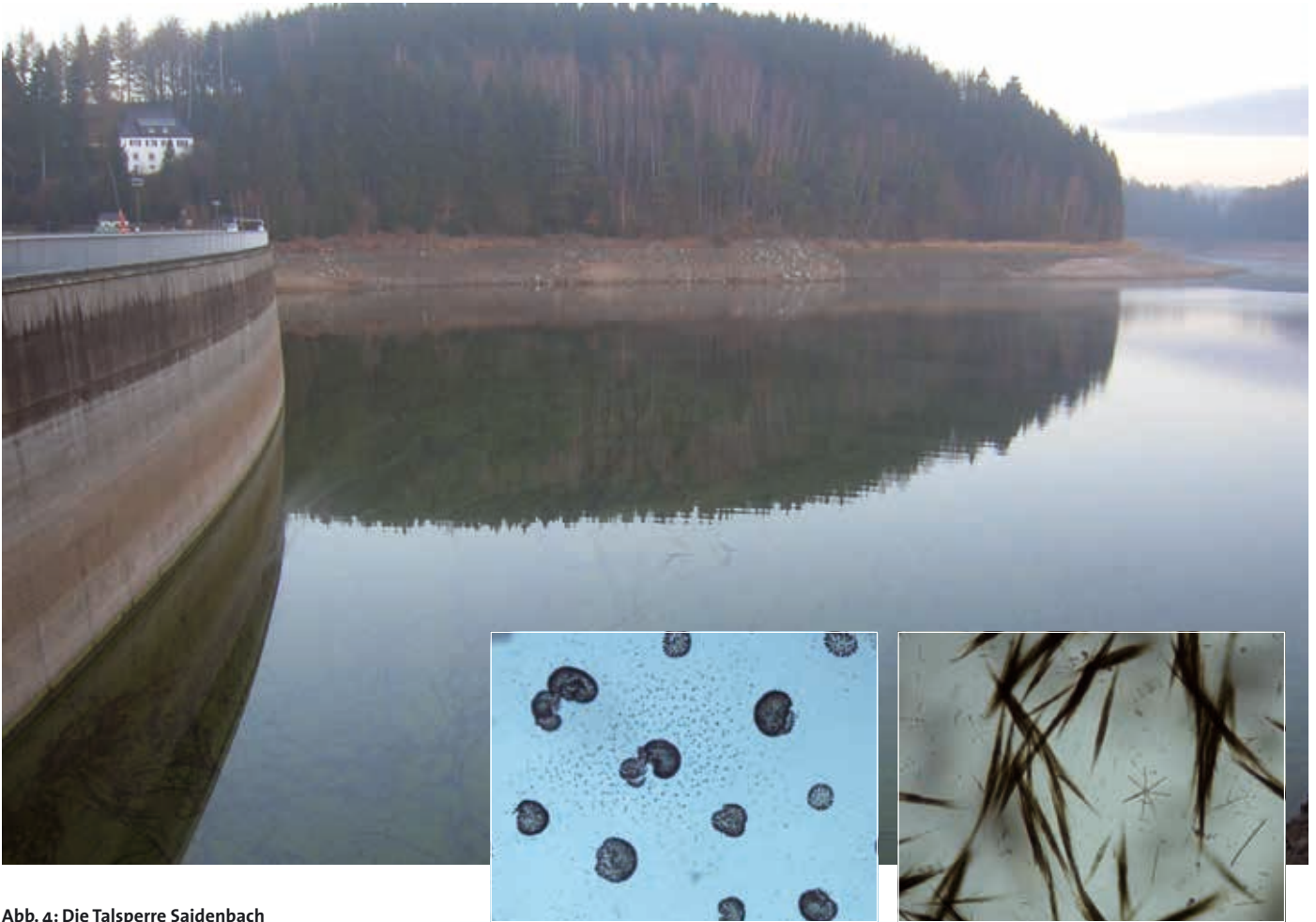


Abb. 4: Die Talsperre Saldenbach während der Cyanobakterienblüte 2011 im Herbst. Hauptvertreter waren damals die beiden Arten *Woronichinia naegeliana* und *Aphanizomenon flos-aquae*.

dabei nicht nur die größeren Massenentwicklungen einzelner Arten, sondern auch die Zunahme der Diversität der Cyanobakterien (Abb. 3), was ihre ständige Anpassung an die sich ändernden Bedingungen widerspiegelt, sowie das (Wieder-) Auftreten „berüchtigter“ Wasserblüten bildender Formen (z. B. *Woronichinia naegeliana*, *Aphanizomenon flos-aquae*; Abb. 4). Den Cyanobakterien wurde stets große Aufmerksamkeit geschenkt, aber erst die modernen molekulargenetischen Methoden eröffneten in der letzten Zeit ganz neue Einsichten. Mittels DNA-Isolierung, Vervielfältigung durch Polymerase-Kettenreaktion (PCR) und anschließender Sequenzierung der PCR-Produkte kann man problematische Arten besser differenzieren und identifizieren.

Welche Rolle spielt das Zooplankton?

Die Zooplankter, insbesondere die Crustaceen, Primärkonsumenten im Nahrungsnetz und damit wichtiger Verlustfaktor für das Phytoplankton, wurden ebenfalls seit 1975 regelmäßig erfasst. Auch diese sind stark von den erhöhten Wassertemperaturen und den veränderten Schichtungsverhältnissen betroffen, ihr Aufkommen wird in Saldenbach aber noch immer in erster Linie von den Friedfischen gesteuert, die sich vom Zooplankton ernähren. Die Zunahme der sperrigen Kieselalgen und der schlecht verdaubaren, koloniebildenden Cyanobakterien stellt zudem kein verbessertes Futterangebot für die Crustaceen dar. Nicht übersehen darf man aber, dass die kleinen, gut fressbaren und deshalb bevorzugten nanoplanktischen Algen, wachstumsstarke Phosphorkonkurrenten im Sommer, durch das in dieser Zeit immer gut entwickelte Crustaceenplankton auf niedrigem

Niveau gehalten werden. Dessen Fraß trägt so indirekt zu einer Stabilisierung der Cyanobakteriengemeinschaft bei.

Das Sediment – Stabilisierungsfaktor oder Quelle für interne Nährstoffzufuhr?

Gewässersedimente werden im Allgemeinen als Senke angesehen, in der von außen eingetragene und im System selbst produzierte Stoffe deponiert und über oxidative Sperrschichten „begraben“ werden. In der Talsperre sedimentieren seit 1989 im Mittel knapp 2 Kilo Trocken(!)-masse pro Quadratmeter und Jahr. Durch den Abbau organischer Stoffe kommt es jedoch auch zur Freisetzung und Rückführung der Nährstoffe, vor allem, wenn das System überlastet und der Sauerstoff knapp wird, wie z. B. am Ende der Sommerstagnation. Insbesondere die Kontaktschicht zum überstehenden, sauerstoffhaltigen Wasser ist hinsichtlich Bakteriendichte und enzymatischer Aktivität durchaus vergleichbar mit dem Belebtschlamm biologischer Abwasserbehandlungsanlagen. Zwar schlagen in tiefen, thermisch geschichteten Gewässern wie der Talsperre Saldenbach die Temperaturänderungen des Klimas bislang nicht bis in das Bodensediment der Tiefenzone durch, jedoch können schon veränderte Zirkulations- und Schichtungszeiten und der anders geartete „Planktonregen“ einen Einfluss auf die Organismen des Stoffabbaus haben. Deshalb wurde der chemischen und mikrobiologischen Zusammensetzung dieser Grenzzone im Forschungsvorhaben besondere Beachtung geschenkt. Auch hier brachte der Einsatz moderner biochemischer und molekulargenetischer Methoden (CARD FISH, Pyrosequenzierung, DGGE u. a.) neue Erkenntnisse und enthüllte nicht nur eine enorme Diversität unter den *Bacteria* und *Archaea* im Sediment, sondern auch eine große Anzahl noch unbekannter, bisher nicht klassifizierbarer Mikroorganismen.

Klimaerwärmung kontra Re-Oligotrophierung

Man weiß heute, dass die Klimaerwärmung die Symptome der Eutrophierung in Gewässern verschärft, und führt das vor allem auf die Zunahme des externen und internen Nährstoffangebotes, aber auch auf die größere thermische Wasser-

stabilität sowie veränderte Nahrungsnetzstrukturen zurück, also eher auf die indirekten als die direkten Auswirkungen erhöhter Luft- und Wassertemperaturen. Im Falle der Talsperre Saldenbach wird deutlich, dass Klimaänderungen aber noch über weitere Mechanismen eingreifen können. Allein die veränderten saisonalen Durchmischungs- und Schichtungsverhältnisse verbesserten die Wachstumsbedingungen für die Diatomeen im Frühjahr und für die Cyanobakterien im Sommer so entscheidend, dass die mögliche Re-Oligotrophierungseffekte nach 1990, d. h. der erhoffte Rückgang der Algenmenge auf Grund der 60-prozentigen Nährstoffreduktion, völlig verhindert wurde. Die bis dahin gültigen Kriterien für eine Begrenzung der Phytoplanktonproduktion sind jetzt nicht mehr ausreichend, um die bisherige Wasserqualität aufrechtzuerhalten.

Wie wichtig ist Langzeitforschung?

Schon Goethe wusste: „Der Tag gehört dem Irrtum und dem Fehler, die Zeitreihe dem Erfolg und dem Gelingen.“ Die langjährigen Beobachtungen bestätigen die Komplexität der Auswirkungen des Klimawandels auf die Ökosystemstruktur in Talsperren. Natürliche und vom Menschen verursachte Einflüsse greifen ineinander, verstärken oder kompensieren sich. Die unerwarteten Veränderungen in der Talsperre Saldenbach sind ein eindrucksvoller Beweis dafür, dass ökologische Langzeitforschung notwendig ist, um die Folgen globaler Veränderungen aufzuklären. Mit einem Datensatz von „nur“ 22 Jahren, also ohne die Jahre vor 1990, wäre die große Bedeutung klimagesteuerter Einflüsse nicht sichtbar und nachvollziehbar geworden. So ist die Einstellung vieler naturwissenschaftlicher Langzeitbeobachtungen wenig verständlich. ■

DIE AUTOREN

Dr. Heidemarie Horn, Dr. Wolfgang Horn und Dr. Kerstin Röske (2014 ausgeschieden) sind bzw. waren wissenschaftliche Mitarbeiter im Vorhaben „Die biotische Struktur von Stauseen“ der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. Prof. Dr. Isolde Röske (i. R.) ist Professorin für Angewandte Mikrobiologie an der Technischen Universität Dresden, Leiterin des Vorhabens und Mitglied der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig.

Literatur und WWW

Arbeitsgruppe „Die Biotische Struktur von Stauseen“ der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig: www.saw-leipzig.de/forschung/projekte/die-biotische-struktur-von-stauseen

H. Horn, L. Paul, W. Horn, D. Uhlmann und I. Röske, Climate change impeded the re-oligotrophication of the Saldenbach Reservoir, in: International Review of Hydrobiology (eingereicht).

Alf Lechners Werk „Eisenmeer“, hier in einer Ausstellung des Lechner Museums in Ingolstadt, 2002. Der Stuttgarter Künstler Nikolaus Koliusis setzte blaue Farblichtbänder in Beziehung zu den tonnenschweren Stahlskulpturen. Koliusis war auch der Fotograf der Installation.



Vom Zweistromland bis zum Rhein

Zur kulturellen
Bedeutung des Wassers

ABB.: N. KOLUDIS

Wasser im alten Mesopotamien

Die Region des heutigen Syrien und Irak, die häufig als Fruchtbare Halbmond, Zweistromland oder Mesopotamien bezeichnet wird, war in den drei vorchristlichen Jahrtausenden Heimat der Sumerer, Babylonier und Assyrer. Die Völker des alten Mesopotamien lebten in einer regenarmen Region. Das Wasser aus Flüssen und Brunnen bildete die Grundlage der Landwirtschaft und war Teil von Kult und Riten.

VON THERESA BLASCHKE

„FLUSS- UND BRUNNENWASSER, Wasser des Tigris und Euphrat versprenkele und das ganze Land wird gereinigt“ – dieses Zitat stammt aus einem in babylonisch-assyrischer Sprache verfassten Text aus dem 6. oder 5. Jahrhundert v. Chr. aus der Stadt Babylon. Es handelt sich dabei um eine Anweisung für einen Priester, Wasser zu Reinigungszwecken zu versprenkeln, und zwar als Teil eines der Rituale, die zur Feier des elf bis zwölf Tage dauernden babylonischen Neujahrsfestes durchgeführt wurden. Doch nicht nur während dieses Festes benutzte man das Wasser zur Reinigung. Seine lebenspendende und reinigende Kraft schlug sich in vielen Facetten des Lebens nieder. Bei den Sumerern bedeutete das Wort für „Wasser“ auch „Samen“ und „Nachkommenschaft“.

Der Naturraum

Der Fruchtbare Halbmond, der sich von der Levante bis nach Norden, den Randketten des Taurusgebirges folgend bis hin zum westiranischen Zagrosgebirge und entlang der Flussläufe von Euphrat und Tigris bis zu ihrer Mündung in den Persischen Golf erstreckt, ist durch verschiedene klimatische und naturräumliche Charakteristika geprägt (Abb. 2). Hier soll nur auf die Region entlang der beiden Flüsse Euphrat und Tigris eingegangen werden, die das Kerngebiet der sumerisch- und babylonisch-assyrisch-sprechenden Bevölkerung des 3. bis 1. Jahrtausends v. Chr. ausmachte – vereinfacht gesagt das Gebiet, das wir oft als Zweistromland oder Mesopotamien bezeichnen.

Dass sich Menschen an einem Ort ansiedeln, hat verschiedene Gründe. Ein wichtiger Aspekt ist der Zugang zu Nahrungsmitteln. Das hier besprochene Gebiet liegt in einer Zone, die größtenteils weniger als 300 mm Niederschlag pro Jahr erhält. Dies hat zur Folge, dass auf künstliche Bewässerung zurückgegriffen werden muss, um überhaupt Landwirtschaft betreiben zu können. Siedlungen müssen sich also zwangsweise entlang der Wasserläufe orientieren. Wo kein Wasser mehr hingeleitet wird, herrscht Steppenvegetation vor. Die Flüsse ziehen sich daher als blaue Bänder mit einem mehr oder weniger breiten Streifen grüner Vegetation entlang der Ufer durch eine sonst karge Landschaft (Abb. 1).

Die Wasserzufuhr dieses Gebietes ist allein durch Euphrat und Tigris mit ihren Nebenflüssen geprägt. Euphrat und Tigris entspringen in relativer Nähe voneinander im türkischen Taurusgebirge. Während sie in ihrem Oberlauf weit auseinanderliegen, nähern sie sich in der Region nörd-





Abb. 1: Der Euphrat in der Nähe der syrischen Stadt ath-Thaura (2009): An den Grünstreifen am Rand des Flusses schließt sich Steppenvegetation an.

lich von Bagdad auf wenige Kilometer an und fließen dann parallel zum Persischen Golf, in den sie heute gemeinsam über den Schatt al-Arab münden. In der Antike flossen sie noch getrennt ins Meer.

Euphrat und Tigris eigneten sich in der Vergangenheit in unterschiedlichem Maße für Bewässerungszwecke. Die durch Staudämme regulierten heutigen Flüsse sind kaum noch mit denen der Antike zu vergleichen. Wenn wir von Euphrat und Tigris sprechen, benutzen wir häufig den Begriff Zwillingsflüsse. Abgesehen von ihrem parallelen Verlauf sind die beiden Flüsse aber doch eher ein ungleiches Pärchen. Der Euphrat lässt sich als Steppenfluss charakterisieren. Er legt eine weit größere Distanz zurück als der Tigris und

durchquert die Syrische Wüstensteppe, wo er als größere Zuflüsse nur den Balich und den Chabur hat. Die Verdunstungsrate ist in diesem Gebiet sehr hoch. Der Tigris dagegen ist ebenso wie seine Zuflüsse (Diyala, Großer und Kleiner Zab) durch das Gebirge geprägt und führt große Wassermengen mit sich. Beide Flüsse bergen daher ihre Schwierigkeiten, sie für die Bewässerung zu nutzen. Der Euphrat hat gerade in der Ebene des Irak die Tendenz, stark zu mäandrieren und sich in verschiedene Arme aufzuspalten, die wechselnd unterschiedlich viel Wasser führen können. Der Tigris dagegen ist zum Teil aufgrund seiner Wassermassen so tief in das Gelände eingeschnitten, dass es nur mit größerem Aufwand möglich ist, das Wasser aus dem Flussbett nach oben zu schöpfen. Zudem machen ihn die großen Wassermengen zu einem noch schwerer zu zähmenden Fluss als den Euphrat. So mussten sich die Bewohner des alten Mesopotamiens verschiedene Techniken einfallen lassen, um das Flusswasser nutzbar zu machen.

Das Bewässerungssystem

Künstliche Bewässerung stellt die Herausforderung dar, eine Balance zwischen zu viel und zu wenig Wasser zu finden. Überflutet man die Felder und ertränkt die Pflanzen, ist kein Wachstum möglich – ebenso wenig, wenn die Pflanzen vertrocknen. Zuerst war es also nötig, einen Flussarm zu finden, der ausreichend Wasser führte, um den Bedarf zu decken. Großangelegte Grabungen neuer Kanäle dürfte es im alten Mesopotamien nicht gegeben haben. Man orientierte sich vielmehr an den schon vorhandenen, natürlichen Flussbetten. Führte ein Arm oder Kanal nicht genug Wasser, staute man es mit Hilfe von Wehren, die aus Schilfrohmatten oder bei größerem Umfang auch aus Ziegeln gebaut wurden, um zum richtigen Zeitpunkt auf die benötigte Wassermenge zurückgreifen zu können. Der Ablauf vom Hauptkanal in die Nebenkanäle wurde durch eine Schleuse kontrolliert. Von den Nebenkanälen konnte dann das Wasser auf die Felder geleitet werden. Dieser Vorgang wurde allein durch Gravitationsbewässerung gewährleistet. Wasserhebevorrichtungen waren nur in geringem Maße bekannt. So konnte man zwar das Wasser aus einem Brunnen schöpfen, zu intensiven Bewässerungszwecken war dieses System der Hebevorrichtungen jedoch noch nicht ausgefeilt genug.

Abb. 2: Karte von Mesopotamien.

Insgesamt waren die Wartungsarbeiten am Kanalsystem sehr aufwändig. Man musste die Wehre und Schleusen ausbessern und die Kanäle regelmäßig von Schlamm und Schmutz befreien. Um diese Arbeiten koordinieren zu können, war schon früh ein staatlich kontrolliertes administratives System eingerichtet worden. So gab es den Beruf des Kanalinspektors. Außerdem beschäftigten sich verschiedene Rechtskodizes, wie z. B. der aus dem 18. Jahrhundert v. Chr. stammende Codex Hammurapi, in mehreren Paragraphen mit der Frage, was passiert, wenn jemand unrechtmäßig das Wasser benutzt, das seinem Feldnachbarn zusteht, oder wenn er beim Ableiten des Wassers auf sein Feld das Feld seines Nachbarn beschädigt. Denn natürlich musste man das Wasser rationieren, um eine gerechte Verteilung zu ermöglichen. Dass dies häufig in Konflikten endete, zeigen uns Gerichtsprotokolle, in denen Wasserstreitfragen zweier Nachbarn behandelt werden. Doch nicht nur in kleinem Rahmen kam es zu Konflikten um das Wasser.



Wie heute Staaten um ihre Wassernutzungsrechte streiten, gab es auch im alten Mesopotamien Kriege um die kostbare Ressource. Als ältesten Beleg dafür haben wir Texte aus der Mitte des 3. Jahrtausends v. Chr., in denen beschrieben wird, wie sich im südlichen Irak die beiden Stadtstaaten Lagasch und Umma um das Wasser stritten. Der weiter oben am Fluss liegende Stadtstaat hatte die Möglichkeit, das Wasser so umzuleiten, dass der weiter unten anliegende Anrainer davon abgeschnitten war. Das Ableiten des Wassers war in den nachfolgenden Jahrhunderten dann nicht nur Kriegsgrund, sondern auch Kriegstaktik. Zerstörte man das Bewässerungssystem des Feindes oder entzog ihm das Wasser, war dieser schachmatt gesetzt: Die Felder konnten nicht bestellt werden, die Menschen hungerten.

Betrachtet man diese grundlegende Bedeutung des Flusswassers, wird auch deutlich, warum sich schon in den ersten überlieferten Königsinschriften die Herrscher ihrer Wasserbauaktivitäten und der Regulierung des Kanalsystems rühmten. Eine geregelte Wasserzufuhr und damit eine gesicherte Landwirtschaft sorgten für das Überleben der Menschen. Das Wasser brachte Fruchtbarkeit, die Herrscher konnten sich als „Bringer von Überfluss und Fülle“ titulieren. Ab der Mitte des 2. Jahrtausends v. Chr., als die assyrischen Könige die Oberherrschaft über die Region erlangen, rückte in den Inschriften der Aspekt der Lebensmittelproduktion in den Hintergrund. Die assyrischen Könige lobten hingegen ihre Parks und Gärten als kleine Paradiese, die sie mithilfe des Wassers entstehen lassen konnten. Der

assyrische König Sanherib vollbrachte im 7. Jahrhundert eine Glanzleistung, indem er nicht nur ein großes Kanalnetz bauen ließ, sondern zu diesem Zweck auch über einen 280 Meter langen Aquädukt Wasser aus den Bergen in seine Hauptstadt Ninive leitete.

Die religiösen Aspekte

Auch wenn sich die mesopotamischen Könige als Urheber von Fruchtbarkeit und Fülle preisen ließen, wurde dabei niemals vergessen, dass diese letzten Endes doch ein von den Göttern geschenktes Gut darstellten. Während in den Nachbarregionen wie der Levante oder im türkischen Hochland die Menschen als höchsten Gott den Wettergott verehrten, spielte dieser im regen-



armen Mesopotamien hingegen keine herausragende Rolle. Hier wurde als einer der höchsten Götter der von den Sumerern als Enki, von der babylonisch-assyrisch-sprechenden Bevölkerung als Ea bezeichnete Gott des Süßwassers und der Weisheit verehrt (Abb. 3). Enki/Ea herrschte über den Apsu, also den Süßwasserozean, der sich nach der Vorstellung der Menschen direkt unter der Erde befand und aus dem das Brunnen- und Flusswasser hervortrat. Im Gegensatz zum Süßwasserozean wurden die Meere, also der Persische Golf und das Mittelmeer, als „Bitterwasser“ bezeichnet.

Enki/Ea war aufgrund seiner Eigenschaften als Weisheitgott auch mit dem Bereich der Be-

schwörungskunst eng verbunden. Beschwörungen nutzte man, um vielerlei Arten von Unheil wie Krankheiten oder Schaden durch Feinde abzuwehren. Oft waren diese Beschwörungen mit einem Ritual verbunden. Dabei wurde zur Heilung von Krankheiten sehr häufig Wasser versprenkelt, dem man eine reinigende Wirkung zusprach. Die Texte spezifizieren dabei, um welches Wasser es sich handelt: So wurde von Brunnen- oder Flusswasser gesprochen, manchmal wurde sogar der Fluss namentlich genannt, aus dem dieses Wasser stammen sollte. Zum Teil fügte man dem Wasser noch Ingredienzien zu. Es existieren auch Beschwörungen, die allein dem Zweck dienten, Wasser zu reinigendem Wasser zu machen. Hierzu wurde z. B. ein Tamariskenzweig in das Wasser getaucht.

Doch nicht nur Kranke sollten mit diesem Wasser gereinigt werden. In Mesopotamien wurde das so genannte Flussordal praktiziert: Um die Schuld oder Unschuld eines Menschen zu bestimmen, musste die angeklagte Person an einer dafür vorgesehenen Stelle in einen Fluss steigen. Erklärte sie der Flussgott (der nicht identisch mit Enki/Ea ist) für rein und unschuldig, entkam sie dem Wasser. Wurde die Person fortgetrieben oder starb, war dies ein Zeichen für ihre Schuld.

Auch in anderen Kontexten wurde eine Reinigung mit Wasser durchgeführt. Zum babylonischen Neujahrsfest wuschen sich Priester mit Wasser, um die Feierlichkeiten rituell rein durchführen zu können. So ist auch der eingangs zitierte Text einzuordnen: Durch das Versprenkeln des Weihwassers wurde das Land gereinigt und war bereit, das große Fest zu begehen, bei dem Dankbarkeit für die Ernte, Fülle und Fruchtbarkeit des letzten Jahres gezeigt und diese Gaben zugleich für das nächste Jahr erbeten wurden: ein großer Kreislauf des lebenspendenden Wassers. ■

DIE AUTORIN

Theresa Blaschke ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für Keilschriftforschung und Vorderasiatische Archäologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Dort betreut sie als Redakteurin das Reallexikon der Assyriologie und Vorderasiatischen Archäologie. Ihre Doktorarbeit an der Universität Leipzig schreibt sie über „Flüsse im Alten Orient“.

Abb. 3: Teilabbildung eines Rollsiegels aus dem 24. Jahrhundert v. Chr. Der Gott Enki/Ea wird mit Wasserstrahlen abgebildet, die aus seinem Körper laufen.

Literatur

Einen Überblick über die Thematik Wasser im alten Mesopotamien geben die folgenden, bisher erschienenen Stichwörter im „Reallexikon der Assyriologie und Vorderasiatischen Archäologie“:

Euftrat; Flußgottheiten; Fluß(system); Flut; Kanal(isation); Landwirtschaft; Meer; Quelle; Regen; Rituale; Schöpfwerk; Tigris.

Wasser in der tibetischen Geomantie

Zur Wirkung von Flüssen, Quellen oder Tümpeln –
Landschaftsinterpretation auf dem Dach der Welt.

VON PETRA MAURER

DIE TIBETISCHE GEOMANTIE beruht im Wesentlichen darauf, topographische Merkmale eines Geländes zu deuten. Dabei spielen die Eigenschaften und der Nutzen von Wasser naturgemäß eine zentrale Rolle. Beeinflusst von chinesischem und indischem Gedankengut hat sich auf dem Dach der Welt eine eigene Form der Landschaftsinterpretation entwickelt.

Das Aussehen eines Berges oder Felsen, der Verlauf eines Flusses, der Wuchs einer Baumgruppe oder eines einzelnen Baumes etc. wird interpretiert, und der Geomant trifft auf diese Weise – auch unter Zuhilfenahme von Berechnungsmethoden aus den sino-tibetischen Divinationskalkulationen (*nag rtsis*) – Vorhersagen für die Bewohner. Einem Gebiet werden somit aufgrund seines äußerlichen Erscheinungsbildes gewisse Potenzen zugesprochen, die entweder für sich genommen oder verbunden mit bestimmten Größen der Astrologie oder Divination das Leben der Bewohner beeinflussen können.

Wasser in der chinesischen Geomantie

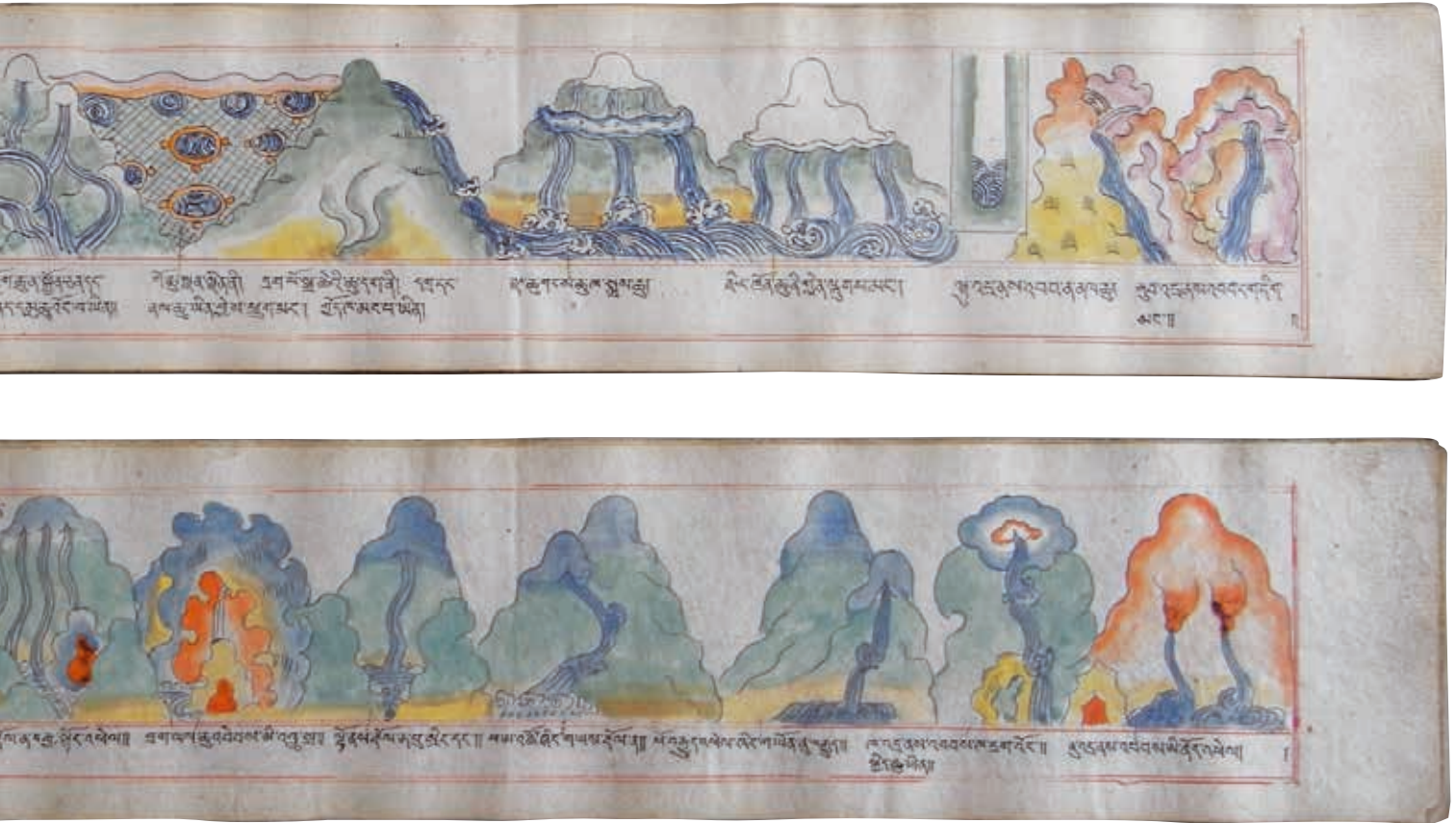
In der chinesischen Geomantie, die auch hier bei uns zunehmend bekannt geworden ist, tritt der grundlegende Bezug zu Wasser bereits im Wort selbst deutlich hervor. Der chinesische Begriff Fengshui (風水) bedeutet wörtlich „Wind und Wasser“. Er bringt die Vorstellung zum Ausdruck, dass der Wind (*feng*) Energie *qi* zerstreut und dass Wasser (*shui*) diese wiederum binden kann. Diese polaren Kräfte, die auch *yin* und *yang* sowie dem weißen Tiger und dem grünen/blauen Drachen zugeordnet werden, beeinflussen die Landschaft und ergänzen sich bei harmonischen Verhältnissen. Ein Geomant deutet das Zusammenspiel dieser Kräfte, um einen geeigneten Ort als Ruhestätte für die Verstorbenen oder eine Wohnstätte für die Lebenden zu finden. Hierbei spielt Wasser in verschiedenen Formen eine

Rolle: Ein stehendes Gewässer, beispielsweise ein Teich vor dem Haus, gilt als Schutz für ein Gebäude; als Ersatz kann ein Gefäß mit Wasser genügen. Fließende Gewässer hingegen sollen schwaches Fengshui erzeugen: Ein Fluss trägt die positive Energie davon. Eine Gegenmaßnahme ist die Errichtung von Pagoden, es können aber auch größere Eingriffe in das Landschaftsbild vorgenommen werden: Flüsse werden vollständig umgeleitet, Hügel aufgeschichtet oder abgetragen. Die Kunst der Geomantie besteht also auch darin, die Kräfte einer Landschaft zu verändern, um drohende Schäden abzuwehren und glückverheißende Umstände zu schaffen.

Wasser in der tibetischen Geomantie

In der tibetischen Geomantie finden sich ähnliche Sichtweisen zur Wirkung des Wassers: Abgesehen von praktischen Aspekten, deren Erwähnung sich fast erübrigt, die aber dennoch in den schriftlichen Quellen erwähnt werden – man benötigt Trinkwasser zum Überleben und zur Bewässerung der Felder –, gilt ein Flusslauf als ungünstiges Zeichen. Ein Astrologe des Klosters Nechung erzählte mir dazu folgende Geschichte: Als das im Kloster Nechung beheimatete Staatsorakel nach seiner Flucht aus Tibet in Dharam-





sala ankam, wies ihm die indische Regierung ein anderes Gebäude als das jetzige zu. Vor dem ersten Gebäude verlief ein Fluss, der nur zeitweise Wasser führte, was der Mönch als schädigend für die Klosterinsassen ansah. Er habe daher an einer Stelle im Klostergebäude, die dem Flussbett gegenüberlag, ein flammendes Juwel gezeichnet. Ähnliche schädigende Auswirkungen sind in einem bedeutenden Text zur tibetischen Geomantie, dem 32. Kapitel des *Vaiḍūrya dkar po*, das von dem Regenten des 5. Dalai Lama im 17. Jahrhundert verfasst wurde, festgehalten: „Wächst der Wasserfluss im Sommer an und versiegt im Winter, sind Zu- und Abnahme [des Besitzes] groß.“ Und an späterer Stelle werden Konsequenzen genannt: „Wenn man in der Nähe von Stellen, an denen der Wasserfluss im Sommer anwächst und im Winter austrocknet, ein Gebäude errichtet, sind die Enkel des Erbauers dumm.“

Die Aussagen, die jener Regent Desi Sanggye Gyatso zu Wasser macht, sind vielfältig, wobei die folgende Charakterisierung von vier Wasserarten wesentlich ist: hinunterfließendes Wasser,

stehendes Wasser, Flusswasser und Heilwasser. Weitergehende Differenzierungen betreffen u. a. den Platz und das Aussehen der Quelle, den Boden, die Fließrichtung, die Stärke eines Flusses und die Zusammensetzung des Wassers, doch seine Darstellung ist nicht systematisch. Häufig nennt er mögliche positive oder negative Folgen für die dortigen Bewohner, abhängig davon, ob er die Qualität des Wassers als gut oder schlecht wertet.

Die Bayerische Staatsbibliothek ist im Besitz dreier illuminierten Handschriften (Cod. tibet. 895, 896 und 897) mit Auszügen des oben genannten Textes, aus dem nachfolgend einige Beispiele genannt seien:
Wasser aus roter Erde sei ein Zeichen dafür, dass sich Gift verbreite.

Zur Fließrichtung schreibt der Regent: Wenn Wasser im Osten hervorquelle, dann verbreiten sich Insekten. Quelle es von oben herab, sei Tadel häufig. Ein Fluss, der aus einem Schiefermassiv von Süden nach Norden fließt, sei hingegen „ein guter Fluss zum Schlafen“. Fließe das Wasser in zahlreichen Windungen, komme es zu körperlichen Defekten, Auszehrung und Wassersucht. Viele Quellen hingegen deuten darauf hin, dass sich das Vermögen vermehren wird.

Aus den Handschriften der Bayerischen Staatsbibliothek:
Oben: Wasser in Windungen und aus einem verschmutzten Tümpel (2. und 3. Bild v. l.), Wasser aus einer Quelle in Form einer Scheidenöffnung und eines Afters (die beiden letzten v. r.). Unten: Wasser aus einer Quelle, die wie ein Mund aussieht (2. v. r.).

ABB.: 895B, COD. TIBET. 897 UND COD. TIBET. 896



Oben: Wasser aus roter Erde und Wasser aus dem Osten (Berge rechts). Unten: Wasser, das von Süd nach Nord fließt, ein guter Fluss zum Schlafen (5. und 6. Berg v. l.).

Das Aussehen der Quelle wird ebenfalls gedeutet: Wasser aus einer Quelle in Form eines Mundes bedeutet, dass man redengewandt wird, Wasser aus einer Stelle ähnlich einer Scheidenöffnung wird als ursächlich für Inzest angesehen. Fließt es [aus einem Gebiet, das] wie ein After [aussieht], sind Stotterer zahlreich und [es gibt] Stumme.

Verschmutztes Wasser wird als moralische Verunreinigung gedeutet: „[Das Wasser] eines verschmutzten Tümpels ist Wasser des Inzests, die unehelichen Kinder sind zahlreich.“ Reines Wasser hingegen symbolisiere positive Eigenschaften.

Als ungeeignet für die Errichtung eines Gebäudes gelten Stellen, an denen Wasser aus einem Teich oder Brunnen im Sommer ansteigt und im Winter austrocknet, oder aber solche, wo ein Sturzbach in eine tiefe Schlucht rauscht, sich

verunreinigt Wasser angestaut hat, Wasser aus mehreren Richtungen zusammenfließt oder aus dem Erdinneren steigt. Ein Gebiet mit zahlreichen Wassertümpeln und giftigen Bäumen wird als Krankheit auslösend gewertet.

Diese Beschreibungen deuten auf natürliche Gegebenheiten hin, wie Überschwemmung, Wasserknappheit, Hochwassergefahr oder Gebiete, in denen ein Anstieg des Grundwasserspiegels zu befürchten ist. Die zwingenden Folgen für die Bewohner solcher Gebiete überraschen den Leser möglicherweise, denn ihren Söhnen und Enkeln wird Dummheit prophezeit.

Einer Wasserknappheit kann mit Ritualen entgegengewirkt werden. So heißt es: „Wenn es außerdem ein Gebiet mit Wasserknappheit gibt, [nehme man] eine neue Tonvase, die eine Handvoll [Wasser] fasst. In jene gieße man für die vier Weltenschützer Melasse, verschiedene Getreide[arten], Heilmittel gegen Krankheiten, die von Schlangengottheiten verursacht werden, und *chang* (tibetisches Bier) [sowie] Butter. Man segne sie als Götterpalast der Kostbarkeiten und



verstecke sie oberhalb einer Quelle. Auf chinesisches Papier zeichne man zwei Schlangen als Abbildungen einer männlichen und einer weiblichen Schlangengottheit, und in der Herzregion beider schreibe man jeweils [die Silbe] *phuh*. Man befestige [das Papier] an einem Berberitzendenbusch und segne die Quelle als Götterpalast der Schlangengottheiten. Aus dem Osten rufe man die männliche und die weibliche Schlangengottheit herbei. Man veranlasse sie, in die Quelle, ihren Palast, einzutreten. Man weihe die Teigopfer den Schlangengottheiten und belohne den Erdherrn. Man bitte um Vermehrung von Getreide, Vieh und Wasser.“

Wasser und Bestattung

Konkrete Hinweise auf die Wirkung von Wasser finden sich auch im Zusammenhang mit der Anlage von Leichenstätten. Wie im Fengshui kann sich die Wahl eines Platzes für die Bestat-

tung positiv wie negativ auf die Hinterbliebenen auswirken. So heißt es: „Wenn an der oberen Rückseite der Leichenstätte ein wie ein Wolf aussehender Felsblock erkennbar ist, dann ist jener auch ein Zeichen für den *'phung-sri*-Dämonen. [...] Wenn aus dem Gebiet einer Leichenstätte Wasser hervorquillt, ist es Wasser, das Verlust verursacht. Es kommt zu innerfamiliären Streitigkeiten, Witwenschaft und Inzest.“ Flussbestattungen sind überwiegend aus Osttibet bekannt, wo Kleinkinder, Bettler und Leprakranke in den Fluss geworfen wurden – eine Praxis, die im Raum Lhasa verboten war.

Eine außergewöhnliche Interpretation des „Drachen“, die wiederum den engen Bezug zur chinesischen Tradition zeigt, erläuterte mir ein Astrologe in Osttibet: Jedes Gebiet könne mit dem Körper eines Drachens verglichen und danach eingeteilt werden. Oben liege der Schwanz des Drachens, unten sein Kopf. Der Schwanz des Drachens entspreche den Schneebergen und Gletschern. Da er sich hin und her bewege, fehle die feste Grundlage, weshalb dort kein Gebäude errichtet werden sollte. Der Kopf des Drachens entspreche gleichzeitig China. Kräftige Wasserströme zwischen Bergen seien positiv, man sage, die Hüfte des Drachens sei nicht gebrochen, wogegen ein langsamer oder spärlicher Strom bedeute, dass seine Hüfte gebrochen sei.

Wasser zur Prüfung des Bodens

Daneben dient Wasser vor der Errichtung eines Gebäudes einem praktischen Zweck: Man prüft damit die Konsistenz und Dichte des Bodens. Der Astrologe Könchog aus Dharamsala schilderte mir dieses Verfahren, wie es nicht nur in Texten aus Tibet, sondern auch in solchen aus Indien beschrieben ist: Man grabe am Bauplatz eine Grube und fülle sie mit Wasser auf. Dann entferne man sich hundert Schritte weit, kehre wieder um und prüfe den Wasserstand. Ein starkes Absinken des Wasserspiegels sei kein gutes Zeichen, denn der Boden sei am besten, wenn der Wasserstand hoch geblieben sei. Man könne die Grube auch wieder mit dem Aushub auffüllen, und wenn sie die Erde nicht mehr fasse, sei das positiv; sacke die Erde jedoch ein und reiche der Aushub nicht, um das Loch wieder aufzufüllen, so sei dieser Platz zur Bebauung ungeeignet.

Abschließend sei noch darauf verwiesen, dass Wasser als Element neben Feuer, Holz und Luft in Tibet auch für divinitorische Berechnungen zur Vorhersage der Zukunft herangezogen wird. ■

DIE AUTORIN

Prof. Dr. Petra Maurer ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für zentral- und ostasiatische Studien, wo sie das Wörterbuch der tibetischen Schriftsprache betreut. Sie ist Professorin für Tibetologie an der LMU München. Ihre Forschungsschwerpunkte sind sino-tibetische Divinationskalkulationen, Medizin und Pferdeheilkunde, tibetische Lexikographie sowie die Kulturgeschichte Tibets.

Blick in die Vergangenheit: Neunspringe, Osnabrück, Ircher und Bassermann

Namen gliedern unsere Umwelt und nehmen gleichzeitig in vielfältiger Weise Bezug auf diese Umwelt. Sowohl Ortsnamen wie Straßen- oder Familiennamen spiegeln den komplexen Umgang mit einer der überlebenswichtigen Ressourcen – dem Wasser – wider.

VON KIRSTIN CASEMIR



Abb. 1: Badestube, in der der Bader Schröpfköpfe setzt, während die Kinder baden. Holzschnitt von Jost Amman aus dem 16. Jahrhundert.

NAMEN DIENEN DAZU, eine Siedlung, ein Gewässer, eine Flur oder eine Person zu identifizieren. Sie gehen auf den jeweiligen Wortschatz der Sprecher zurück, werden aber, nachdem sie einmal zum Namen geworden sind, fest mit dem Objekt verbunden. So können sie Wörter bewahren, die später aus dem Gebrauch verschwunden sind. Namen entstehen häufig in einem allmählichen kommunikativen Prozess und beziehen sich auf Charakteristika wie den Beruf eines Menschen oder markante Auffälligkeiten in der Landschaft.

Familiennamen als Relikte alter Berufe

Zunächst gab es im Deutschen keine Familiennamen. Die Leute trugen lediglich einen Vor- oder Rufnamen. Mit steigender Bevölkerung in den Städten, entstehender Verwaltung und vielen gleichnamigen Personen bildete sich seit dem 12. Jahrhundert allmählich die Zweinamigkeit heraus. Dabei konnten Berufe, Besonderheiten der Wohnstätte, Besonderheiten der Person oder die Herkunft aus einem anderen Ort zur Namengebung verwendet werden. So wohnte jemand namens *Torbeck* an einem Bach (*Beck* niederdeutsch für Bach). Sind Namen wie *Schiffer* selbsterklärend, ist das bei *Ircher*, *Ahlrep*, *Flader* oder *Bassermann* nicht der Fall. In ihnen und zahlreichen weiteren wird deutlich, welche Bedeutung das Wasser für die Bevölkerung hatte. So ist *Bassermann* die oberdeutsche, d. h. bairische und alemannische Form für *Wassermann*, also einen Wasserträger. Bierbrauer, Gerber oder Fischer benötigten das Wasser, um ihrem Beruf nachgehen zu können. Dabei wurde im Falle der Gerber durchaus unterschieden, welche Arten von Leder sie schufen. Der *Ircher* stellte sehr weiches Leder her, der *Lösch(n)er* hingegen Leder für Bucheinbände. Ein *Flader* war jemand, der Netze für den Fischfang produziert. Eine Person namens *Ahlrep* war ein Aalfischer. In Zeiten, in denen die Menschen nicht an die zentrale Wasserversorgung angeschlossen waren, war der *Bader* oder *Badstübner* von zentraler Bedeutung. Er stellte nicht nur Badezuber (für die gelegentliche Körperreinigung) bereit, sondern leistete auch medizinische Dienste und war Barbier (Abb. 1).

Wasser in Ortsnamen

Nicht wenige Ortsnamen gehen auf die Namen von Gewässern zurück, an denen sie liegen. So enthält *Burgebrach* den Gewässernamen *Ebrach*. Die zahlreichen Namen auf *-bach* oder *-beck* legen beredtes Zeugnis ab. Manchmal erhält sich ein alter Gewässername nur in einem Ortsnamen, wie es bei Osnabrück der Fall ist. Das Gewässer, an dem die Stadt liegt, heißt heute *Hase*. Diese muss aber früher einen anderen Namen, nämlich *Osna* getragen haben, denn sonst könnte nicht die „Brücke über die Osna“ namengebend geworden sein. Viele Gewässer tragen sehr alte Namen, die nicht mehr aus dem Deutschen erklärbar sind, sondern wie der Main oder die Eger in viel ältere Zeiten zurückreichen und weit vor Christi Geburt vergeben wurden.

Nicht nur Gewässer, sondern auch sumpfige Stellen (*Liverpool*, wobei *-pool* mit *Pfuhl* verwandt ist), Feuchtwiesen (Namen auf *-au* wie in Lindau/Bodensee) oder Quellen (wie in *Neunspringe*, wobei es sich hier nicht um genau neun Quellen handelt, sondern durch *neun* eine Vielzahl angegeben wird), oder der nur in feuchtem Gelände mögliche Pflanzenbewuchs (wie in Rohr i. NB., Kreis Kelheim, das das Wort für Schilfrohr enthält) sind namengebend. Im Raum Südniedersachsen beziehen sich 20 Prozent der Ortsnamen in der einen oder anderen Form auf Wasser. In Unruhezeiten brachten die Menschen sich und ihre Habe früher in sumpfigen Gebieten, deren Zugang einfach versperrt werden konnte, in Sicherheit, was mit ein Grund für die vielen Ortsnamen ist, in denen Wörter für Sümpfe, Brüche und Moore enthalten sind.

Abb. 2: Mühlen an der Wabe im Kreis Wolfenbüttel, in denen geschliffen, gewalkt, Kupfer verarbeitet oder Pulver hergestellt wurde.



DIE AUTORIN

Dr. Kirstin Casemir leitet die Forschungsstelle „Ortsnamen zwischen Rhein und Elbe – Onomastik im europäischen Raum“ der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen.

Auch die Nutzung des Wassers durch Wassermühlen war von großer Bedeutung. Die zahlreichen *Mühlen*-Namen wie Mühlhausen belegen dies. Da sich die Windmühle erst in jüngerer Zeit in Deutschland durchzusetzen begann, sind die meisten *Mühlen*-Namen Zeugnisse für Wassermühlen. An geeigneten Wasserläufen wurde teils eine Vielzahl von Mühlen angelegt, die unterschiedliche Produkte erzeugten, wie Abbildung 2 aus dem Ende des 16. Jahrhunderts zeigt.

Namenlandschaften als Indikator für die Macht des Wassers

Das Vorhandensein von Wasser ist für die Menschen überlebenswichtig, benötigt man es doch zum Trinken und zur Viehversorgung. Auch die Feldfrüchte sind auf ausreichend Feuchtigkeit angewiesen, sonst können sie nicht gedeihen. Anders als heute, wo Wasserreservoirs und Leitungen auch in Trockengebieten eine Sied-

lung ermöglichen, war das früher nicht der Fall. Trockengebiete wurden gemieden oder rasch wieder verlassen. So wurde die Senne, eine große Sandebene zwischen Bielefeld und Paderborn, nur sehr zögerlich und allmählich an den Rändern besiedelt. Weite Teile blieben siedlungsleer und wurden seit Beginn des 19. Jahrhunderts bis in die Gegenwart als Truppenübungsplatz genutzt.

Andererseits kann ein „Zuviel“ an Wasser verheerende Folgen haben. Die Küstenbewohner versuchten seit Jahrhunderten, dem Meer das fruchtbare Marschland durch Eindeichung abzurufen. Sturmfluten konnten diese Bemühungen immer wieder zunichtemachen. Dass dies nicht nur dem Meer abgerungenes Land betraf, sondern die Gestalt der Landschaft nachhaltig verändert werden konnte, zeigen der Dollart einbruch und die Entstehung des Jadebusens. Seit Jahrhunderten sicheres Siedelland, wie die Ortsnamen ausweisen, wurde durch katastrophale Sturmfluten vernichtet. So gingen durch die Entstehung des Dollarts über 30 Dörfer und mehrere Klöster unter (Abb. 3).

Namen und Wasser

Die vorangegangenen Beispiele können nur im Ansatz verdeutlichen, welche große Rolle das Element Wasser für die Menschen spielte und spielt. Dabei registrierten die Menschen in vergangenen Jahrhunderten sehr viel genauer die unterschiedlichen Formen, Qualitäten, Auswirkungen und Nutzungsmöglichkeiten des Wassers, als es heute der Fall ist. Die Namenkunde ist bei der Aufdeckung dieser Vielschichtigkeit von großer Bedeutung, kann sie doch durch die enorme Zahl von Namen unterschiedlicher Art (Orts-, Gewässer-, Flur- oder Familiennamen) und die Dichte des Namenmaterials einen faszinierenden Einblick in vergangene Zeiten bieten. ■



Abb. 3: Ausschnitt aus einer Frieslandkarte von Ubbo Emmius, die zwischen der roten und gelben Umrandung die durch die Entstehung des Dollarts untergegangenen Dörfer zeigt. Um 1600.



Die Fischmaßtafel aus dem Stadtmuseum Ingolstadt.

Inskriptionkunde

Fische in der epigraphischen Werkstatt

Ein ganz besonderer Fund zum Thema Wasser: die Ingolstädter Fischmaßtafel. Wie geht man vor, wenn man ein solches Objekt wissenschaftlich untersuchen möchte? Und was können andere Disziplinen dazu beitragen? Ein Werkstattbericht.

VON CHRISTINE STEININGER



EPIGRAPHIK IST DIE Wissenschaft von den Inschriften, also all jenen Beschriftungen von Gegenständen, die nicht mit Federkiel oder Stift auf Papier und Pergament geschrieben sind. An der Bayerischen Akademie der Wissenschaften entstehen Editionen der Inschriften Bayerns aus dem Mittelalter und der Frühen Neuzeit, um diese wertvollen historischen Quellen als Forschungsgrundlage für die historischen Wissenschaften, die Sprachwissenschaften und weitere Disziplinen, aber auch die Denkmalpflege zur Verfügung zu stellen.



Normalerweise hat es der Epigraphiker/die Epigraphikerin mit Inschriften in Stein zu tun, auch Metall und Holz kommen vor, und in der Regel sind es Texte aus dem Bereich des Totengedenkens oder der historischen Nachrichten, mit denen er/sie sich beschäftigt. Manchmal jedoch stößt man bei der Arbeit auf Gegenstände, die ganz neue Herausforderungen in sich bergen.

Inschriften zum Thema Wasser am Beispiel Ingolstadt

Auch Schiffer und Fischer haben in Bayern epigraphische Spuren hinterlassen, etwa in den Ingolstädter Kirchen. So zeigt z. B. das Grabdenkmal des 1563 verstorbenen Fischers Georg Weber sein Wappen mit den geschrägten Rudern der Fischerzunft und mit einem Weberschiffchen (für Weber). Darüber hinaus gibt es von der Fischerzunft auch noch Prozessionsstangen mit Inschriften, heute im Bayerischen Nationalmuseum, die im Rahmen der üblichen Editionsarbeit zu den Ingolstädter Inschriften zu erfassen waren.



Die Fischmaßtafel

Ganz anders und als eigener Forschungsauftrag erweist sich dagegen eine Tafel aus dem Ingolstädter Stadtmuseum. Fraglich ist allein schon die Datierung: Bisher wurde die Tafel in die zweite Hälfte des 16., aber auch ins 18. Jahrhundert datiert. Die Schrift kann man als Datierungskriterium nur beschränkt heranziehen, denn die Frakturschrift der Tafel ist wohl ab dem frühen 17. Jahrhundert denkbar. Abgebildet ist das Objekt in mehreren Büchern, stets mit dem Hinweis, es sei ein einzigartiges Zeugnis für die Fischereigeschichte. Näher damit befasst hat sich jedoch noch niemand. Also ans Werk, wir sind in dieser Beziehung Kummer gewohnt: Auf einer Holztafel in schwarzem Rahmen (66,5 x 44 cm) sind auf rotem Grund diverse „Donaubewohner“ abgebildet, jeweils über dem Bild des Fisches findet sich ein Metallstab eingelassen und links und rechts daneben die Angabe, es handle sich um das Maß des Tieres – aber welches Maß: das Schonmaß, das Mindestmaß zum Verkauf?



Text der Fischmaßtafel (S. 85)

Hechten. // mas / Karpfen. // mas / Huchen. / und / Schiedl. // mas / Perben. // mas / Ruden. // mas / Nerffling. / mas / preken. // mas / krebs. m(as) // Zünen. m(as)

Identifizierung

Hecht (<i>Esox lucius</i>)	Maß: 24,5 cm	Schonmaß: 50 cm
Karpfen (<i>Cyprinus carpio</i>)	Maß: 22,5 cm	Schonmaß: 35 cm
Huchen (<i>Hucho hucho</i>)	Maß: 26,5 cm	Schonmaß: 70 cm
Schied (<i>Aspius aspius</i>)	Maß: 26,5 cm	Schonmaß: 40 cm
Perben = Barbe (<i>Barbus barbus</i>)	Maß: 20 cm	Schonmaß: 40 cm
Ruden = Rutte? (<i>Lota lota</i>)	Maß: 22,5 cm	Schonmaß: 30 cm
Nerfling (<i>Leuciscus idus</i>)	Maß: 22,5 cm	Schonmaß: 30 cm
Preken = vielleicht Neunauge (<i>Lampetra fluviatilis</i>)	Maß: 22,5 cm	heute ganzjährig geschont
Krebs = Edelkrebs (<i>Astacus astacus</i>)	kein Maß	
Zünen = kein Maß – die Identifizierung dieses Fisches ist unklar		



Zunächst geht es ganz harmlos an: Den Hecht kennt jeder, vom Karpfen hat man in Verbindung mit Weihnachten schon mal gehört, und auch der Huchen ist einem, wenn man in Bayern lebt, schon mal begegnet. Dann aber wird es schwierig: Schiedl, Perben, Ruden, Nerffling, Preken und Zünen? Der Sohn der Epigraphikerin muss herhalten! Als Sportangler mit gerade erst bestandenem Fischereischein wird er die „Viecher“ ja wohl wenigstens anhand der Abbildungen erkennen. Schonmaße hat er auch gepaukt, und die Metallstäbe wurden bei einem Besuch im Museum natürlich gemessen. Tatsächlich gelingt es mit Hilfe des Lehrbuches und der Abbildungen, Schiedl und Nerffling zu identifizieren. Hinter den Perben verbergen sich vermutlich Barben, und die Ruden sind vielleicht mit den Ruten gleichzusetzen, auch der Krebs ist weiter kein Problem. Die Maße allerdings haben mit heutigen Schonmaßen nichts zu tun. Sind es vielleicht doch Mindestmaße für den Handel?



Bleiben die rätselhaften Preke und die Züne. Lexika werden gewälzt, die Kollegen von der Mundartforschung befragt, der Ingolstädter Fischereiverein kontaktiert – ohne Erfolg. Schließlich geht eine Anfrage an den Gewässerökologen aus dem Jungen Kolleg der Akademie. Er lässt seine Kontakte spielen, und so können die Fischereiexperten aus zwei Regierungsbezirken zur Hilfe herangezogen werden. Die Preke, so stellt sich heraus, ist vermutlich ein Neunauge, jedenfalls gibt es diese Bezeichnung, auch wenn das Bild nicht ganz überzeugt. Die Züne bleibt nach wie vor rätselhaft. Dass die früheren Maße so anders sind, hat vermutlich mit der größeren Bedeutung der Donaufische für die Ernährung der Bevölkerung zu tun – man denke nur an die zahlreichen fleischlosen Fasttage – vielleicht auch mit anderen Vorkommensstrukturen in der damals noch naturbelassenen Donau. Mehrere Wochen, zahlreiche E-Mails und Gespräche später steht das Ergebnis fest, hier exklusiv und erstmals dokumentiert: Text der Inschriften, Identifizierung, Länge der Metallmaße und zum Vergleich das heutige bayerische Schonmaß. ■

Dank

Mein Dank für die Hilfe bei der Identifizierung und bei der Einordnung geht an Jürgen Geist (TU München, Alumnus des Jungen Kollegs der Akademie), an Josef Hoch, Fischereiberatung Bezirk Niederbayern, an Thomas Ring, Fischereiberatung Bezirk Oberpfalz, und an Rupert Steininger.

Hinweise zur Identifizierung der Züne werden gerne entgegengenommen.

Der Fischbestand der bayerischen Donau

VON THOMAS RING

HISTORISCH GESEHEN unterlag der Fischbestand der bayerischen Donau schon immer einer gewissen Veränderung. Derzeit zeigt diese eine zunehmende Dynamik, die u. a. vom Ausbaugrad und der Nutzung der Donau als Bundeswasserstraße und der energetischen Nutzung des Flusses (Gefälle, Kühlwassereinleitung) abhängt. Die Folge ist, dass sich gewässertypische Parameter wie Temperatur, Durchgängigkeit, Geschiebetransport und Habitatvielfalt ändern. Aber auch die Verfrachtung von fremden Arten in das Donaueinzugsgebiet beschert dem Fluss eine Änderung der Artenvielfalt.

Artenreichste Fischfauna Europas

Die Donau mit ihren Zubringern weist von Natur aus die artenreichste Fischfauna Europas auf. Für das gesamte Donaubecken werden in der Forschungsliteratur 103 Fischarten einschließlich Neunaugen beschrieben. Im Bereich der bayerischen Donau ist ein historisches Inventar von insgesamt 51 autochthonen, d. h. heimischen Fischarten und Neunaugen belegt. Zählt man

DIE AUTOREN

Dr. Christine Steininger ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für die Herausgabe der Deutschen Inschriften des Mittelalters und der frühen Neuzeit (Münchener Abteilung) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. **Dr. Thomas Ring** ist Fachberater für Fischerei beim Bezirk Oberpfalz.

Strömer und Steingressling dazu, die mittlerweile in mehreren Donauzuflüssen entdeckt wurden, so kommt das Arteninventar nach Kurt Seifert (1997) auf 53 Arten, darunter auch endemische, also nur in der Donau vorkommende Arten wie Schrätzer, Streber und Zingel, um nur die Bekanntesten zu nennen. Das Inventar zählt u. a. auch zwei Neunaugenarten, von denen leider vieles noch unbekannt ist, und fünf Störarten. Davon war eine Art, der Sterlet, früher ständig in der bayerischen Donau zugegen und ist es neuerdings wieder. Die anderen vier Störarten suchten dieses Gebiet gelegentlich zur Laichzeit auf, als noch kein „Eisernes Tor“ die Wanderung verhinderte. Aber auch Bachforelle, Äsche und Huchen konnten an vielen Stellen in der Donau ablaichen, als diese größtenteils noch nicht staugeregelt war und eine Barbenregion darstellte. Durch die ausbaubedingte Mutation der Donau zur Brachsenregion wurden auch viele Vorwaldbäche genetisch isoliert. In Stauwurzelbereichen und freifließenden Strecken zeigt die Donau gelegentlich noch ihr aquatisches Potential. Oft sind die Vorwaldbäche jedoch fischbiologisch von der Donau abgekoppelt.

In der Liste der Referenzfischfauna der Donau nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000 werden 46 autochthone Arten an Fischen und Rundmäulern aufgeführt. Man verabschiedete sich bei der Bewertung dieses Wasserkörpers z. B. von den Großstören und war sich bei einer Neunaugenart über deren Vorkommen nicht im Klaren.

Besatz an Sterlets im Oberpfälzer Donaubereich in den Jahren 2010 bis 2013. Die Besatzfische stammten aus dem Teichwirtschaftlichen Beispielsbetrieb Wöllershof, die Elterntiere aus einem Donauzufluss.

**Gebietsfremde Arten und Exoten**

Auch eine Vielzahl von allochthonen Fischarten, die zuvor nicht in dem Gebiet heimisch waren, sind mittlerweile in die Donau gelangt und bereichern z. T. zum Leidwesen mancher die Artenvielfalt. Von dem nicht mehr wegzudenkenden Aal bis hin zu den in mehreren Wellen auftretenden derzeit vier Arten von Schwarzmeergrundeln.

Aber auch Exoten wie Sonnenbarsch und Blaubandbärbling werden in der Donau dokumentiert. Somit kommt man derzeit auf ein Gesamtarteninventar von über 58 Fischarten und Rundmäulern für die bayerische Donau. Manche Arten wie Zwergwels und Chinesische Schläfergrundel sind im Einzugsgebiet der Donau vorhanden. Ob sie sich in der Donau einmal etablieren werden, wird sich zeigen. Die Anzahl der Arten bleibt dynamisch, die Gefährdung mancher hoch. Die Umsetzung der Wasser-Rahmenrichtlinie leistet dabei einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung bzw. Wiederherstellung des historischen Arteninventars.



Zuwanderer in der Donau: die Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*), ursprünglich im Mündungsgebiet der Donau am Schwarzen Meer beheimatet.

Inskriftenkunde

„War das nit ein grosse klag“

Historische Inschriften geben seit dem Mittelalter Auskunft über Hochwasserstände in Bayern und die oftmals existenzbedrohenden Flutkatastrophen.

VON CHRISTINE STEININGER

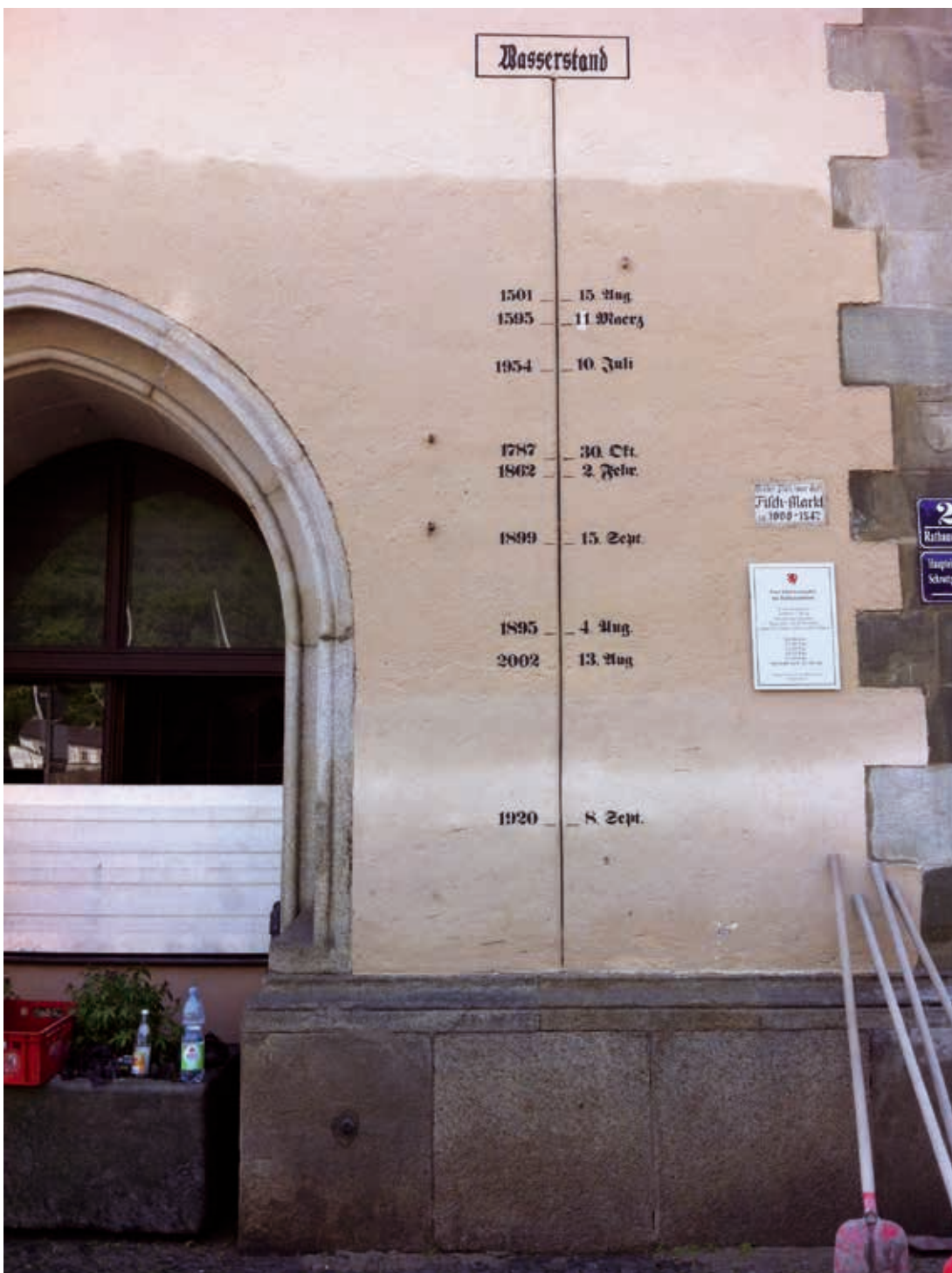


Abb. 1: Hochwasserpegel am Passauer Rathaus mit falscher Höhenangabe zum Hochwasser von 1501.

War das nit ein grosse klag
 an unser frawen Schiedung tag
 die tvnau und der inn
 sein pede gangen dahin.
 als man zalt mcccc und i jar
 mögt ihr glauben fürwar

WÜRDE SIE NICHT DIE SPRACHE verraten, so könnten diese beiden Verse auch aus dem Jahr 2013 stammen. Zwar war es nicht an unser Frauen Schiedung Tag, also Mariae Himmelfahrt (15. August), als Donau und Inn in die Altstadt Passaus eindrangen. Der Höchststand in Passau wurde 2013 am 3. Juni gemessen. Doch das Empfinden der Menschen, die die Wasserfluten des zweithöchsten Passauer Hochwassers (Pegelstand Donau 12,89 nn) zu erleiden hatten, dürften sich von denen der Betroffenen des

höchsten Hochwassers im Jahre 1501 (Pegelstand Donau ca. 13,2 nn) nicht sehr unterscheiden haben.

Hochwassermarken – historische Dokumente

Hochwasser waren für die Flussanwohner stets nicht nur durch die unmittelbaren Schäden, sondern auch durch die Folgeerscheinungen existenzbedrohende Katastrophen. So wurden gerade bei den Sommerhochwassern Ernten noch auf dem Halm vernichtet, die Felder waren für neue Anpflanzungen längere Zeit nicht nutzbar – Hunger war die Folge. Es verwundert daher nicht, dass die Menschen nach dem Abfließen des Wassers das Bedürfnis hatten, die erlittene Drangsal für alle Welt sichtbar zu dokumentieren. Hochwassermarken gehören zu den häufigsten inschriftlichen Zeugnissen für Naturkatastrophen.

Da in den meisten Fällen die Wassermassen immer wieder dieselben Stadtgebiete bedrohten, finden sich Hochwassermarken oft an ein und demselben Gebäude in verschiedenen Höhen und dokumentieren so die Geschichte der Stadt und ihres Kampfes mit der ungebärdigen Natur. Die Wasserstandsanzeiger sind in ihrer Aussagekraft allerdings bescheiden, in der Regel wird nur die Wasserhöhe durch einen Strich markiert und das Datum beigefügt. Was

weiter geschah, erfahren wir nur aus anderen Quellen. Neben diesem „offiziellen“ Pegelstand, meist am Rathaus – wie in Passau (Abb. 1) – oder an Kirchen finden sich an manchen Orten noch Marken an Privathäusern, wohl aus dem persönlichen Gedenkwunsch der Eigentümer erwachsen. Die oben zitierte Marke ist mit ihren Reimen und dem bekräftigenden Abschluss schon relativ geschäftig. Der Leser soll sich durch die eingängigen Merk-Verse wohl besser an das Ereignis erinnern können.

Solche bürgerlichen Marken können, wenn sie sich noch am ursprünglichen Ort befinden, unsere Kenntnis über die Wasserverteilung in den betroffenen Städten oft erweitern (Abb. 2).

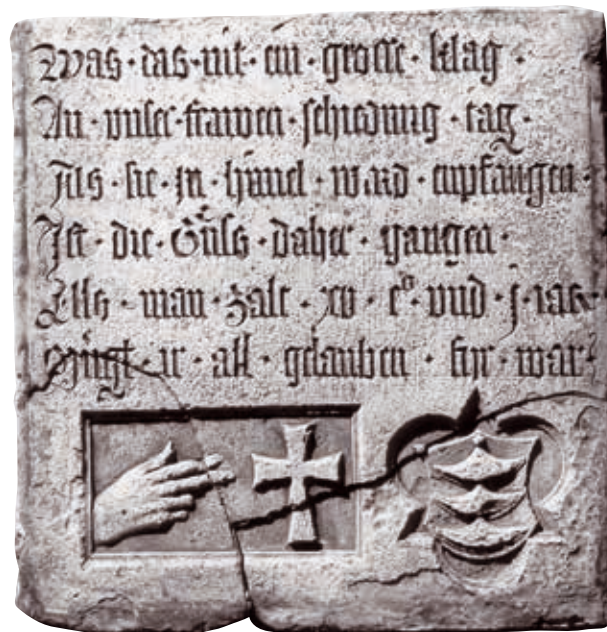


Abb. 2: Hochwassermarke in Passau (1501) mit Wappenschild des bürgerlichen Stifters, Heilig-Geist-Gasse 10. Heute im OberhausMuseum Passau.



Die Folgen der Katastrophe

Neben der Dokumentation der Katastrophe ist auch die Bewältigung und Beseitigung ihrer Folgen Thema von Inschriften. Genannt seien hier zum einen die Votivbilder, mit denen den Folgen der Flut Entgangene den Heiligen dankten, die sie in ihrer Not angerufen hatten und denen sie ihre Rettung zuschrieben. Häufig finden sich solche Bilder im Zusammenhang mit hochwasserbedingten Brückeneinstürzen (Abb. 3). Auch Bittgänge und Wassersegnungen werden dokumentiert.

Die Bewältigung

Neben dem Dank für die Errettung sind es die hochwasserbedingten Baumaßnahmen, die durch Inschriften dokumentiert werden. Im Juli 1442 regnete es in großen Teilen Mittel- und Norddeutschlands über Tage hinweg so stark,

dass weite Teile des Landes unter Wasser standen und zahlreiche Flüsse über die Ufer traten. Dieses so genannte Magdalenenhochwasser (nach dem vielfach am Magdalenenstag, dem 22. Juli, gemessenen Höchststand) gilt in Mitteleuropa als der hydrologische GAU des zweiten Jahrtausends.

Eine Bauinschrift in Würzburg, wohl an einem durch dieses Hochwasser bedingten Neubau, dokumentiert das ganze Ausmaß der Katastrophe (hier in deutscher Übersetzung): „[Es] schwoll der Main so stark an wie nie zuvor, dass er oberhalb der Stufen des Würzburger Domes und noch höher die ersten steinernen

Statuen umspülte. Die Brücke mit den Türmen, die Mauern und viele steinerne Häuser in Würzburg stürzten ein. In diesem Jahr gab es eine ähnliche Überschwemmung in ganz Deutschland und anderen Gebieten.“

Nach dieser Auflistung der Schäden schließt die Inschrift lapidar mit dem Bauvermerk HEC DOM(US) EDIFICATA FUIT A MAG(IST)RO MICHAELE DE HERB(IPOLI) und dokumentiert damit, nach dem Ende der Katastrophe, die Rückkehr zur Normalität (Abb. 4).

Abb. 3: Votivbild des Münchner Zimmermanns Jakob Oefele (1633). Wallfahrtskirche Mariä Himmelfahrt, Tuntenhausen.

DIE AUTORIN

Dr. Christine Steinger ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für die Herausgabe der Deutschen Inschriften des Mittelalters und der frühen Neuzeit (Münchener Abteilung) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Die Kommission erarbeitet Editionen der nachantiken Inschriften Bayerns bis zur Mitte des 17. Jahrhunderts und ist Teil des Unternehmens „Die Deutschen Inschriften“, das von den Akademien der Wissenschaften in Deutschland und Österreich getragen wird.



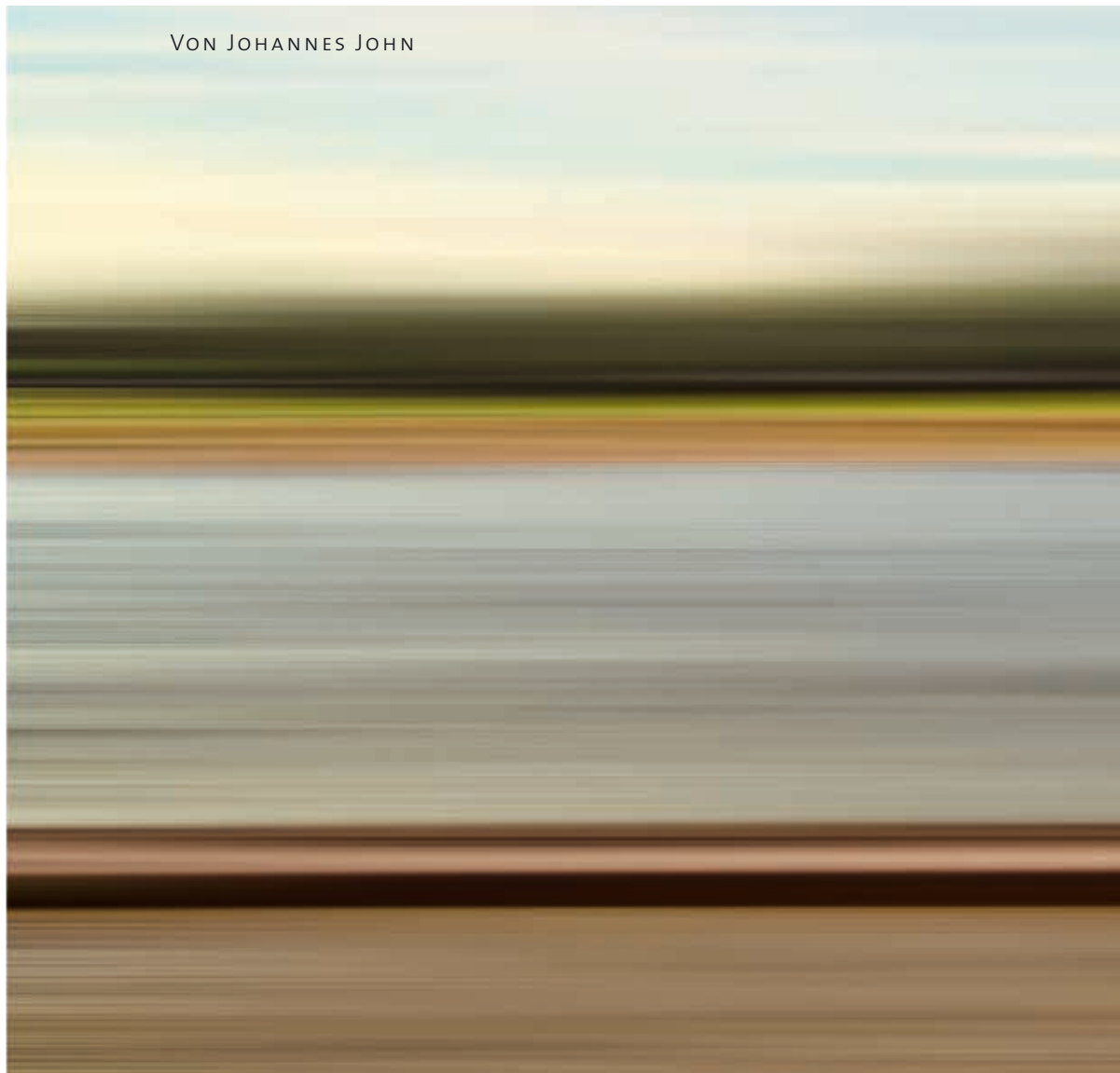
Abb. 4: Bau- und Gedenkinschrift aus Würzburg (1342), vermutlich Dominikanergasse 6. Heute im Mainfränkischen Museum.

Literaturwissenschaft

„Gesänge von Geistern über Wassern“

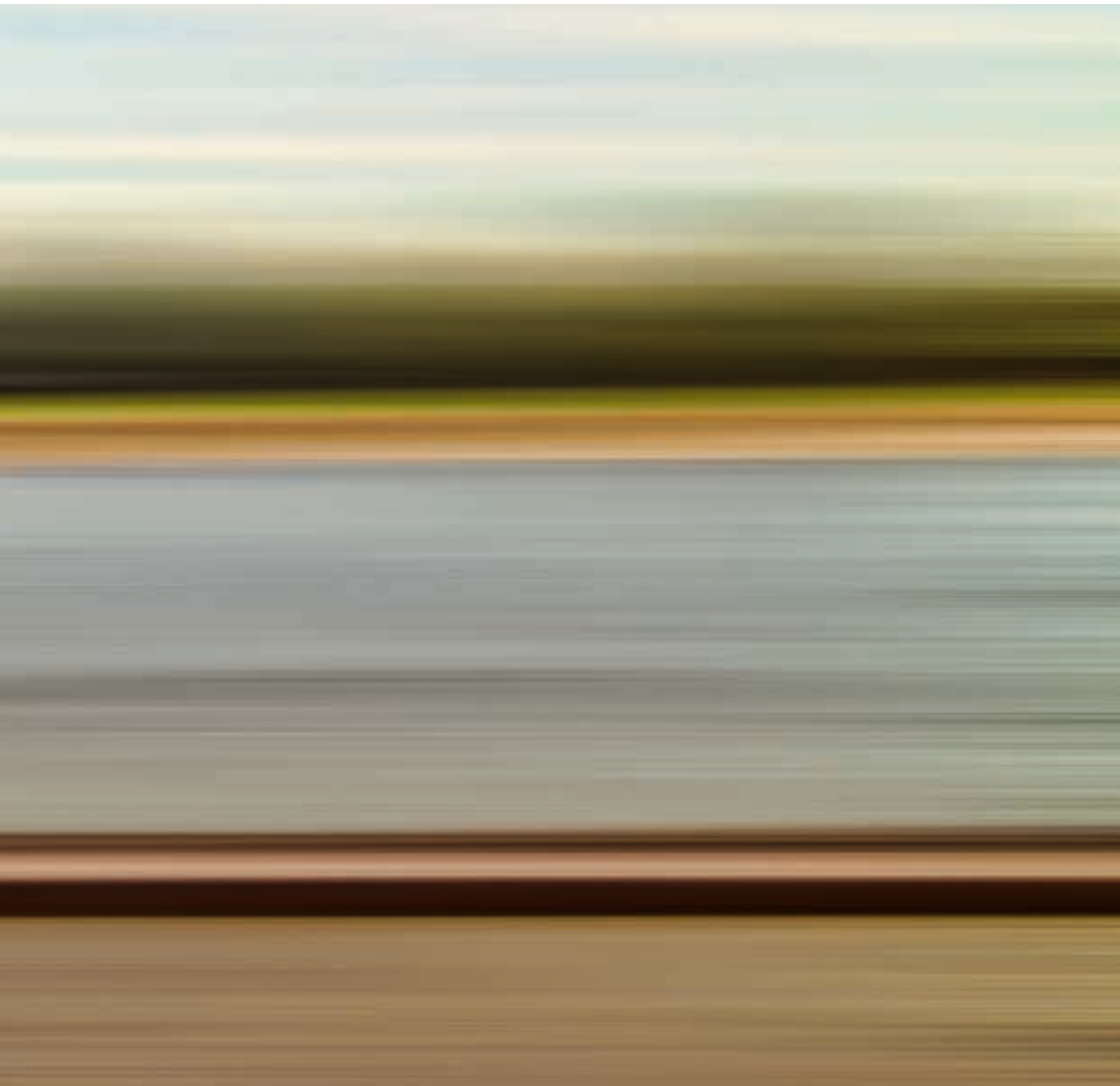
Literarische Exkursionen an den Rhein.

VON JOHANNES JOHN



ALS JOHANN WOLFGANG GOETHE im 2. Akt seines *Faust II*, der „Klassischen Walpurgisnacht“, die beiden griechischen Philosophen Thales und Anaxagoras über die Entstehung des Lebens streiten ließ, handelte es sich dabei keineswegs um ein „Märchen aus uralten Zeiten“. Vielmehr trugen die beiden Protagonisten in antikem Gewand einen Disput aus, der unter dem Gegensatz von „Vulkanisten“ und „Neptunisten“ die zeitgenössische wissenschaftliche Diskussion beschäftigte und spaltete. Es ging

ABB.: LARS KÖRKE / FOTOCOMMUNITY.DE



Alle Rheinfotografien in diesem Beitrag stammen von der Plattform Fotocommunity.de. Links: „Der Rhein bei Düsseldorf“.

um nichts weniger als die buchstäblich grundlegende Frage, ob die Gesteine und Gebirge der Erdoberfläche eruptiv aus dem Erdinnern oder aber durch allmähliche Ablagerungen aus den Wassern des „Urozeans“ entstanden seien. Dass Goethes Aversion gegen den Vulkanismus auch politische Gründe hatte – war ihm der „Aus-

bruch“ der Französischen Revolution doch Zeit seines Lebens *das* Paradigma für den Einbruch des Regellosen und Chaotischen gewesen – mag belegen, dass sich die Interessen an der Beschäftigung mit den vier Elementen Feuer, Wasser, Luft und Erde keineswegs auf den engeren Bereich der Naturforschung begrenzen lassen. Das trifft im Bezirk dichterischer Gestaltung gleichermaßen auf die Naturlyrik zu, die stets mehr ist als eine weltabgewandte, menschenferne Rede von Blumen, Bäumen, Berg und Tal.



„Rhein 15“.

Wasser in der Literatur

In welchem Maße sich das Wasser – ob es sich als Bach, Fluss oder Strom in Bewegung befindet, als stehendes Gewässer Ruhe vermitteln oder als Meer Statik und Dynamik in sich vereinen kann, ob es sich seinen „natürlichen“ Weg bahnt oder uns in Teich und Brunnen künstlich gebändigt begegnet – als das Element mit dem unbestreitbar größten poetischen Potential erweist, belegt schon ein Blick auf eine bezeichnende Körpermetaphorik, die zugleich unterstreicht, wie lebensnotwendig der Mensch auf seine Nähe angewiesen ist. So sprechen wir vom *Wasserkreislauf*, der *Lebensader*, den *Mündungsarmen*, siedeln die Stadt Basel im *Knie* des Rheins an, der sich zuweilen in seinem *Bette* zu wälzen pflegt. Schon das kindliche Erstaunen darüber, dass durch fast jede größere Stadt ein Fluss fließt, erkennt zwar die Kausalitätsverhältnisse, baut aber bereits buchstäblich nah am Wasser. Wenn in vielen Sprachen der Welt zumal große Ströme in der genealogischen Kette immer wieder mit Elternschaft, also dem Zeugungsmythos verknüpft werden, denken wir nur an den „Vater“ Rhein und das „Mütterchen“ Wolga, weisen diese Personifikationen nun aber in der Tat in uralte Zeiten zurück.

Ambivalenz des Wassers

Dabei eignet dem Wasser von Beginn an eine signifikante Ambivalenz. Man kann es trinken wie man in ihm ertrinken kann. In kleinster Menge, als

Regen, ist es Lebensspender, in seiner ungezähmten Masse, etwa als überschwemmende Flutwelle, tödliche Bedrohung. Als segensreicher „Quell des Lebens“ feiern es zahlreiche Ursprungsmythen, die seine Eigentümlichkeit zugleich aber auch als unheimlich und bedrohend empfunden haben, präsentiert es sich uns doch zunächst als reine Oberfläche, die verbirgt, was sich darunter an Tiefen und Untiefen verbergen kann. Aus dieser Urerfahrung entspringen in zahlreichen Kulturen all die Sagen, Märchen und Legenden, die das Wasser mit Flussgöttern und ihrem bei- wie nachgeordneten Personal, allerhand Fabelwesen und nicht zuletzt jener Schar von Nixen und Undinen bevölkern, die den ahnungslosen, meist neugierigen, oft ungestümen und nicht selten lüsternen (meist männlichen) Gast locken und reizen, bevor sie ihn – „Halb zog sie ihn, halb sank er hin ...“ (Goethe, *Der Fischer*) – in ihr nasses Reich und damit sein Verderben ziehen.

In seiner Doppelfunktion als verbindungsstiftender Verkehrs- und Handelsweg wie trennende Barriere – so scheidet in der griechischen Mythologie der Styx die Welt der Lebenden vom Totenreich Hades, wohin der greise Fährmann Charon die Gestorbenen übersetzt – prägt das Wasser auch spezifisch neuzeitliche Welterfahrungen. So bedeutete der Aufbruch des ersten großen Auswandererstroms im 19. Jahrhundert über das „große Wasser“ des Atlantik zwar die Verheißung einer „neuen“, besseren Welt fernab drückender materieller Not oder politischer Verfolgung, zugleich aber auch den Verlust bisheriger sozialer Bindungen an Heimat, Verwandtschaft und Muttersprache. Ob literarisiert oder nicht: Das Phänomen Wasser ist also immer schon sozial

codiert, in ihm „fließen“ politische, ökonomische und kulturelle Elemente ineinander, militärisch-strategische Aspekte nicht zu vergessen, die wohl auch Gaius Iulius Caesar im Auge hatte, wenn er im 4. Buch seines *De bello gallico* insbesondere die „rapiditas“ der Strömungsgeschwindigkeit des Rheins hervorhebt.

Der Rhein in der Literatur

Diese Vielbezüglichkeit – Wasser als geographisches Phänomen, sodann als biologisch-ökologisches System, schließlich als historischer Schauplatz und damit immer auch Gegenstand literarischer Gestaltung wie ideologischer Vereinnahmung – lässt sich an keinem anderen Fluss unseres Sprach- und Kulturraumes besser studieren als am Rhein.



Davon berichtet ja schon eines der ältesten dichterischen Zeugnisse (mittelhoch)deutscher Sprache, dessen Eingangszeilen „Uns ist in alten maeren wonders vil geseit ...“ uns allen geläufig sind. Das *Nibelungenlied* durchziehen zwei kontinentale Ströme, an deren Ufern sich die Geschichte ihres Aufstiegs wie ihres Untergangs ereignet. Zum einen der Rhein, wo sich in Worms der Hof der Nibelungen befindet, woher weiter stromabwärts aus Xanten Siegfried stammt und wo, der Überlieferung nach bei Lorch, Hagen von Tronje den Hort im Rhein versenkt. Und die Donau zum anderen, an der entlang die Nibelungen zum Hof Etzels ziehen und dort ihr Ende finden werden. Die Wiederentdeckung und Funktionalisierung des Nibelungen-Mythos durch Friedrich

Hebbel, Moritz von Schwind und viele andere bis hin zu Richard Wagners *Ring* wird dann wesentlich zur apostrophierten Ideologieggeschichte des 19. Jahrhunderts gehören.

Viele Orte wären in einer Kultur- und Geistesgeschichte dieses Stroms zu nennen, bevor sich an der historischen Schwelle des 19. Jahrhunderts Charakter und Status der Rheindichtung grundlegend verändern und unser Bild dieses Flusses in der Folge bis hin zu Stereotyp und Klischee prägen. Etwa Basel als eines der Zentren des Humanismus, wo ab 1521 Erasmus von Rotterdam an der dort 1460 gegründeten Universität und von 1526 bis 1528 Theophrastus Bombastus von Hohenheim, uns unter dem Namen Paracelsus wohl geläufiger, als Stadtarzt wirkte.

Zu denken ist hier ebenso an Straßburg, wo zur selben Zeit von 1503 bis zu seinem Tod im Jahre 1521 Sebastian Brant als Stadtschreiber, also Kanzler, tätig war, der 1494 in seinem Hauptwerk, der didaktischen Satire *Das Narrenschiff* seinen Zeitgenossen den Spiegel vorgehalten hatte. Fast drei Jahrhunderte später wird von dort aus eine der folgenreichsten literarischen (Jugend)Bewegungen – der „Sturm und Drang“ – ihren Ausgang nehmen, als Ende September 1770 im Gasthof „Zum Geist“ der junge, zur Beendigung seines Studiums nach Straßburg gekommene Goethe mit dem fünf Jahre älteren Johann Gottfried Herder zusammentrifft, der sich dort von einem Augenleiden kurieren lassen wollte. Mainz

„Hochwassertourist fotografiert Hochwassertouristen“.

nicht zu vergessen, wo sich am 21. Oktober 1792 in der Folge der Französischen Revolution eine Republik auf deutschem Boden konstituiert – ein Experiment, das nur bis zum 23. Juli 1793 Bestand hatte und untrennbar mit der Person des Schriftstellers, Naturwissenschaftlers und Philosophen Georg Forster verbunden ist, der dort vor dem „Rheinisch-Deutschen Nationalkonvent“ seine „Rede über die Vereinigung des rheinisch-deutschen Freistaates mit der Frankenrepublik“ hielt.

Wobei sich die Rheinlyrik zu Ende des 18. Jahrhunderts noch eher unschuldig präsentierte. Pure Sinnenfreude gestaltet Johann Heinrich Voß 1794 in seinem *Chorgesang beim Rheinwein* ebenso wie vor ihm Ludwig Christoph Heinrich Hölty 1775 in seinem *Trinklied*, das mit den Versen einsetzt: „Ein Leben wie im Paradies / Gewährt uns Vater Rhein; / Ich geb es zu, ein Kuß ist süß, / Doch süßer ist der Wein. / Ich bin so fröhlich wie

ein Reh, / Das um die Quelle tanzt, / Wenn ich den lieben Schenktisch seh, / Und Gläser drauf gepflanzt.“ Noch berühmter ein anderer Preisgesang dieses Genres, der den Freundschaftskult wie das unbeschwertere Geselligkeit so sehr befördernde Medium mit den Worten feiert: „Bekränzt mit Laub den lieben vollen Becher, / Und trinkt ihn fröhlich leer. / In ganz Europia, Ihr Herren Zecher! / Ist solch ein Wein nicht mehr.“ Und wie es begonnen hat, so endet Matthias Claudius' 1775 verfasstes, vielfach vertontes *Rheinweinlied* auch: „Am Rhein, am Rhein, da wachsen unsre Reben; / Gesegnet sei der Rhein! / Da wachsen sie am Ufer hin, und geben / Uns diesen Labewein.“ Ein locus amoenus, ein Ort deutscher Bukolik, wo freilich weniger die Schäfer als vielmehr die Winzer ihr segensreiches und im besten Falle völkerverbindendes Handwerk versehen.

„Am Rhein II“.

Zur selben Zeit, als Friedrich Hölderlin in seinem Hymnus *Der Wanderer* mit ähnlich universellem Anspruch den Rhein zum elysischen Gefilde erhob („Darum kehre ich zurück an den Rhein, in die glückliche Heimath / Und es wehen, wie einst, zärtliche Lüfte mich an“), erscheint in den Jahren 1801/02 Clemens Brentanos *Godwi oder Das steinerne Bild der Mutter. Ein verwilderter Roman*, in dessen zweitem Teil uns in 25 Strophen und in einer ebenso raffinierten wie virtuoson Nachgestaltung des schlichten Volksliedtons die Geschichte einer unglücklichen Frau erzählt wird, die um ihren verhängnisvollen Einfluss weiß und darunter leidet: „Zu Bacharach am Rheine / Wohnt eine Zauberin, / Sie war so schön und feine / Und riß viel Herzen hin. // Und brachte viel zu schanden / Der Männer rings umher, / Aus ihren Liebesbanden / War keine Rettung mehr.“ Vom Bischof als künftige Nonne in ein Kloster verbannt und von drei Rittern auf diesem Wege begleitet, steigt „Lore Lay“ – so ihr Name – schließlich auf einen Felsen über den Rhein und stürzt sich von dort in die Tiefe. Ihr Selbsttod ist also Erlösung und Befreiung, auch wenn er, gewissermaßen als Kollateralschaden, die drei Ritter ebenfalls das Leben kostet.

DER AUTOR

Dr. Johannes John ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für Neuere Deutsche Literatur der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, wo er die „Historisch-Kritische Gesamtausgabe der Briefe und Werke von Adalbert Stifter“ betreut. Er ist Lehrbeauftragter am Institut für Deutsche Philologie der LMU München.

Wenn sie in ihrer Gestaltung durch Heinrich Heine in seinem *Buch der Lieder* (1827) zur Inkarnation romantischer Rheinlyrik wurde, griff dieser dort also auf einen bereits präfigurierten Mythos zurück, wenngleich etwa Ludwig Tieck oder Joseph von Eichendorff das Geschehen in einen Wald verlegten. Wie denn auch Heines „Loreley“ auf merkwürdige Weise unbestimmt bleibt. Dass sie schön ist, sich ihr goldenes Haar kämmt und dabei ein Lied singt – mehr erfahren wir über sie nicht. Und auch hier erweist sich, was so schlicht und naiv scheint, bei genauerem Hinsehen als vielfach gebrochen. Von Handlung oder gar dra-

matischem Geschehen kann nicht gesprochen werden, statt epischer Unmittelbarkeit wird vielmehr der romantische Mythos als „Märchen aus alten Zeiten“ zitiert, rezipiert und reflektiert.

Der Rhein als Zankapfel

Nur zwei Jahrzehnte später – Heine lebte längst im Pariser Exil und gestaltet im V. Caput seines *Versepos Deutschland. Ein Wintermärchen* ein wehmütiges Zwiegespräch mit dem „Vater Rhein“ – sollte der Fluss nun vollends zum Zankapfel und Streitobjekt werden. Den unversöhnlich hasserfüllten Ton, den schon Heinrich von Kleist 1808 in seiner Ode *Germania an ihre Kinder* und nachfolgend im Zuge der Befreiungskriege Ernst Moritz Arndt in seinem Gedicht *Des Deutschen Vaterland* angeschlagen hatten, findet in einer lyrischen Mobilmachung dieses und jenseits des Flusses seine Fortsetzung. Der Rhein mutiert nunmehr zur Bastion und Wallstatt, spätestens 1870/71 dann zum Schlachtfeld und zur Leichenstätte. Auf die Verse von Nikolaus Becker („Sie sollen ihn nicht haben, / Den freien deutschen Rhein, / Ob sie wie gierige Raben / Sich heiser danach schreien ...“) entgegnete Alfred de Musset in seinem Gedicht *Le Rhin allemand*: „Nous l'avons eu, votre Rhin allemand ...“ – und kaum ein Dichter des Vormärz, der sich wie etwa Georg Herwegh, Ferdinand Freiligrath oder Robert Prutz nicht in diese Kontroverse eingemischt hätte. In jenen Jahren entsteht in diesem historischen, hüben wie drüben chauvinistisch getrüben Kontext auch jenes Gedicht, das wiederum erst drei Jahrzehnte später seinen Siegenzug antreten und nun vollends zur Martialisierung des Rheins führen sollte: nämlich Max Schnecken-





burgers *Wacht am Rhein*. Insbesondere durch ihre Vertonung gehörten dessen Strophen wesentlich zur atmosphärischen „Begleitmusik“ des deutsch-französischen Kriegs von 1870/71, wo sie rasch den Charakter eines Gassenhauers wie den einer Nationalhymne annahmen: „Es braust ein Ruf wie Donnerhall, / Wie Schwertgeklirr und Wogenprall: / Zum Rhein, zum Rhein; zum deutschen Rhein! / Wer will des Stromes Hüter sein? / Lieb Vaterland, magst ruhig sein; / Fest steht und treu die Wacht am Rhein!“

Der Fluss als Opfer

Gemessen daran hat der Rhein in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts dann doch wieder in friedliche Bahnen gefunden, wenngleich ihm auf andere Weise nunmehr wenig Ruhe beschert war. In dem Maße nämlich, in dem in der Lyrik wie im allgemeinen Sprachgebrauch der Terminus „Natur“ durch den der „Umwelt“ ersetzt wurde, was deren zunehmende Gefährdung stets beinhaltet, drohte ihm als Biotop und Ökosystem grenzüberschreitend der Kollaps. Am folgenreichsten war dies im Jahre 1986, als infolge eines Brandes im Basler Chemiekonzern Sandoz mit dem Löschwasser auch 30 Tonnen hochgiftiger Chemikalien in den Fluss strömten und am Oberrhein nahezu den gesamten Fischbestand töteten. Der Strom als Kloake, als Müllhalde und Giftopfer zugleich: Wiederholt wird die tote Kreatur, „kriecht am Schock“, wie es in Friedrich Christian Delius' *Geschichte vom Rheinfisch* heißt, zum Symbol und Menetekel. Und wenn Jürgen Becker, Träger des Büchner-Preises 2014, in *Ein ganzer Freitag* einen Nachmittag an „diesem Chemie-Fluß“ schildert, so schließt das Gedicht fernab aller Burgenherrlichkeit mit einem Blick auf „die Raffinerien von Wesseling“.

Diese Apokalypse ist nicht eingetreten. Wo und in welchem Umfang es gelungen ist, im Rhein mittlerweile Fische wieder heimisch werden zu lassen, kann man diversen Websites entnehmen. Auch soll man in ihm da und dort wieder baden und schwimmen können. Und doch: So wie die Naturlyrik spätestens seit den politischen wie ökologischen Katastrophen des vergangenen Jahrhunderts implicite oder expressis verbis stets auch Aussagen über die condition humaine trifft, wird Wasser – künftig womöglich mehr noch als je – gefährdet, begehrt und, wie zu befürchten ist, umkämpft bleiben. ■

Gesang der Geister über den Wassern

Des Menschen Seele
Gleicht dem Wasser:
Vom Himmel kommt es,
Zum Himmel steigt es,
Und wieder nieder
Zur Erde muß es,
Ewig wechselnd.

Strömt von der hohen,
Steilen Felswand
Der reine Strahl,
Dann stäubt er lieblich
In Wolkenwellen
Zum glatten Fels,
Und leicht empfangen
Wallt er verschleiernd
Leiserausend
Zur Tiefe nieder.

Ragen Klippen
Dem Sturz entgegen,
Schäumt er unmutig
Stufenweise
Zum Abgrund.

Im flachen Bette
Schleicht er das Wiesental hin,
Und in dem glatten See
Weiden ihr Antlitz
Alle Gestirne.

Wind ist der Welle
Lieblicher Buhler,
Wind mischt vom Grund aus
Schäumende Wogen.

Seele des Menschen,
Wie gleichst du dem Wasser!
Schicksal des Menschen,
Wie gleichst du dem Wind!

Johann Wolfgang Goethe (1779)

„Landlust – Landfrust“ und „Emotionen in Organisationen“: Neue Mitglieder im Jungen Kolleg der Akademie

Anfang März 2014 traten fünf neue Mitglieder in das Junge Kolleg der Akademie für den wissenschaftlichen Nachwuchs in Bayern ein. Sie haben sich in einem Auswahlverfahren unter rund 50 exzellenten Bewerberinnen und Bewerbern durchgesetzt. Drei der neuen Mitglieder stellte „Akademie Aktuell“ bereits in Ausgabe 2/2014 vor.



DR. MANUEL TRUMMER (Jg. 1979) studierte Vergleichende Kulturwissenschaft und Kunstgeschichte in Regensburg, wo er 2011 promoviert wurde. Er ist als wissenschaftlicher Assistent für Vergleichende Kulturwissenschaft an der Universität Regensburg tätig. Im Jungen Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften ist er mit dem Forschungsvorhaben „Landlust – Landfrust? Ländliche Alltagskultur zwischen visual governance und demographisch-struktureller Transformation“ vertreten.

Worum geht es in Ihrem Forschungsvorhaben allgemein?

Mein Forschungsvorhaben thematisiert die Folgen des aktuellen demographischen und strukturellen Wandels der ländlichen Regionen Bayerns für deren Bewohner. Es handelt sich um einen qualitativ-empirischen Ansatz, der versucht, die Aushandlungen der globalen Veränderungen auf einer lokalen alltagskulturellen Ebene zu verstehen. Kurz: Wie schlagen sich die gegenwärtigen Transformationsprozesse im konkreten Alltagsleben der Bewohner der „schrumpfenden“ ländlichen Gemeinden nieder, und welche Folgen hat das für deren kollektive Identitäten? Das Forschungsvorhaben will damit einen zentralen Beitrag zum besseren Verständnis ländlicher Governancekulturen leisten und zugleich einen differenzierten, komplexeren Blick auf die europäischen Transformationsprozesse – die die Mehrheit der Bevölkerung in Europa betreffen – ermöglichen.

Woran arbeiten Sie aktuell?

Im Moment kontextualisiere ich die aktuellen Bevölkerungsprognosen für Bayern sowie den Landesentwicklungsplan Bayern auf einer lokalen Ebene durch Interviews mit Bürgermeister und Kommunalpolitikern.

Was erwarten Sie von der Mitgliedschaft im Jungen Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften?

Ich erwarte zum einen, durch den intensiven Austausch im interdisziplinären Netzwerk der Kollegiaten neue, überraschende Perspektiven auf mein eigenes Forschungsfeld zu entdecken. Gleichmaßen hoffe ich, zu offenen Forschungsfragen im Kollegiatenkreis substanziell aus meinem Fachkontext beitragen zu dürfen. Besonders wertvoll erscheint mir aber der Erfahrungsaustausch zur wissenschaftlichen Karriereplanung, der sich im Kreise gleichaltriger Kollegen mit ähnlichen beruflichen Erfahrungen als sehr gewinnbringend gestalten kann.

Wie kamen Sie zu Ihrem Forschungsfeld?

Ich hatte mich seit längerem mit der Bedeutung von neuen und alten Traditionen für die kollektiven Identitäten im ländlichen Raum beschäftigt. Dabei stellte ich fest, dass innerhalb der Kulturwissenschaft die Folgen der elementaren demographischen und strukturellen Transformationsprozesse noch kaum betrachtet wurden. In diese Lücke wollte ich stoßen und das Thema „ländliche Alltagskultur“ neu im Diskurs etablieren.

Welche Stationen Ihrer bisherigen wissenschaftlichen Laufbahn waren Ihnen rückblickend besonders wichtig?

Als besonders wertvoll erachte ich neben den ersten Jahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter vor allem meine Berufszeit außerhalb des universitären Kontexts. Als Leiter des UNESCO-Geopark-Informationszentrums Walldürn lernte ich nicht nur, wie komplexe wissenschaftliche Sachverhalte für ein breites öffentliches Publi-

kum zu formulieren sind, sondern vor allem auch, worauf es bei Dingen wie Mitarbeiterführung, politischen Hierarchien und Kommunikationsprozessen oder kulturwirtschaftlichen Belangen ankommt.

Welches Berufsfeld hätte Sie – außer der Wissenschaft – gereizt?

Ich hätte mir sehr gut vorstellen können, als Architekt zu arbeiten.

Haben Sie ein wissenschaftliches Vorbild?

Meinen Doktorvater. Nicht nur aufgrund seines immer wieder aufs Neue beeindruckenden, substantiellen Fachwissens und seines strategischen Geschicks, sondern vor allem, weil er es trotz des mitunter unbarmherzigen Drucks im universitären Tagesgeschäft stets schafft, Menschlichkeit und Respekt an erster Stelle zu denken.

Welche persönlichen Eigenschaften sind bei Ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit besonders wichtig?

Die Fähigkeit, offen und ehrlich mit Menschen sprechen zu können, ist für meine Forschung unerlässlich. Dabei ist besonders eine gewisse Bodenständigkeit von Vorteil, die meinen Interviewpartnern hilft, mir zu vertrauen und mir ihr Wissen zu vermitteln. Gerade diese permanente Arbeit mit Menschen in der empirisch-qualitativen Forschung gefällt mir sehr. Aber auch die Tatsache, dass man als Alltagskulturforscher jeden Tag etwas Neues über seine eigene Lebenswelt erfährt.

Was wünschen Sie sich für Ihre berufliche Zukunft?

Zunächst hoffe ich, mein laufendes Forschungsprojekt erfolgreich zu beenden. Mittelfristig wünsche ich mir Planungssicherheit ohne befristete Arbeitsverträge – nicht zuletzt in Hinblick auf meine Familie.

Wie beurteilen Sie die Veränderungen, die in den letzten Jahren die deutsche Wissenschaftslandschaft geprägt haben (etwa Exzellenzinitiative, Juniorprofessuren, W-Besoldung u. ä.)?

Ich denke, dass viele interessante Ansätze, wie etwa die Einführung von Juniorprofessuren, in der Praxis nicht optimal umgesetzt werden. Besonders die Befristungspolitik, die inzwischen auch die W2-Ebene erreicht hat, sowie der permanente Drittmitteldruck und der damit verbundene Arbeitsaufwand stehen – zumindest in den Geisteswissenschaften – einer qualitätvollen, fundierten Forschung nicht selten im Wege. Hier würde ich mir langfristige Strategien und mehr Freiheiten wünschen.

Was machen Sie gerne, wenn Sie nicht forschen?

Ich versuche, soviel wie möglich zu reisen. Demnächst wieder entlang der Seidenstraße. Der Blick von außen hilft mir, Europa besser zu verstehen. Daneben gilt meine Leidenschaft guter Musik und gutem Essen. ■

DR. JUTTA WOLLERSHEIM, M. SC. (Jg. 1979) studierte BWL an der Frankfurt School of Finance & Management. 2010 wurde sie dort promoviert. Derzeit habilitiert sie sich am Lehrstuhl für Strategie und Organisation der TU München und leitet dort eine Nachwuchsgruppe zum Thema „The many faces of academic success: Leistung und Anreize in Forschung und Lehre“. Ihr Forschungsvorhaben im Jungen Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften trägt den Titel: „Emotionen in Organisationen“.

Worum geht es in Ihrem Forschungsvorhaben allgemein?

Ich beschäftige mich mit der Wirkung von Emotionen in Organisationen. Trotz der großen Relevanz und Präsenz von Emotionen in Organisationen sind diese bislang noch nicht ausreichend in die wirtschaftswissenschaftliche Forschung und Theorie integriert. Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, die Bedeutung von Emotionen für

die betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis besser zu erschließen und zu verstehen, inwieweit Emotionen das Handeln in Organisationen und somit indirekt deren wirtschaftlichen Erfolg beeinflussen. In einem ersten Schritt soll untersucht werden, inwieweit sich diskrete negative Emotionen erfolgsförderlich bzw. erfolgsmindernd auf die Bildung organisationaler Routinen auswirken. Zudem soll die Wirkung auf bislang nicht analysierte erfolgsrelevante individuelle Verhaltensweisen am Arbeitsplatz analysiert werden.

Woran arbeiten Sie aktuell?

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Emotionen in Organisationen“ arbeite ich aktuell an der Auswertung der Daten eines Laborexperiments. Dabei analysiere ich konkret, wie Angst und



Trauer auf bestimmte Dimensionen der organisationalen Routinebildung wirken.

Zudem leite ich seit März dieses Jahres eine durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Nachwuchsgruppe zum Thema „The many faces of academic success: Leistung und Anreize in Forschung und Lehre“. Hier wird das Ziel verfolgt, quantitative und qualitative Indikatoren zum Messen und Bewerten von Leistung in Forschung und Lehre zu analysieren und intendierte und nicht-intendierte Auswirkungen von Zielvereinbarungen auf Leistung aufzudecken.

Neben meinen Habilitationsprojekten arbeite ich aktuell an zwei Büchern, die ich in diesem Jahr mitherausgeben werde: Das erste Buch beschäftigt sich mit „Leistung und Anreizen“ im Hochschulkontext (herausgegeben von Isabell M. Welppe, Jutta Wollersheim, Stefanie Ringelhan und Margit Osterloh) und wird in englischer Sprache im Springer Verlag erscheinen. Im zweiten Buch werden Beiträge einer regelmäßig stattfindenden Tagung veröffentlicht, die sich an Nachwuchswissenschaftler der Rechts- und Wirtschaftswissenschaften richtet. Es wird mit dem Titel „Forum Mergers & Acquisitions 2014: Beiträge aus rechts- und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht“ ebenfalls im Springer Verlag erscheinen (herausgegeben von Jutta Wollersheim und Isabell M. Welppe).

Was erwarten Sie von der Mitgliedschaft im Jungen Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften?

Von der Mitgliedschaft im Jungen Kolleg erwarte ich einen interdisziplinären Austausch zu wissenschaftlichen Fragestellungen und Forschungs-ideen. Dabei ist für mich nicht nur die Möglichkeit, meine eigene Forschung in einem breiteren Kontext zu diskutieren, sehr wertvoll, sondern auch der Einblick in andere Fachgebiete. Da ich mich im Rahmen meiner Habilitation mit dem Thema Leistung und Anreize in Forschung und Lehre beschäftige, ist es für mich zudem generell interessant, mich mit jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern anderer Fachgebiete bezüglich ihrer Forschung und ihrer Arbeitsbedingungen auszutauschen. Daher freue ich mich sehr darauf, gemeinsam Tagungen zu organisieren und mit anderen Mitgliedern des Jungen Kollegs zusammenzuarbeiten.

INTERVIEWS

Die Fragen stellte Dr. Ellen Latzin. Sie leitet die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Wie kamen Sie zu Ihrem Fachgebiet?

Ich habe mich bereits zu Schulzeiten für betriebswirtschaftliche Fragestellungen interessiert. Für die durch das Junge Kolleg geförderte Habilitationsstudie habe ich nach einem Thema gesucht, das neben dem betriebswirtschaftlichen Fokus einen interdisziplinären Bezug aufweist. Das Thema „Emotionen in Organisationen“ ermöglicht eine interdisziplinäre Arbeit in verschiedener Hinsicht: Neben dem mit Emotionen einhergehenden psychologischen Bezug hatte ich beispielweise im Rahmen einer Vorstudie schon Berührungspunkte zur Experimentalphysik, um mit einer Highspeed-Kamera zu überprüfen, ob Bilder, die in einem Computerprogramm nur unterbewusst wahrnehmbar eingeblendet werden sollten, tatsächlich eingeblendet wurden (oder nicht sichtbar waren, weil sie gar nicht eingeblendet wurden).

Welche Stationen Ihrer bisherigen wissenschaftlichen Laufbahn waren rückblickend besonders prägend für Sie?

Ich denke, dass mich alle bisherigen Stationen meiner wissenschaftlichen Laufbahn in gewisser Weise geprägt haben. Besonders motiviert hat mich mein diesjähriger Auslandsaufenthalt an der Carnegie Mellon University, der unter anderem meine Vorstellung davon prägte, wie Studierende und Doktoranden auf die Forschung innerhalb meines Fachgebiets vorbereitet und in das wissenschaftliche Arbeiten eingeführt werden können.

Welches Berufsfeld hätte Sie – außer der Wissenschaft – gereizt?

Ich habe vor meinem Studium eine Bankausbildung absolviert und studienbegleitend in verschiedenen Bereichen einer Investmentbank gearbeitet. Grundsätzlich hätte ich mir vorstellen können, diesen Weg weiterzuverfolgen. Meine Freude am wissenschaftlichen Arbeiten hat mich jedoch dazu bewogen, der Bank den Rücken zu kehren und mich vollkommen der Wissenschaft zu widmen. Dies war für mich auch im Nachhinein betrachtet die richtige Entscheidung.

Haben Sie ein wissenschaftliches Vorbild?

Es gibt mehrere Wissenschaftler, die für mich eine Vorbildfunktion haben und von denen ich sehr viel lernen kann (und von denen ich in der direkten Zusammenarbeit auch schon sehr viel gelernt habe). Besonders hat mich ein Wissenschaftler aus den USA – Michael D. Cohen – beeindruckt. Er hat mich während meiner Promotion und darüber hinaus stark unterstützt und mir mit Blick auf meine Forschung sehr

wertvolle Hinweise gegeben. Dies ist deshalb erwähnenswert, weil wir uns nie persönlich kennen gelernt haben und ich ihn ursprünglich nur aufgrund einer Frage zu einer seiner Studien kontaktiert hatte. Michael D. Cohen ist im letzten Jahr leider verstorben. Bei einer Konferenz, die im Gedenken an ihn ausgerichtet wurde, ist sehr deutlich geworden, dass er ein Wissenschaftler war, der neben seiner eigenen beeindruckenden Forschung (Nachwuchs)-Wissenschaftler an vielen Stellen unterstützt und gefördert sowie Netzwerke unter Wissenschaftlern geschaffen hat.

Welche persönlichen Eigenschaften sind bei Ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit besonders wichtig? Was schätzen Sie an Ihrer Tätigkeit?

Für meine wissenschaftliche Tätigkeit ist es besonders wichtig, sich nicht nur auf die betriebswirtschaftliche Forschung zu konzentrieren, sondern auch Ergebnisse und Methoden anderer Fachdisziplinen zu berücksichtigen – insofern ist ein Interesse an interdisziplinärer Forschung wesentlich. Zudem kommt der Begeisterung für das Thema und der intrinsischen Motivation eine besonders hohe Bedeutung zu. Letztlich sind aber auch ein gewisses Maß an Durchhaltevermögen im positiven Sinne, eine hohe Kritikfähigkeit mit Blick auf Bewertungen, denen man regelmäßig ausgesetzt ist, und die Fähigkeit, Prioritäten zu setzen, meiner Meinung nach essentiell, um eine wissenschaftliche Tätigkeit erfolgreich ausführen zu können.

An meiner Arbeit schätze ich besonders die Vielseitigkeit sowie die Möglichkeit, immer wieder etwas Neues lernen und mich persönlich sowie fachlich weiterentwickeln zu können. Dabei schätze ich vor allem auch die hohe zeitliche und inhaltliche Autonomie.

Was wünschen Sie sich für Ihre berufliche Zukunft?

Für meine berufliche Zukunft wünsche ich mir, durch meine Arbeit zum Fortschritt der betriebswirtschaftlichen Forschung beitragen zu können. Hierbei würde es mir Freude bereiten, in interdisziplinären und internationalen Teams zu arbeiten. Um meine Forschung auch langfristig vorantreiben zu können, wünsche ich mir eine unbefristete Professur.

Wie beurteilen Sie die Veränderungen, die in den letzten Jahren die deutsche Wissenschaftslandschaft geprägt haben (etwa Exzellenzinitiative, Juniorprofessuren, W-Besoldung u. ä.)?

Unter anderem wird das Thema Leistung und Anreize in der Wissenschaft zunehmend diskutiert. Dabei ist auffällig, dass die Multidimensionalität des Leistungsbegriffs häufig nicht beachtet, sondern vielmehr lediglich auf Forschungsleistung abgestellt wird (z. B. gemessen anhand der Anzahl an hochrangigen Zeitschriftenpublikationen). Ich denke, dass es wichtig wäre, zusätzlich zur Forschungsleistung andere Bereiche zu betrachten und somit der Vielseitigkeit von Leistung im akademischen Bereich gerecht zu werden. Dabei sollten zur Leistungsbewertung auch qualitative Kriterien herangezogen werden.

Was machen Sie gerne, wenn Sie nicht forschen?

In meiner Freizeit reise ich sehr gerne und verbringe Zeit mit Freunden. ■

Das Junge Kolleg

Dem Jungen Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften gehören derzeit 20 Mitglieder aus den unterschiedlichsten Disziplinen an. Neben Chemie, Literaturwissenschaft, Japanologie, Rechtswissenschaften, Medizin und Geschichte sind u. a. auch Physik, Biologie, Theaterwissenschaften sowie Sprach- und Literaturwissenschaft vertreten.

Mit ihrem Kolleg fördert die Akademie gezielt den wissenschaftlichen Nachwuchs in Bayern. Den Mitgliedern steht in der Akademie ein hochkarätiges Forum für den interdisziplinären wissenschaftlichen Austausch zur Verfügung. Mit der Mitgliedschaft ist ein Forschungsstipendium von 12.000 Euro jährlich verbunden. Die Förderung läuft drei Jahre und kann bei erfolgreicher Zwischenbegutachtung bis zu sechs Jahre betragen. Die jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler stellen während der Förderdauer ihre Forschungsvorhaben in interdisziplinären Veranstaltungen vor und diskutieren sie mit Spitzenwissenschaftlern aus dem Umfeld der Akademie.

Das Junge Kolleg wird vom Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst finanziert. 2013 kamen erstmals zwei Stipendien aus Mitteln der Rosner & Seidl Stiftung hinzu, die Forschungsprojekte im Bereich des Umweltschutzes oder der Heimatpflege unterstützt.

www.badw.de/jungeskolleg

Akademie intern

Kurz notiert

Runde Geburtstage

90 Jahre

Prof. Dr. Friedrich L. Bauer, Mathematik und Informatik, ordentl. Mitglied (1968), am 10. Juni 2014.

Prof. Dr. René Pillorget, Geschichte des Humanismus und der Renaissance, korrespond. Mitglied (1991), am 26. Juli 2014.

85 Jahre

Prof. Dr. Martin Heckel, Staats- und Kirchenrecht, korrespond. Mitglied (1996), am 22. Mai 2014.

Prof. Dr. Giles Constables, Mediävistik, korrespond. Mitglied (1983), am 1. Juni 2014.

Prof. Dr. Knut Borchardt, Wirtschaftsgeschichte und Volkswirtschaftslehre, ordentl. Mitglied (1974), am 2. Juni 2014.

Prof. Dr. Wolf-Dieter Stempel, Romanische Philologie, ordentl. Mitglied (1988), am 7. Juli 2014.

80 Jahre

Prof. Dr. Josef Stoer, Angewandte Mathematik, ordentl. Mitglied (1981), am 21. Juni 2014.

Prof. Dr. Gerhard Neumann, Neue Deutsche Literatur, korrespond. Mitglied (2008), am 22. Juni 2014.

75 Jahre

Prof. Dr. Christoph Reigber, Geodäsie, korrespond. Mitglied (2002), am 8. Juli 2014.

70 Jahre

Prof. Dr. Walter Gander, Informatik, korrespond. Mitglied (2002), am 24. Mai 2014.

Prof. Dr. Ivan Netuka, Mathematik, korrespond. Mitglied (2000), am 7. Juli 2014.

Prof. Dr. Frank Büttner, Kunstgeschichte, ordentl. Mitglied (2006), am 26. Juli 2014.

65 Jahre

Prof. Dr. Norbert Oettinger, Vergleichende Indogermanische Sprachwissenschaft, ordentl. Mitglied (2006), am 12. Juni 2014.

Prof. Dr. Elmar W. Weiler, Pflanzenphysiologie, korrespond. Mitglied (2006), am 13. Juni 2014.

Prof. Dr. Peter Gruss, Pflanzenphysiologie, ordentl. Mitglied (2004) und ehem. Präsident der Max-Planck-Gesellschaft, am 28. Juni 2014.

Prof. Dr. Yuri Yurievich Gleba, Genetik, korrespond. Mitglied (1992), am 13. Juli 2014.

Verstorben

Prof. Dr.-Ing. Werner Wiedemann, ehem. akademischer Direktor am Walther-Meißner-Institut, * 6. Juni 1931 † 3. Juni 2014.

Orden, Preise und Ehrungen

S. K. H. Franz Herzog von Bayern, Ehrenmitglied (1999), Verdienstorden von Rumänien.

Prof. Dr. Peter Häberle, Öffentliches Recht, Rechtsphilosophie und Kirchenrecht, ordentl. Mitglied (1998), Héctor-Fix-Zamudio-Preis der UNAM-Universität Mexico City und Ehrenmedaille der Universität Lissabon.

Ehrendoktorwürden

Prof. Dr. Reiner Rummel, Astronomische und Physikalische Geodäsie, ordentl. Mitglied (1997), Ehrendoktorat der Aristoteles-Universität Thessaloniki.

Ausgeschiedene Mitarbeiter

Dr. Heidi Escher-Vetter, Kommission für Erdmessung und Glaziologie, am 31. Mai 2014.

Dr. Michael Bernhard, Musikhistorische Kommission, am 30. Juni 2014.

Dr. Helmut Richter, Leibniz-Rechenzentrum (LRZ), am 30. Juni 2014.

Goyal Sadhna, Leibniz-Rechenzentrum (LRZ), am 30. Juni 2014.

Dr. Horst-Dieter Steinhöfer, Leibniz-Rechenzentrum (LRZ), am 31. Juli 2014.

DIE AUTORIN

Gabriele Sieber ist Mitarbeiterin der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Neue Mitarbeiter

Dr. Vasileios Karakasis,
Leibniz-Rechenzentrum (LRZ),
am 1. Juni 2014.

Dr. Lou Bohlen,
Forschungsreferat,
am 1. Juli 2014.

Dr. Frank Deppe,
Walther-Meißner-Institut
(WMI),
am 1. Juli 2014.



Wechsel nach Heidelberg

PETER SCHMIDT, seit 2009 wissenschaftlicher Sekretär der Kommission für Deutsche Literatur des Mittelalters der Akademie, nahm zum 1. April 2014 einen Ruf als Professor für Mittelalterliche Kunstgeschichte am Institut für Europäische Kunstgeschichte der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg an. Er bleibt der Kommission künftig als Mitglied verbunden. ■

Junges Kolleg

Dr. Michael Pecka, Neurobiologie, Wahl zum Sprecher.
Prof. Dr. Alexandra Kirsch, Medieninformatik, Wahl zur stellvertretenden Sprecherin.

Dienstjubiläen

40-jähriges Dienstjubiläum

Guillermina Schröder-Roman Haza, Leibniz-Rechenzentrum (LRZ),
am 17. Juni 2014.

25-jähriges Dienstjubiläum

Dr. Ulrike Kirchgesser, Leibniz-Rechenzentrum (LRZ),
am 1. Juni 2014.

Zuwahlen in den Kommissionen

Prof. Dr. Maria Selig, Romanistik, ordentl. Mitglied (2009), Wahl in die Kommission für Deutsche Literatur des Mittelalters.

Weitere Personalien

Prof. Dr. Benedikt Grothe, Neurobiologie, ordentl. Mitglied (2003), Bestellung zum Max-Planck-Fellow am Max-Planck-Institut für Neurobiologie.



Ehrung

AM 18. JULI 2014 FEIERTE Akademiepräsident Karl-Heinz Hoffmann seinen 75. Geburtstag. Aus diesem Anlass fand in der Fakultät für Mathematik der TU München auf dem Forschungscampus Garching ein Festkolloquium statt. Martin Grötschel (Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin) und Stefan Müller (Hausdorff Center for Mathematics, Bonn) hielten die Festvorträge. Karl-Heinz Hoffmann ist seit 2011 Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, im Herbst 2013 wurde er für eine zweite Amtszeit wiedergewählt. Im Bild: Karl-Heinz Hoffmann (r.) mit dem Unternehmer und Wissenschaftler Ulrich L. Rohde, Ehrenmitglied der Akademie seit 2013. ■

Oktober bis Dezember 2014

OKTOBER 2014

Dienstag, 7. bis Freitag, 10. Oktober 2014

Writing Semitic: Scripts, Documents, Languages in Historical Context

The Sixth International Society for Arabic Papyrology (ISAP) Conference, organisiert von der Kommission für Semitische Philologie der BAdW in Kooperation mit dem Lehrstuhl Arabistik und Islamwissenschaft der LMU München und der Carl Friedrich von Siemens Stiftung.

*Sitzungssaal der BAdW (7., 9. und 10.10.)
Carl Friedrich von Siemens Stiftung (8.10.)
Südliches Schlossrondell, 80638 München
ganztägig*

Infos unter: pap@semphil.badw.de

Samstag, 11. Oktober 2014

Tag der offenen Tür auf dem Forschungscampus Garching

Das Leibniz-Rechenzentrum und das Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung der BAdW stellen sich vor.

*Forschungscampus
85748 Garching
11.00–18.00 Uhr*

Infos unter: www.forschung-garching.de

Dienstag, 14. Oktober 2014

Wissenschaftliche Neugier und die Zukunft unseres Forschungssystems

Podiumsdiskussion mit Prof. Dr. Sabine Doering-Manteuffel (Uni Augsburg/Uni Bayern e. V.), Prof. Dr. Manfred Prenzel (TU München/Wissenschaftsrat), Prof. Dr. Martin Stratmann (Max-Planck-Gesellschaft) und Prof. Dr. Peter Strohschneider (Deutsche Forschungsgemeinschaft/BAdW). Es moderiert Heike Schmolli (Frankfurter Allgemeine Zeitung). In Kooperation mit der Carl von Linde-Akademie der TU München.

*Plenarsaal
18.00 Uhr*

Montag, 20. Oktober 2014

Workshop der AG Digitale Geisteswissenschaften

*Sitzungssaal
18.00 Uhr*

Gäste sind willkommen

Dienstag, 21. Oktober 2014

Tagung der AG Elektronisches Publizieren

*Sitzungssaal
11.00–17.00 Uhr*

Freitag, 24. Oktober 2014

What drives (skin) autoimmunity?

Workshop, organisiert von Prof. Dr. Kilian Eyerich (TU München/Junges Kolleg der BAdW).

*Sitzungssaal
14.00–17.15 Uhr*

Anmeldung unter: anmeldung@badw.de

Freitag, 24. Oktober 2014

Plenarsitzung

*Sitzungssaal
15.00 Uhr*

Nur für Mitglieder der Akademie und des Jungen Kollegs

Mittwoch, 29. bis Freitag, 31. Oktober 2014

Meister Schule Werkstatt – Zuschreibungen in der griechischen Vasenmalerei und die Organisation antiker Keramikproduktion

Internationale Tagung des Corpus Vasorum Antiquorum.

*Sitzungssäle
ganztägig*

Anmeldung unter: post@cva.badw.de

NOVEMBER 2014

Montag, 10. November 2014

Towards spatial hearing with cochlear implants

Workshop, organisiert von Dr. Michael Pecka (LMU München/Junges Kolleg der BAdW).

*Sitzungssaal
ganztägig*

Montag, 10. November 2014

Science Slam „Digitale Welten – Wissenschaftskommunikation im Wirtshaus“

In Kooperation mit acatech, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, im Rahmen der Münchner Wissenschaftstage 2014.

*Wirtshaus am Bavariapark
Theresienhöhe 15
80339 München
20.30 Uhr*

Freitag, 14. November 2014

Klassensitzungen

Sitzungssäle

15.00 Uhr

Nur für Mitglieder der Akademie und des Jungen Kollegs

Montag, 24. November 2014

Wasser – Lebensgrundlage und Konfliktstoff

Akademientag 2014, veranstaltet von der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften unter Federführung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und der Künste. Mit Schüler-Workshops, Vorträgen, Podiumsdiskussionen und Projektständen aller acht in der Union zusammengeschlossenen Akademien.

Alle Säle

10.00 bis 18.00 Uhr

Montag, 24. November 2014

„Gesang der Geister über den Wassern“. Wasser(sinn)bilder in der Musik

Eine kulturgeschichtliche Abendpartie in Wort und Ton zum Abschluss des Akademientages 2014, mit Prof. Dr. Ulrich Konrad (Uni Würzburg/BAdW). Absolventen der Hochschule für Musik und Theater spielen Werke für Klavier vierhändig von Bedřich Smetana, Felix Mendelssohn Bartholdy und Claude Debussy.

Plenarsaal

19.30 Uhr

Mittwoch, 26. November 2014

Bayern als internationaler Wissenschaftsstandort

Kaminabend, organisiert von Victor Spoomaker, Ph. D. (MPI für Psychiatrie/Junges Kolleg der BAdW).

Vorbibliothek

18.00 Uhr

Nur mit Einladung

DEZEMBER 2014

Samstag, 6. Dezember 2014

Feierliche Jahressitzung 2014

U. a. mit einem Grußwort von Staatsminister Dr. Ludwig Spaenle, dem Festvortrag „Medizinische Bildgebung: Von der Diagnostik zur Therapie“ von Prof. Dr. med. Markus Schwaiger (München/BAdW) und Werken von Richard Strauss (1864–1949).

Herkulesaal

Residenz

80539 München

10.00 Uhr

Nur mit Einladung

Freitag, 12. Dezember 2014

Klassensitzungen

Sitzungssäle

15.00 Uhr

Nur für Mitglieder der Akademie und des Jungen Kollegs

Akademientag 2014



Hochwasser in Deggendorf, Juni 2013.

„Wasser – Lebensgrundlage und Konfliktstoff“

24. November 2014, 10.00–18.00 Uhr

Bayerische Akademie der Wissenschaften,

Alfons-Goppel-Straße 11, 80539 München.

„WASSER – LEBENSGRUNDLAGE UND KONFLIKTSTOFF“: Unter diesem Motto laden die acht in der Union zusammengeschlossenen Akademien am **24. November 2014** nach München. Experten unterschiedlicher Disziplinen werden zentrale Fragen des Managements von Wasserressourcen im 21. Jahrhundert beleuchten. Sie nehmen naturwissenschaftliche und technische Zusammenhänge ebenso in den Blick wie politische, juristische und ethische – von der Trinkwasserversorgung bis zum Hochwasserschutz, vom Menschenrecht auf Wasser bis zu neuen Formen der Energiegewinnung. 14 Forschungsprojekte geben in Ausstellungen, Wissenswerkstätten, Gesprächen und an Rechercestationen Einblicke in die Arbeit an den Akademien. Am Vormittag finden vier exklusive Schülerworkshops statt, und zwar über Hochwasserschutz, historische Orts- und Familiennamen zum Thema Wasser, den Rückgang der Alpengletscher sowie über die Rolle des Wassers in einer ethisch vertretbaren Energieversorgung.

Infos und Anmeldung zu den Workshops unter: www.akademienunion.de

Auf einen Blick

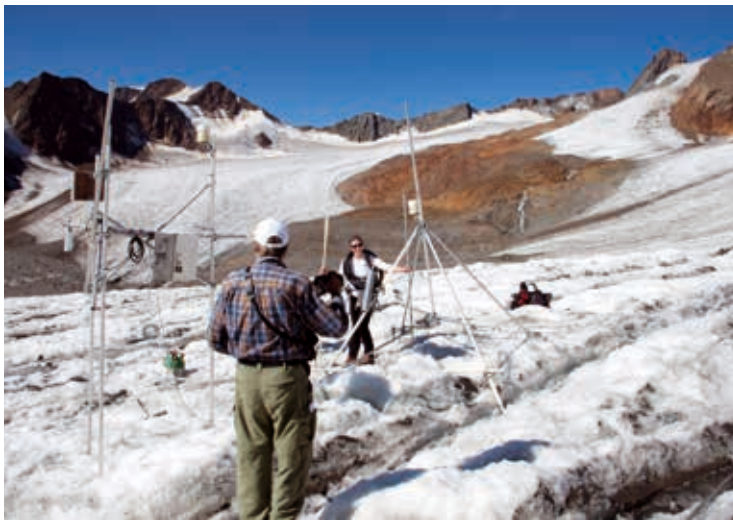
Die Bayerische Akademie der Wissenschaften, gegründet 1759 von Kurfürst Max III. Joseph, ist die größte und eine der ältesten Wissenschaftsakademien in Deutschland. Sie ist zugleich Forschungseinrichtung von internationalem Rang und Gelehrten-gesellschaft.

auf langfristigen Vorhaben, die die Basis für weiterführende Forschungen liefern und die kulturelle Überlieferung sichern, etwa kritische Editionen, wissenschaftliche Wörterbücher sowie exakt erhobene Messreihen. Die Akademie, die seit 1959 in der Münchner Residenz ihren Sitz hat, ist Trägerin des Leibniz-Rechenzentrums, eines von drei nationalen Höchstleistungsrechenzentren, und des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung (beide in Garching bei München).

... und Gelehrte Gesellschaft

Die Mitglieder bilden die Gelehrte Gesellschaft der Akademie. Satzungsgemäß müssen sie durch ihre Forschungen zu einer „wesentlichen Erweiterung des Wissensbestandes“ beigetragen haben. Eine Selbstbewerbung ist nicht möglich. Die ordentlichen Mitglieder, mit Wohnsitz oder Dienort in Bayern, sind stimmberechtigt und zur Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Akademie verpflichtet. Derzeit hat die Akademie 177 ordentliche und 148 korrespondierende Mitglieder sowie zwei Ehrenmitglieder. Dem exzellenten Nachwuchs in Bayern dient das Junge Kolleg, das den 20 Mitgliedern neben finanzieller Unterstützung ein hochkarätiges Forum für den interdisziplinären Austausch bietet.

Mit Veranstaltungen wendet sich die Akademie an das wissenschaftliche Fachpublikum und die interessierte Öffentlichkeit: Vorträge, Podiumsdiskussionen oder Gesprächsabende informieren über neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung.



An der automatischen Messeinrichtung „Ablatometer“ der Kommission für Erdmessung und Glaziologie auf dem Vernagtferner in 2.995 m Höhe, September 2011.

Sie interessieren sich für die öffentlichen Veranstaltungen des Hauses oder die Zeitschrift „Akademie Aktuell“? Gerne nehmen wir Sie in unseren Verteiler auf.

KONTAKT

Dr. Ellen Latzin
Tel. 089-23031-1141
presse@badw.de

Außeruniversitäre Forschungseinrichtung ...

Die rund 450 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Akademie betreiben in 37 Kommissionen Grundlagenforschung in den Geistes- und Naturwissenschaften. Der Schwerpunkt liegt dabei

Impressum

HERAUSGEBER

Prof. Dr. rer. nat. Karl-Heinz Hoffmann
Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAW)

KONZEPT UND CHEFREDAKTION

Dr. Ellen Latzin
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der BAdW

ART DIRECTION

Tausendblauwerk, Michael Berwanger
info@tausendblauwerk.de
www.tausendblauwerk.de

VERLAG UND ANSCHRIFT

Bayerische Akademie der Wissenschaften
Alfons-Goppel-Straße 11, 80539 München
Tel. 089-23031-0
info@badw.de

ISSN 1436-753X

ANZEIGEN

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der BAdW

HERSTELLUNG

Landesamt für Vermessung und Geoinformation
Alexandrastraße 4, 80538 München

REDAKTIONSSCHLUSS DIESER AUSGABE

10. August 2014

Erscheinungsweise: 4 Hefte pro Jahr. Der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag der Freunde der BAdW enthalten. Die Texte dürfen nur mit Genehmigung der BAdW reproduziert werden, um ein Belegexemplar wird gebeten. Die Wiedergabe der Abbildungen ist mit den Inhabern der Bildrechte abzuklären. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben die Meinung der Autoren wieder. Sie finden das Magazin auch unter www.badw.de.

VERANSTALTUNGEN 2014 | 2015

Montag, 6. Oktober 2014, 19:00 Uhr

Vorstellung der Fellows des 35. Kollegjahres und ihrer Forschungsprojekte

Dr. Peter Kramper, Prof. Dr. Harald Müller, Prof. Dr. Igor Narskij, Juniorprof. Dr. Barbara Schlieben

Montag, 13. Oktober 2014, 19:00 Uhr

VORTRAG: *Das Herbarium als wissenschaftliches Objekt: 1545 bis zur Gegenwart*

Associate Prof. Dr. Alexandra Cook (University of Hong Kong, Honorary Fellow des Historischen Kollegs)

Montag, 8. Dezember 2014, 19:00 Uhr

PODIUMSDISKUSSION: *1914 = 2014? Von Parallelen und Gleichungen in der Zeitgeschichte*

Prof. Dr. Michael Epkenhans (Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr), Prof. Dr. Thomas Risse (FU Berlin), Dr. Johan Schloemann (SZ), PD Dr. Magnus Brechtken und Prof. Dr. Andreas Wirsching (beide IfZ) / Kooperation mit dem Institut für Zeitgeschichte (IfZ)

Montag, 19. Januar 2015, 19:00 Uhr

VORTRAG: *Falsche Päpste. Der Verlust der Eindeutigkeit und seine Bewältigung im Mittelalter*

Prof. Dr. Harald Müller (RWTH Aachen University, Senior Fellow des Historischen Kollegs)

Freitag und Samstag, 30.–31. Januar 2015

KOLLOQUIUM: *Leidmotive**

Prof. Dr. Georges Didi-Huberman (École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, Preisträger des Internationalen Forschungsförderpreises der Max Weber Stiftung beim Historischen Kolleg)

Donnerstag bis Samstag, 19.–21. März 2015

KOLLOQUIUM: *Autorität und Krise. Der Verlust der Eindeutigkeit und seine Folgen am Beispiel der mittelalterlichen Gegenpäpste**

Prof. Dr. Harald Müller (RWTH Aachen University, Senior Fellow des Historischen Kollegs)

Montag, 27. April 2015, 19:00 Uhr

VORTRAG: *Nation, Präzision und Wissenschaft:*

Die Suche nach dem „absoluten“ Maß im Europa des 19. Jahrhunderts

Dr. Peter Kramper (DHI London, Gerda Henkel Junior Fellow des Historischen Kollegs)

Alle Veranstaltungen finden im Historischen Kolleg (Kaulbachstr. 15, 80539 München) statt. Die Anzahl der Plätze im Historischen Kolleg ist auf maximal 99 begrenzt. Wenn diese Zahl erreicht ist, kann leider kein Einlass mehr gewährt werden. Einlass zu den Vorträgen ab 18:30 Uhr und maximal bis zur angegebenen Anfangszeit. * Eine Teilnahme an den wissenschaftlichen Kolloquien ist nur nach vorheriger Anmeldung beim Historischen Kolleg (karl-ulrich.gelberg@historischeskolleg.de) möglich.



Forschung live.

Wissenschaft in
Garching. Tag der
offenen Tür am
11. Oktober 2014
11 bis 18 Uhr

Es laden ein:

- Leibniz-Rechenzentrum der BAdW
- Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung der BAdW
- Fakultät für Mathematik der TUM
- Fakultät für Informatik der TUM
- Fakultät für Maschinenwesen der TUM
- Fakultät für Chemie der TUM
- Physik-Department der TUM
- Munich School of Engineering (MSE) der TUM
- TUM Institute for Advanced Study (TUM-IAS)
- International Graduate School of Science and Engineering (IGSSE) der TUM
- Exzellenzcluster CIPSM
- Exzellenzcluster MAP
- Exzellenzcluster NIM
- Exzellenzcluster SyNergy
- Exzellenzcluster Universe
- Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) der TUM
- Zentralinstitut für Medizintechnik der TUM (IMETUM)

- Walter Schottky Institut (WSI) und Zentrum für Nanotechnologie und Nanomaterialien (ZNN) der TUM
- Maier-Leibnitz-Laboratorium (MLL) der TUM und der LMU
- Europäische Südsternwarte (ESO)
- Fraunhofer-Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit (AISEC)
- Fraunhofer Projektgruppe Elektrochemische Speicher (ECS)
- GALILEO
- General Electric Global Research Center Europe
- Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
- ITG Isotope Technologies Garching GmbH
- Metall-Innung München-Freising-Erding
- T-Systems Solutions for Research GmbH
- TÜV Rheinland ISTec GmbH
- Werkfeuerwehr des Campus Garching

Kulinarisches bieten das StuCafé der Mensa des Studentenwerks München, „Crazy Bean“ im Institute for Advanced Study, Imbissstände vor dem IMETUM, Cafeterien in den Fakultäten und in der ESO sowie die Campus-Cneipe C.

Für den Besuch der Forschungs-Neutronenquelle gilt: Alter über 18 Jahre, gültiger Personalausweis oder Reisepass erforderlich. Anmeldung am Infostand im Physik-Gebäude. Es empfiehlt sich eine frühzeitige Anmeldung, da nur begrenzte Kapazitäten für Führungen vorhanden sind.



Anfahrt: U6 bis Endstation „Garching

Forschungszentrum“ oder Autobahn A9 Ausfahrt „Garching-Nord“. Es stehen nur begrenzt Parkmöglichkeiten zur Verfügung.

Kostenlose Shuttle-Busse auf dem Gelände.

www.forschung-garching.de

