

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

# RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

*Schwerpunkt*

## UNTER DER ERDE

**KLIMA:** WELCHE GEFAHR UNTER DEM WALD LAUERT

**U-BAHN:** WIE MAN DEN BESTEN FLUCHTWEG FINDET

**BIBEL:** WAS UNS IN DER HÖLLE ERWARTET

# 28  
Jahrgang

Nr. 2 | 2018

# FORSCHUNG ZWISCHEN FREIHEIT UND VERANTWORTUNG

## WER SCHREIBT DER WISSENSCHAFT DIE AGENDA?

Politik, Gesellschaft, Wirtschaft, Medien:  
Sie alle erheben Ansprüche an Forscherinnen  
und Forscher. Wie weit darf der Einfluss dieser  
Akteure gehen? Oder anders herum: Ist es ver-  
tretbar, Wissenschaft in Freiheit abgekoppelt von  
den Bedürfnissen anderer Gruppen zu betreiben?

Darüber wollen wir mit Ihnen diskutieren!

---

**21. November 2018**

8.30 bis 13.30 Uhr

---

**Veranstaltungsort:**

Blue Square  
Kortumstraße 90  
44787 Bochum

**Infos und Anmeldung bis 9. November 2018:**

Marco Rustemeyer  
Dezernat Hochschulkommunikation  
Tel. 0234 32 22140  
E-Mail: [marco.rustemeyer@uv.rub.de](mailto:marco.rustemeyer@uv.rub.de)  
[www.blue-square.rub.de/verantwortung](http://www.blue-square.rub.de/verantwortung)



**NUCLEUS**



# BEWEGUNG BRINGT FORTSCHRITT!

Bleiben Sie in Bewegung: Besuchen Sie einen von **440 Kursen** in mehr als **95 Sportarten** oder trainieren Sie im Unifit, dem **Fitnessstudio der RUB**.

→ [www.hochschulsport-bochum.de](http://www.hochschulsport-bochum.de)

HOCHSCHULSPORT  
BOCHUM 





RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

# WAS WAR ZUERST DA: HUHN ODER EI?



**Jeden Monat spannende Vorträge  
aus der Wissenschaft**

→ [www.rub.de/bluesquare](http://www.rub.de/bluesquare)

**BLUE SQUARE** – Universität zum Anfassen  
KORTUMSTR. 90, 44787 BOCHUM



# AUS DER REDAKTION

**U**nter der Erde – im Vergleich zu unserem vorherigen, eher abstrakten Schwerpunkt „Grenzen der Wissenschaft“ hatten wir es bei der aktuellen Ausgabe mit vielen bildlich vorstellbaren Themen zu tun: Werkzeuge für den Tunnelbau, Salzmumien, Bergbau, U-Bahn-Tunnel. Schnell hatten wir eine Vielzahl an Motiven für die Gestaltung im Kopf. So war auch flott eine Idee für das Cover gefunden. Ein Blick auf die Grasnarbe mit Einblicken ins Erdreich sollte es sein. Ganz leicht. Ganz leicht?

Für das Motiv fuhr unser Fotograf 60 Kilometer, um einen Quadratmeter Rollrasen zu besorgen, buddelte Erde aus dem Garten aus, die er einweichen musste, weil sie von dem langen Sommer völlig ausgetrocknet war, und sägte die Front aus einen Blumenkasten, um einen freien Fotoblick auf die künstliche Mini-Erdoberfläche zu bekommen.

Ganz so einfach, wie wir es uns vorgestellt hatten, war es also doch nicht. Das Ergebnis gefällt uns dafür sehr – und unseren Leserinnen und Lesern hoffentlich auch.

*Julia Weiler für das Redaktionsteam*

## RUBIN IM NETZ



Alle Rubin-Artikel im Newsportal der RUB:  
[news.rub.de/rubin](https://news.rub.de/rubin)

# INHALT



- 03 Aus der Redaktion
- 06 Forschung in Bildern
- 10 Wissenshäppchen
- 12 *Umwelttechnik*  
Hochwasserrisiko besser abschätzen



- 16 *Schwerpunkt*  
**UNTER DER ERDE**
- 18 *Geowissenschaften*  
**Was unter dem Wald schläft**
- 22 *Klimatologie*  
**Den besten Fluchtweg aus U-Bahn-Stationen finden**
- 26 *Archäologie*  
**Jahrhunderte im Salz begraben**
- 30 *Tunnelbau*  
**Gegen Furchen, Risse und Materialbruch**



18



- 34 *Geowissenschaften*  
**Die Dürren der Vergangenheit und Zukunft**
- 38 *Jura · Im Gespräch*  
**Nach dem Kohleausstieg ist noch lange nicht Schluss**
- 42 *Geschichte*  
**Diagnose Staublunge**
- 46 *Seismologie*  
**Wie die Alpen von unten aussehen**
- 50 *Theologie · Im Gespräch*  
**Hinabgestiegen in das Reich des Todes**

54

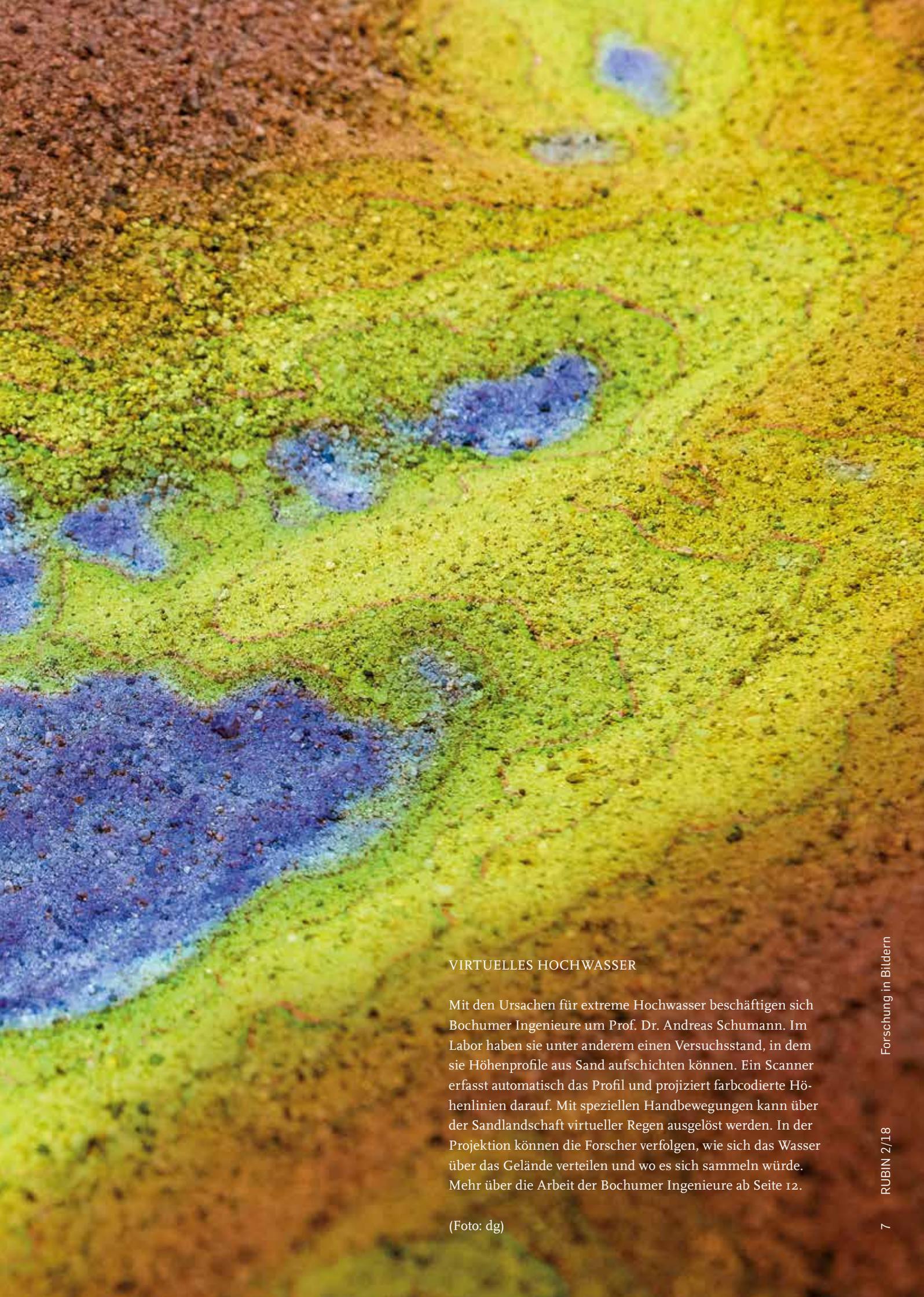


- 54 *IT-Sicherheit*  
**Mehr Regeln für den intelligenten Haushalt**
- 58 *Ethik*  
**Was die moderne Wissenschaft kann, darf und soll**
- 60 *Geowissenschaften · Standpunkt*  
**Massiver Technikeinsatz gegen den Klimawandel**
- 61 *Theologie · Standpunkt*  
**Optimierung als die uns erlösende Macht?**
- 62 **Redaktionsschluss**

22







#### VIRTUELLES HOCHWASSER

Mit den Ursachen für extreme Hochwasser beschäftigen sich Bochumer Ingenieure um Prof. Dr. Andreas Schumann. Im Labor haben sie unter anderem einen Versuchsstand, in dem sie Höhenprofile aus Sand aufschichten können. Ein Scanner erfasst automatisch das Profil und projiziert farbcodierte Höhenlinien darauf. Mit speziellen Handbewegungen kann über der Sandlandschaft virtueller Regen ausgelöst werden. In der Projektion können die Forscher verfolgen, wie sich das Wasser über das Gelände verteilen und wo es sich sammeln würde. Mehr über die Arbeit der Bochumer Ingenieure ab Seite 12.

(Foto: dg)

## GLETSCHERHÖHLE

Gletscherhöhlen wie diese auf dem Mount Hood im US-Bundesstaat Washington verändern sich ständig, aber bislang gibt es nur wenig klimatologisch ausgerichtete Forschung über sie. RUB-Wissenschaftler Prof. Dr. Andreas Pflitsch nimmt regelmäßig die Strapazen auf sich, schneebedeckte Vulkane zu besteigen, um den Höhlen neue Geheimnisse zu entlocken. Auch im Sommer 2018 war er wieder auf mehreren Exkursionen, auf einer davon entstand dieses Foto.

(Foto: Brent McGregor)

➔ [news.rub.de/gletscherhoehle-mount-hood](https://news.rub.de/gletscherhoehle-mount-hood)





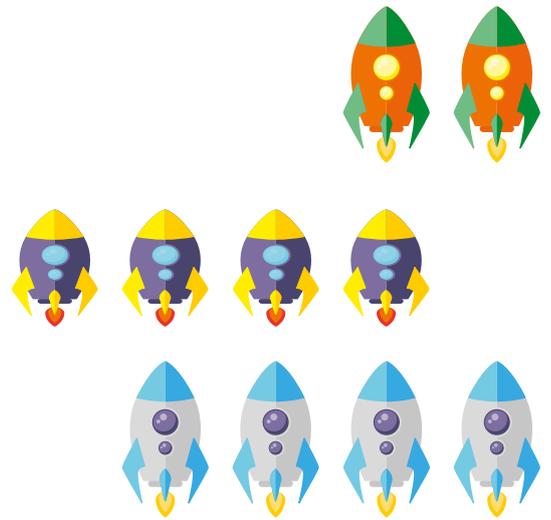
PROXIMA b

39.735.000.000.000 km

380.000 km  
MOOND



# HABEN WIR DIE ZWEITE ERDE GEFUNDEN?



In dem Jahr vor seinem Tod hat der berühmte Physiker Stephen Hawking gewarnt, dass die Ressourcen der Erde in ein paar Hundert Jahren verbraucht sein würden. Überleben könne die Menschheit nur, wenn sie schnell einen weiteren Planeten besiedeln würde. Aber wo soll sie sein, die zweite Erde?

Mit einer Entfernung von nur 4,2 Lichtjahren scheint Proxima b im Sternensystem Alpha Centauri derzeit der beste Kandidat zu sein. Er wurde als erdähnlich eingestuft. Was wir über ihn wissen, verrät Astrophysiker Prof. Dr. Rolf Chini. „Der Planet besitzt mindestens die 1,3-fache Masse der Erde“, erklärt er. „Er könnte aber auch bis zu zwei- oder dreimal schwerer sein.“ Auf den ersten Blick mag das unerheblich erscheinen. Aber: „Man muss bedenken, dass Menschen durch die stärkere Gravitation ebenfalls zwei- bis dreimal schwerer wären und sich nicht mehr fortbewegen könnten“, so der Bochumer Forscher.

Immerhin könnte Proxima b in der sogenannten habitablen Zone liegen. Er umkreist seinen Stern zwar auf einer wesentlich engeren Bahn als die Erde ihre Sonne. Aber da der Stern deutlich kühler als die Sonne ist, könnte es auf Proxima b trotzdem flüssiges Wasser geben. Wobei das noch von vielen anderen Faktoren abhängt, etwa der Planetenrotation, der Atmosphäre oder der Oberflächenbeschaffenheit.

## Ziemlich kurze Jahre

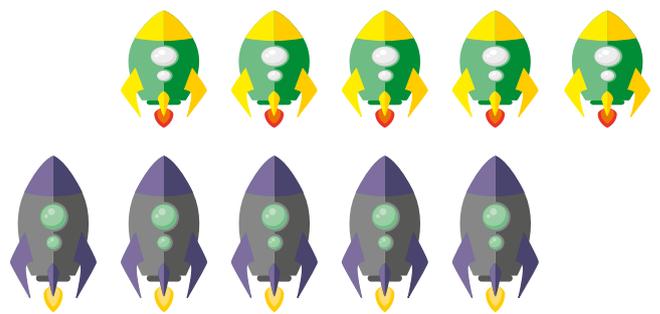
Bekannt ist auch, dass ein Jahr auf Proxima b ziemlich kurz ist: 11,2 Erdentage, um genau zu sein. „Da der Planet seinen Stern in so wenigen Tagen umkreist, ist es wahrscheinlich, dass er ihm immer die gleiche Seite zuwendet, so wie der Mond der Erde“, erklärt Chini. Es wäre also auf einer Seite des Planeten warm, auf der anderen ziemlich kalt. Und es kommt ein weiteres Problem hinzu. Astronomen beobach-

ten bei dem Stern, um den die mögliche zweite Erde kreist, jährlich extreme Helligkeitsausbrüche. „Rechnungen zeigen, dass solche Ausbrüche den Sauerstoffgehalt einer irdischen Atmosphäre in nur fünf Jahren um 90 Prozent reduzieren würden“, schildert Chini. Die UV-Strahlung des Ausbruchs im Jahr 2016 hätte alle Mikroorganismen – wenn es denn welche gegeben hätte – vernichtet.

## Eine sehr lange Reise

„Dass Proxima b bewohnbar ist, können wir also ausschließen“, folgert Rolf Chini. Und selbst wenn dort Leben möglich wäre, müssten wir immer noch hinkommen. Die Entfernung der Erde zum Mond beträgt eine Lichtsekunde. Proxima b ist 4,2 Lichtjahre weit weg. Mit aktuell verfügbaren Antriebstechnologien wäre man mehrere zehntausend Jahre unterwegs. „Wir bräuchten also schon Antriebe, wie sie in Science-Fiction-Romanen üblich sind – und die jenseits unserer heutigen physikalischen Grenzen liegen.“

jwe



# HOCHWASSERRISIKO BESSER ABSCHÄTZEN

*Seit 1993 sind in Deutschland vermehrt Flüsse über die Ufer getreten. Ein Beleg für den Klimawandel?*

**H**ochwasser im Gebiet der Elbe ist keine Seltenheit. Doch die Flut 2002 traf die Bevölkerung weitestgehend unvorbereitet. Häuser, Straßen und Brücken fielen den Wassermassen zum Opfer, teilweise brachen Strom- und Telefonversorgung zusammen, Dörfer waren von der Außenwelt abgeschnitten. Die Schäden in Deutschland beliefen sich am Ende auf 9 Milliarden Euro, einige Menschen verloren in der Flut ihr Leben.

2013 wurde Mitteleuropa erneut von einem extremen Hochwasser heimgesucht, und auch die Elbe trat wieder über die Ufer. Doch die Schäden in Sachsen waren weitaus geringer als elf Jahre zuvor. Der Freistaat hatte nach den Erfahrungen von 2002 in neue Hochwasserschutzanlagen investiert. An den Grundlagen dafür war das Team um Prof. Dr. Andreas Schumann vom Bochumer Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik beteiligt gewesen. „2002 wurde klar, dass die statistischen Modelle für die Vorhersage von extremen Hochwasserereignissen nicht mehr passen“, erzählt er. Stattdessen waren extreme Hochwasser wahrscheinlicher, als das Modell dies prognostizierte. Die Bochumer Hydrologen entwickelten ein neues statistisches Modell, das sie seither immer weiter optimieren.

Im Rahmen einer von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Forschungsgruppe gehen die Ingenieure der RUB den Ursachen extremer Hochwasser in Deutschland auf den Grund und verbessern so die statistischen Bewertungsmöglichkeiten. In ihrem Modell unterscheiden sie drei Arten von Hochwasser, die auf verschiedene Ursachen zurückgehen: Starkregen, der nur ein oder zwei Tage andauert, Dauerregen über drei und mehr Tage und schneebeeinflusstes Hochwasser durch Schneeschmelze.

Früher wurden die Jahreshöchstwerte statistisch analysiert, das statistische Modell unterschied also nicht zwischen den



Im Labor an der RUB können Studierende verschiedene hochwasserrelevante Phänomene im Versuch nachvollziehen.

drei Hochwassertypen. Genau das ist aber notwendig, um die Hochwasserwahrscheinlichkeit abzuschätzen. Ein kurzer, lokal begrenzter Starkregen kann zum Beispiel in kleineren Gebieten die Flüsse über die Ufer treten lassen, in größeren Gebieten aber nicht. „Der Rhein in Köln kann Hochwasser nur in Folge von Dauerregen führen, weil lokale Regen räumlich ausgeglichen werden“, veranschaulicht Schumann. Seine Gruppe rechnete die drei Hochwassertypen für das neue Modell mühsam auseinander. Dazu schauten die Forscherinnen und Forscher zurück bis zum Beginn der Beobachtungsreihen, die in Einzelfällen 150 Jahre, meist zwischen 50 und 70 Jahre zurückreichten. Sie entwarfen für jeden Hochwassertyp eine eigene Statistik, die die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses berechnet. Als Grundlage erhielten sie von den jeweiligen Landesämtern Aufzeichnungen der Abflussdaten bestimmter Flüsse und setzten diese mit meteorologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes zum gleichen Zeitpunkt in Beziehung. So erhielten sie eine Statistik, welche Wetterereignisse welche Effekte in den Flüssen auslösen. Darauf basierend können sie Aussagen zum Hochwasserrisiko für die Zukunft ableiten. Prinzipiell funktioniert das Modell für ganz Deutschland, allerdings muss es für jedes Gebiet angepasst werden.

### **Hochwasser treten unregelmäßig auf**

Wichtig für eine möglichst gute Aussage sind auch die Randbedingungen jeder Region. Dazu zählen Bodenfeuchte, Bewaldung, ob und wie ein Gebiet landwirtschaftlich genutzt oder bebaut ist sowie das Relief des Geländes, das zum Beispiel bedingt, ob es eine steile oder flache Flutwelle gibt und wie schnell das Hochwasser abfließt.

Das neue statistische Modell basiert auf Daten des Flusses Mulde und aus dem Gebiet Ostharz. „Wir können nun aus- ▶



Wie sich ein Fluss durch ein unebenes Flussbett oder durch einen begrabigten Kanal bewegen würde, erklärt Andreas Schumann anhand eines Modells.

” IN DEN MILLIONENSTÄDTEN  
AFRIKAS KÖNNEN DURCH EIN HOCH-  
WASSER GANZE VOLKSWIRTSCHAFTEN  
ZUSAMMENBRECHEN. “

*Andreas Schumann*



Aus Sand kann im Labor ein Höhenprofil aufgeschichtet werden. Ein Scanner erfasst es automatisch und projiziert farbcodierte Höhenlinien darauf.

rechnen, wie wahrscheinlich es ist, dass in einem beliebigen Jahr eine bestimmte Art von Hochwasser auftritt“, resümiert Schumann. Allerdings sind die Ereignisse nicht gleichmäßig über die Zeit verteilt. „1993 und 1995 gab es am Rhein Hochwasser, die beide so stark waren, dass sie theoretisch nur einmal in einhundert Jahren hätten auftreten sollen. Aber sie lagen zeitlich eng beieinander, und bereits 1920 und 1926 hatte es ähnlich große Hochwasserereignisse gegeben“, so der Ingenieur. Die Elbe-Hochwasser 2002 und 2013 sind ein weiteres Beispiel für eine solche Unregelmäßigkeit. „Zuvor war Dresden nur einmal so stark überschwemmt gewesen, nämlich 1845. Dann passierte es gleich zweimal innerhalb von zwölf Jahren“, verdeutlicht Schumann.

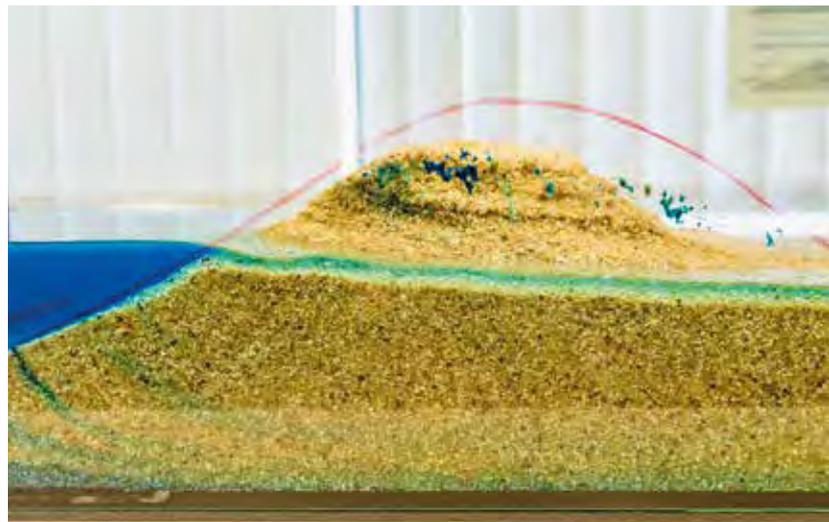
Gemeinsam mit Meteorologinnen und Meteorologen von der Goethe-Universität Frankfurt suchen die Bochumer Ingenieure derzeit nach einer Erklärung für die zeitliche Abfolge der Extremereignisse. Hochwasserarme und hochwasserreiche Perioden kann das Modell bislang nicht berücksichtigen. Die Kooperationspartner wollen auch verstehen, warum gewisse Regionen häufig gemeinsam unter Hochwasser leiden. Warum treten Sommerhochwasser häufig an Elbe und Donau gemeinsam auf? Warum ist der Rhein in der Regel nicht gleichzeitig betroffen? Solche Fragen wollen die Forscher künftig beantworten können.

### Kein Beleg für den Klimawandel

Klar ist: Seit ungefähr 1993 befindet sich Deutschland in einer hochwasserreichen Zeit. „Natürlich stellt sich immer die Frage, ob das die Folgen des Klimawandels sind“, weiß Andreas Schumann. „Aber bislang sind die Messreihen nicht lang genug, um einen solchen Zusammenhang zu belegen. Hochwasserreiche Perioden hat es auch schon früher gegeben.“ Trends zeichnen sich hingegen ab: Schneehochwasser sind seltener geworden; Hochwasser durch Starkregen häufiger – statistisch signifikant ist das jedoch derzeit nicht.

Damit das Modell auch künftig korrekte Vorhersagen liefert, ist es wichtig, es kontinuierlich anzupassen. Denn die Randbedingungen ändern sich ständig, zum Beispiel durch den Bau von Deichen. Dadurch sinkt zwar das Hochwasserrisiko in dem Gebiet mit den neuen Schutzanlagen, so wie es in Sachsen der Fall war. Gleichzeitig steigt das Risiko in anderen Gegenden. „Die Hochwasserwelle, die von den Deichen in Sachsen zurückgehalten wird, wird weitergegeben“, erklärt der Hydrologe. „Sie bricht dann in Sachsen-Anhalt aus dem Flussbett aus. Und wenn dort ebenfalls verbesserte Hochwasserschutzanlagen errichtet werden, ist Brandenburg als Nächstes dran.“

Der beste Hochwasserschutz ist laut dem Bochumer Ingenieur immer noch, die Überschwemmungsgebiete der Flüsse nicht zuzubauen – aber das ist kaum realisierbar. Er empfiehlt jedem Bürger und jeder Bürgerin, sich mit dem Thema Hochwasser auseinanderzusetzen. „Die Leute müssen sensibler für dieses Problem werden“, sagt Andreas Schumann. „Nach den Hochwasserereignissen 2002 und 2013 ist der Bund für die Schäden aufgekommen, das wird sich nicht auf Dauer realisieren lassen. Die Betroffenen bleiben dann



Wasser sickert zu Versuchszwecken durch einen künstlichen Mini-Deich.

auf den Kosten sitzen.“ Vorsorge treffen können Eigentümer durch eine Versicherung, die aber teuer ist – gerade in Risikogebieten. Aber sie können den Hochwasserschutz auch schon beim Bau mitdenken.

In besonders gefährdeten Gebieten gibt es schon ein Verbot für Ölheizungen, damit sich im Schadensfall kein Wasser-Öl-Gemisch bilden kann, das nie wieder aus den Häusern zu entfernen ist. Bislang existieren jedoch nur wenige solche Bauvorschriften. „Aber auch ohne Gesetz kann man überlegen, ob es gut ist, die Elektroinstallation in den Keller zu bauen, bodentiefe Fenster zu installieren und die Türschwelle wegzulassen, wenn man in einem Überschwemmungsgebiet wohnt“, meint Schumann. Sicher vor einem Hochwasser sei niemand: „Ich höre immer das Argument: ‚Ich wohne hier schon seit 50 Jahren, und es gab noch nie ein Hochwasser‘“, zitiert der Forscher. „Das heißt nicht, dass das Gebiet nicht in zwei Jahren zwei Meter hoch unter Wasser stehen kann.“ Mehr noch als die Hochwassergefahren in Deutschland treiben den Ingenieur aber Probleme in anderen Ländern um. „Deutschland hat die Kapazität, mit den wirtschaftlichen Schäden nach einem Hochwasser umzugehen“, sagt Andreas Schumann. „In den wachsenden Millionenstädten in Afrika können durch ein Hochwasser ganze Volkswirtschaften zusammenbrechen.“ Hinzu komme das Problem, dass die Ärmsten genau dort siedeln, wo die Gefahr am größten ist: Slums entstehen bevorzugt in Flusstälern, in die kein teures Gebäude gebaut werden würde. „Bei einem Hochwasser hat man dort schnell Betroffenenzahlen, die alle Grenzen überschreiten“, erzählt Schumann. 2019 geht der Ingenieur in Ruhestand. Dann möchte er sich verstärkt in der Entwicklungszusammenarbeit engagieren.

Text: jwe, Fotos: dg

# UNTER DER ERD



E

Welche Risiken und Potenziale schlummern  
im unterirdischen Raum?  
Und welche unerwarteten Entdeckungen?

Geowissenschaften | Was unter dem Wald schläft

Klimatologie | Den besten Fluchtweg aus U-Bahn-Stationen finden

Archäologie | Jahrhunderte im Salz begraben

Tunnelbau | Gegen Furchen, Risse und Materialbruch

Geowissenschaften | Die Dürren der Vergangenheit und Zukunft

Im Gespräch | Nach dem Kohleausstieg ist noch lange nicht Schluss

Geschichte | Diagnose Staublunge

Seismologie | Wie die Alpen von unten aussehen

Im Gespräch | Hinabgestiegen in das Reich des Todes

*Geowissenschaften*

# WAS UNTER DEM WALD SCHLÄFT

*Unter dem Waldboden sind große Mengen an Jahrtausende altem Kohlenstoff gespeichert. Er sollte besser auch dort bleiben.*





Die Forscher vor Ort: Bernd Marschner mit den Projektmitarbeitern Michael Herre und Dr. Julian Heitkötter (von links) an einem Bodenprofil

**G**ar nicht so tief unter der Oberfläche des Waldbodens beginnt ein weitgehend unbekanntes Terrain. Während man über die Prozesse der obersten 30 Zentimeter des Bodens gut Bescheid weiß, stehen tiefere Bereiche des Erdreichs im Fokus einer Forschungsgruppe unter Leitung von Prof. Dr. Bernd Marschner vom Geographischen Institut der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum. Hier, unterhalb des Humus und oberhalb des Gesteins, ist doppelt so viel Kohlenstoff gespeichert wie in der Atmosphäre und Vegetation zusammen. Sie stehen im Zentrum der Arbeiten, die seit 2013 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft innerhalb der Forschergruppe Subsom gefördert werden. Über die Hälfte des Kohlenstoffs im Boden befindet sich tiefer als 30 Zentimeter unter der Oberfläche – wie lange schon? Gibt es dort Leben? Findet ein Austausch des Kohlenstoffs mit dem in der Atmosphäre statt? Um diese Fragen zu klären, wählten die beteiligten Forscherinnen und Forscher aus ganz Deutschland fünf Waldgebiete für eingehende Tests aus. „Wir konzentrieren uns auf Buchenwälder in Niedersachsen in der Nähe von Göttingen und Hannover, die auf unterschiedlichen Gesteinen liegen“, so Bernd Marschner. Die gewählten Böden sind repräsentativ für die nördliche Erdhalbkugel.

Um Zugriff zum tiefen Waldboden zu bekommen, installierten die Forscherinnen und Forscher zwei Meter tiefe Schächte mit gut anderthalb Metern Durchmesser, von denen aus eine Vielzahl unterschiedlicher Messsonden in den Boden ragen. Damit werden seit 2013 verschiedene Parameter ermittelt, etwa die Feuchte des Bodens, die Menge des Kohlenstoffs in der Bodenlösung und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Bodenluft.

### Blätter aus dem Labor

Um herauszufinden, wie der Kohlenstoff in die tiefen Bodenschichten – die Forscher sprechen von Bodenhorizonten – gelangt, nahmen sie unter anderem das Laub der Buchen unter die Lupe. Die etwa 100 Jahre alten Bäume haben gegenüber Nadelbäumen den Vorteil, dass sie ihre Blätter im jahreszeitlichen Rhythmus verlieren. Jeden Herbst fallen sie zu Boden und werden dort von Pilzen, Bakterien und anderen Mikroorganismen zersetzt, wobei der Kohlenstoff wieder freigesetzt wird. Unbekannt war, wie viel des in den Blättern enthaltenen Kohlenstoffs so jeweils in den Boden gelangt.

Die Wissenschaftler ließen daher Buchen im Labor einer Spezialfirma mit CO<sub>2</sub> begasen, das eine schwere Form des Kohlenstoffs (<sup>13</sup>C) enthielt. Die Blätter der Bäume nahmen bei der Fotosynthese das so markierte Gas auf und wurden damit selbst markiert. Im Herbst entfernte das Team vor Ort um die Messschächte alle von den Buchen gefallenen Blätter sorgfältig und streute stattdessen das im Labor gesammelte markierte Laub auf dem Waldboden aus. So konnten die Forscherinnen und Forscher später feststellen, wie viel markierter Kohlenstoff wie tief in den Boden eingedrungen war. „Zu unserer Überraschung haben wir dabei festgestellt, dass weniger als ein Prozent des Kohlenstoffs aus den Blättern in die tieferen Bodenschichten gelangt war“, erzählt Bernd Marschner. „Der ganze Rest wurde schon an der Oberfläche zersetzt und ist als CO<sub>2</sub> wieder in die Atmosphäre gelangt.“



# 35.000.000.000 TONNEN

So viel Kohlendioxid wird jährlich  
aus fossilen Brennstoffen freigesetzt.

Der Kohlenstoff in der Tiefe ist also sehr alt, unterhalb von 50 Zentimetern oft über 1.000 Jahre. Kohlenstoff, der neu in den Boden gelangt, kommt am ehesten über Baumwurzeln dorthin, haben die Forscherinnen und Forscher beobachtet. „Allerdings sind Wurzeln von einem Biofilm bedeckt, der ihre Ausscheidungen gleich wieder aufnimmt und verdaut“, so Marschner. Auch von absterbenden Wurzeln bleibt daher nur wenig Kohlenstoff im Boden zurück, weil sie gleich wieder verstoffwechselt werden.

### Mikroorganismen aushungern

Bleibt die Frage, woher der alte Kohlenstoff im Boden stammt. „Wir nehmen an aus dem Gestein selbst, das durch Verwitterung zerkleinert wird, bis es Erdreich ist“, so Bernd Marschner. „Merkwürdig ist, dass der Kohlenstoff im Boden so unberührt bleibt, obwohl in tiefen Bodenschichten Leben existiert, das ihn verdauen könnte“, erklärt der Bodenkundler. Warum verstoffwechseln ihn diese Lebewesen nicht? Dazu stellte das Team zwei Theorien auf: Entweder die Mikroorganismen sind nicht hungrig genug, um diesen Kohlenstoff anzutasten, oder es fehlt ihnen etwas, um ihn fressen zu können. Um diese Theorien zu überprüfen, starteten die Forscher zwei Experimente. Für ein Aushungerungsexperiment entnahmen sie unberührten Boden. Diesen inkubieren sie derzeit für zwei Jahre im Labor. Dann soll sich zeigen, ob die in ihm enthaltenen Mikroorganismen irgendwann doch an den alten Kohlenstoff gehen, wenn ihnen mögliche andere, bisher unbekannte Nahrungsquellen ausgehen.

Eventuell liegt die Zurückhaltung der Mikroorganismen aber auch nicht daran, dass sie ausreichend andere Nahrungsquellen zur Verfügung haben, sondern es fehlt ihnen etwas, um den alten Kohlenstoff zu fressen. „Vielleicht befinden sie sich wegen eines Mangels in einer Art Tiefschlaf, in dem sie fast ohne Nahrung lange überdauern können“, erklärt Bernd Marschner. Um das zu überprüfen, untersuchte das Team der Forschungsgruppe einen halben Zentimeter dünne Scheiben des Bodens auf Stoffwechselaktivitäten. Sie analysierten, wo

im Boden bestimmte Enzyme aktiv waren. Dabei konnten die Forscherinnen und Forscher nur an wenigen kleinen Stellen, Hotspots genannt, eine solche Aktivität nachweisen. Im übrigen Boden fand kein Stoffwechsel statt.

Im nächsten Schritt besprühten die Wissenschaftler die Bodenscheiben mit Zuckerlösung. „Das ist etwas, auf das alle Mikroorganismen fliegen, das sie sofort verdauen“, erklärt Bernd Marschner. Eine anschließende zweite Analyse der Enzymaktivität zeigte Stoffwechselaktivitäten nahezu überall in der ganzen Probe – außer an den Hotspots, die schon zuvor aktiv gewesen waren. „Das erhärtet unseren Verdacht, dass den Mikroorganismen etwas fehlt, das sie zur Aktivität anregt“, so Marschner. „Die Lebewesen an den Hotspots haben das anscheinend nicht nötig, daher explodiert ihre Stoffwechselaktivität in der Folge auch nicht.“

In weiteren Experimenten wollen die Bodenwissenschaftler solche Bodenscheiben mit anderen Stoffen behandeln, um herauszufinden, was neben der Zuckerlösung noch dazu führen könnte, dass die im Boden befindlichen Kleinstlebewesen anfangen, den alten Kohlenstoff zu verstoffwechseln. Besonders interessant dabei sind Stoffe wie Phosphor und Stickstoff, die in vielen Düngern enthalten sind. Durch Überdüngung gelangen solche Elemente mitunter auch in den Waldboden.

„Diese Frage ist deswegen besonders interessant, weil wir möglichst vermeiden sollten, dass der im Boden gespeicherte alte Kohlenstoff verstoffwechselt wird und als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt“, so Bernd Marschner. „CO<sub>2</sub> als Klimagas würde sonst den Klimawandel extrem anheizen.“

In Böden sind global rund 1.500 bis 2.200 Milliarden Tonnen Kohlenstoff gespeichert, davon etwas mehr als die Hälfte in Unterböden. Die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe betragen global rund 35 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>, also knapp 10 Milliarden Tonnen Kohlenstoff. Würde nur ein Prozent der Bodenvorräte an Kohlenstoff mineralisiert, wären dies 15 bis 22 Milliarden Tonnen, die als CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangen könnten.

Text: md, Fotos: dg

Dr. Julian Heitkötter  
(links) und Michael  
Herre im Labor



In diesen Inkubationsgefäßen wird die CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus Bodenproben mittels eines Respirometers im Labor gemessen.





*Klimatologie*

# DEN BESTEN FLUCHTWEG AUS U-BAHN-STATIONEN FINDEN



*Für dieses Projekt haben Forscher dreimal einen Brand im Berliner U-Bahn-System gelegt.*



Foto: rs

arbeitet an der RUB in der Arbeitsgruppe Klimatologie extremer Standorte, die Prof. Dr. Andreas Pflictsch leitet.

Im Orpheus-Projekt haben die Forscherinnen und Forscher die Grundlagen für ein System gelegt, das eines Tages schneller als in Echtzeit simulieren können soll, wie sich Rauch oder Gas in einer U-Bahn-Station ausbreitet, sodass der optimale Fluchtweg für einen spezifischen Fall ermittelt werden kann. Kompliziert ist das, weil jede Station ihre eigenen dynamischen Luftströmungen besitzt, die sich auch abhängig von äußeren Faktoren ändern können.

„Die deutschen U-Bahn-Systeme sind teils 100 Jahre alt, daher haben die meisten keine künstliche Belüftung“, erklärt Brüne. Die Luftzufuhr erfolgt durch die fahrenden Bahnen, die einen Luftschwall durch den Tunnel drücken. Darüber hinaus bildet sich im unterirdischen System der verzweigten Tunnel ein eigenes Klimasystem heraus, insbesondere eine natürliche Hintergrundströmung. Diese wird dominant, wenn der Zugverkehr im Katastrophenfall unterbrochen wird. Damit eine Computersimulation korrekt abbilden kann, wie sich Rauch in einer Station ausbreiten würde, muss die Luftströmung als Randbedingung berücksichtigt werden.

Im Orpheus-Projekt statteten die Bochumer Forscher die Station „Osloer Straße“ in Berlin mit sogenannten Ultraschall-Anemometern aus. Diese Messgeräte erfassten bis zu acht Jahre lang ununterbrochen die Luftströmungen in dem Bahnhof; die Daten gingen in ein am Forschungszentrum Jülich entwickeltes Computermodell ein. Um zu überprüfen, wie gut die Simulation die Realität abbildet, fanden drei Großversuche in der Berliner Station statt. Das Projektteam löste dabei einen Propangasbrand aus und maß, wie sich der Rauch ausbreitete. Zum einen brachten die Forscher dafür ein Tracergas aus, dessen Verteilung sie quantitativ erfassen konnten. Zum anderen versprühten sie Theaternebel, um einen optischen Eindruck zu bekommen, wie sich der Rauch ausbreiten würde. „Die Versuche waren sehr aufwendig“, sagt Markus Brüne, der vor Ort dabei war. „Und natürlich darf das Bauwerk nicht in Mitleidenschaft gezogen werden.“

### Versuche in der Nacht

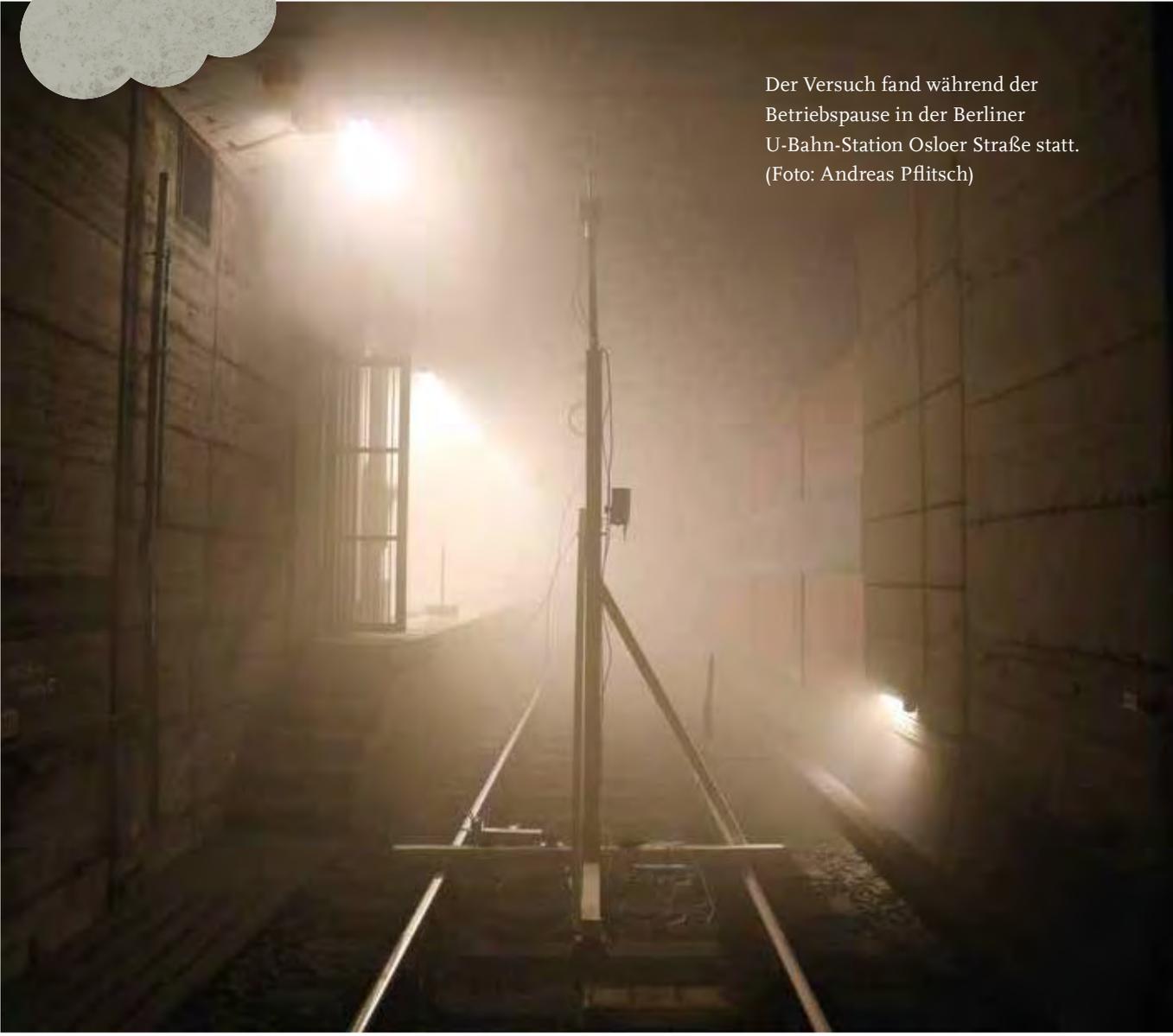
Eine große Herausforderung war, dass das Experiment nur während der Betriebsruhe laufen durfte, aber jede Menge Messequipment aufgebaut werden musste. „Um 22 Uhr haben wir mit 30 bis 40 Leuten alles aufgebaut. Um 1.30 Uhr konnten wir in der Regel mit dem Versuch beginnen, weil dann keine Bahnen mehr fuhren“, erzählt der Forscher. „Um 3.20 Uhr musste das gesamte Equipment wieder raus sein.“

Vorherige Versuche hatten stets nur mit Kaltgas stattgefunden. Das gibt zwar Einblicke, wie sich Giftgas ausbreiten würde. Das Projektteam interessierte sich aber auch für brandbedingten Rauch. „Die Hitze eines Feuers treibt die Thermik an, das muss in der Simulation berücksichtigt werden“, erläutert Brüne. So beobachteten die Forscher zum Beispiel, dass sich im unteren Bereich der Station, wo sie den Brand ausgelöst hatten, deutliche Luftschichten bildeten. Der warme Rauch klebte an der Decke, die kalte Luft hing am Boden. In den oberen Etagen sah es hingegen anders aus. ▶

Die U-Bahn ist aus deutschen Großstädten nicht mehr wegzudenken. Unmöglich wäre es, das gesamte Verkehrsaufkommen an der Oberfläche abzuwickeln. Allein die Berliner Verkehrsbetriebe zählten 2017 mehr als eine halbe Milliarde Fahrgäste in ihren U-Bahnen. Umso wichtiger ist es, die Menschen gegen Gefahren zu schützen, zum Beispiel gegen Brände oder Giftgasanschläge. Wie das gelingen kann, damit hat sich das Team im Projekt Orpheus beschäftigt, kurz für Optimierung der Rauchableitung und Personenführung in U-Bahnhöfen: Experimente und Simulationen. „Unser Ziel ist es, Menschen im Katastrophenfall so schnell und sicher wie möglich aus den U-Bahnhöfen nach draußen leiten zu können“, erklärt Markus Brüne. Er



Für die Versuche mussten die Wissenschaftler viel Messequipment aufbauen. (Foto: Andreas Pflictsch)



Der Versuch fand während der Betriebspause in der Berliner U-Bahn-Station Osloer Straße statt. (Foto: Andreas Pflictsch)



Markus Brüne entwickelt neue Methoden, um kostengünstig die Luftströmung in U-Bahn-Tunneln messen zu können. (Foto: rs)



# 500.000.000

Etwa so viele Fahrgäste nutzten 2017 die Berliner U-Bahn.



Schon nach wenigen Minuten gab es dort keine rauchfreie Schicht mehr, weil die Luft verwirbelte. Während man unten in der Station also noch gut atmen könnte, wäre es schwer bis unmöglich, über die Aufgänge aus dem Bahnhof herauszukommen, weil der Rauch dort den Weg versperren würde. „Es gibt Beispiele von Bränden in U-Bahn-Stationen, bei denen die meisten Menschen in den oberen Etagen ums Leben kamen, während unten relativ wenig passiert ist“, weiß Brüne. Basierend auf den Ergebnissen schlägt das Projektteam daher vor, die meist rauchfrei bleibenden U-Bahn-Tunnel als Fluchtwege in Betracht zu ziehen. „Das wollen die Betreiber bislang nur ungern, weil sie Sorge haben, dass es Zusammenstöße zwischen den Menschen und eventuell noch fahrenden Zügen geben könnte“, erklärt Markus Brüne. „Aber unsere Ergebnisse zeigen, dass es sinnvoll wäre.“ Eine Simulation, die den Einsatzkräften im Ernstfall sagen würde, wohin sich der Rauch wahrscheinlich ausbreiten wird, wäre hilfreich, um den bestmöglichen Fluchtweg zu ermitteln.

Damit das im Projekt entstandene Modell für verschiedene U-Bahn-Stationen zuverlässige Prognosen liefert, müsste jedoch für jeden Bahnhof die natürliche Luftströmung bekannt sein. Unmöglich wäre es, sie wie im Versuch mit Hunderten von Ultraschall-Anemometern zu messen – zu aufwendig und zu kostspielig. Markus Brüne verfolgt während seiner Promotion an der Ruhr-Universität daher einen anderen Ansatz. Er überprüft, ob sich die Luftströmung aus Temperaturmessungen ableiten lässt. Die Temperatur lässt sich wie in einem Brandmelder über Lichtwellenleiter erfassen – und die sind bereits zahlreich in U-Bahn-Tunneln verbaut. „Die Kommunikationskabel in U-Bahn-Systemen bestehen aus Lichtwellenleitern“, beschreibt Markus Brüne die Idee. „Wir untersuchen, ob man die Temperatur mit diesen bereits vorhandenen Lichtwellenleitern messen könnte.“ Zur Kontrolle erfassen die Forscher die Temperatur im gleichen U-Bahn-Tunnel außerdem mit einem speziell für den Versuch angebrachten

Lichtwellenleiter sowie mit herkömmlichen Temperatursensoren. Die Ergebnisse sind laut Markus Brüne vielversprechend. „Das Kommunikationskabel ist zwar träge“, berichtet er. „Man hat im Vergleich zu den anderen Messmethoden damit einen Zeitversatz von fünf bis zehn Minuten.“ Aber es übermittelt langsame Temperaturveränderungen korrekt und sollte für eine normale Strömungsmessung reichen, so seine Einschätzung.

Ob sich die Luftströmung zuverlässig aus den Temperaturdaten rekonstruieren lässt, muss Brüne noch überprüfen. Falls ja, wäre wieder ein wichtiger Schritt in Richtung einer Echtzeit-Brandsimulation gelungen.

jwe

## PROJEKTPARTNER



*Das Orpheus-Projekt lief von Februar 2015 bis Februar 2018, koordiniert vom Forschungszentrum Jülich. Neben der Arbeitsgruppe Klimatologie extremer Standorte der Ruhr-Universität Bochum waren die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung sowie verschiedene Partner aus der Industrie beteiligt: die Firma Rudolf-Otto-Meyer-Technik, die Entrauchungsanlagen entwickelt; das Unternehmen Ibit, das mit Einsatz- und Krisenmanagement im Umfeld von Veranstaltungen befasst ist; und das Institut für Industrieaerodynamik Aachen, das für die Realbrandversuche zuständig war. Als assoziierte Partner nahmen ferner die Berliner Verkehrsbetriebe, die Deutsche Bahn, die Feuerwehren aus Berlin und München sowie die Unternehmen Karstadt Hekatron, Nvidia und das Team HF teil.*

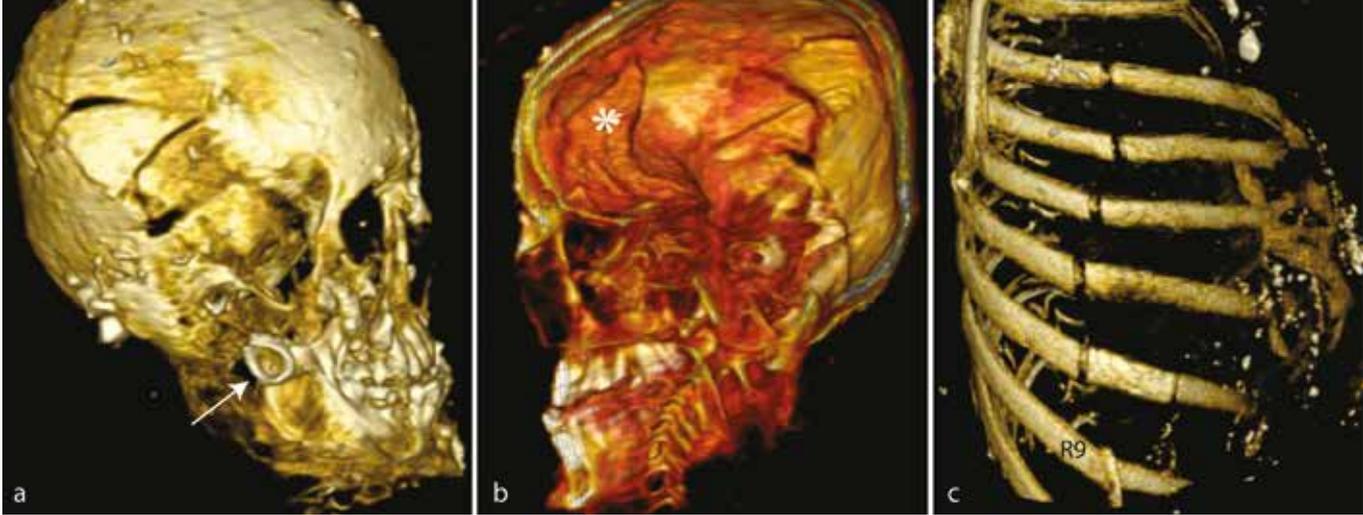


Im Salz bleiben organische Materialien über Jahrhunderte hinweg erhalten. Diese Mumie wurde aus dem Bergwerk Douzlākḥ im Iran geborgen. (Bild: DBM/RUB, K. Stange, AVttention, Marienheide)

*Archäologie*

# JAHRHUNDERTE IM SALZ BEGRABEN

*In einem alten Bergwerk im Iran sind mehrere Salzmumien aufgetaucht. Einige von ihnen stammen aus einer Zeit vor der Geburt Christi. Wer waren sie? Und wie lebten sie?*



Tomografischer Scan der sogenannten Mumie Nummer vier, die im iranischen Bergwerk Douzlākḥ gefunden wurde: Das linke Bild zeigt den Schädel mit mehreren Frakturen; der Pfeil zeigt auf einen Ohrring, den der junge Mann trug. Auf dem mittleren Bild ist die Innenseite des Schädels mit Überresten des Gehirns zu sehen, auf dem rechten der Brustkorb mit mehreren Rippenbrüchen. (Aufnahmen: University of Zurich, L. Öhrström/F. Rühli, nach Aali/Stöllner 2015)

Im Nordwesten des Iran machten Bergarbeiter 1993 einen zufälligen Fund, der eine ganze Reihe spektakulärer Entdeckungen einläutete. In den Salzminen nahe des Dorfes Hamzehlu in der Region Chehrābād fanden sie Teile eines Körpers, die durch die Einlagerung im Salz extrem gut erhalten waren. 2004 tauchten die Überreste eines zweiten Körpers auf. Ein Jahr später förderte eine von der Antikenbehörde veranlasste Notgrabung noch einmal zwei Salz mumien zutage. Mittlerweile sind Teile von acht Toten geborgen, die mit Haut und Haaren, Organen und sogar der Kleidung an ihrem Körper über Hunderte von Jahren im Salz konserviert blieben. Die Umstände ihres Todes und die Kultur, in der sie lebten, sind Gegenstand eines internationalen Forschungsprojekts, das Prof. Dr. Thomas Stöllner von der Ruhr-Universität Bochum koordiniert und das unter anderem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft seit 2010 unterstützt wird.

Stöllner ist Experte für die Archäologie von Salzbergwerken und forscht seit mittlerweile 17 Jahren im Iran, wo er oft selbst vor Ort ist und inzwischen auch die Landessprache spricht. „Nach dem Iran-Irak-Krieg waren die RUB und das Deutsche Bergbaumuseum mit die ersten Institutionen, die im Bereich Archäologie wieder im Iran geforscht haben“, erzählt der Wissenschaftler. Seit 2005 ist er in das Projekt bei Chehrābād involviert. Nachdem das Gebiet unter Schutz gestellt wurde, fanden umfangreiche Grabungsarbeiten statt.

Dort, wo auch im 21. Jahrhundert noch Steinsalz abgebaut wurde, gab es bereits 700 vor Christus ein Bergwerk, das kon-

tinuierlich bis 400 nach Christus betrieben wurde. „Die iranische Salzmine von Douzlākḥ bietet einmalige Erkenntnis-chancen“, erklärt Thomas Stöllner. „Teile des alten Bergwerks sind von oben zugänglich, was üblicherweise nicht der Fall ist.“ Die Salzlagerstätte selbst ist durch geologische Verschiebungen nach oben gekippt und war deshalb nahe der Oberfläche abbaubar. Der moderne Tagebau zerstörte zwar die salzreichen Deckschichten und sogar einige Bereiche des alten Bergwerks, aber ermöglichte auch die Mumienfunde und machte Teile der alten Strukturen von oben frei zugänglich.

„An anderen Orten, an denen wir alte Salzbergwerke erforschen, etwa in Österreich, müssen wir unter der Erde Tunnel graben und dort nach archäologischen Funden suchen“, beschreibt Stöllner die ansonsten widrigen Bedingungen. „Das ist nicht nur schwieriger, man braucht auch viel länger, um die einzelnen Funde zusammenzubringen und die Zusammenhänge zu verstehen.“ In Chehrābād hat das Projektteam mittlerweile mit Baggern ein etwa 60 Meter langes und 35 Meter hohes Profil ausgegraben. Diese Wand liefert einen Querschnitt durch alle übereinander liegenden Grabungsschichten. „In Österreich haben wir dafür 20 Jahre gebraucht“, erzählt der Bochumer Archäologe, „im Iran haben wir das Profil in drei Kampagnen von jeweils ein paar Wochen Dauer zum Teil mit maschineller Hilfe gegraben.“

Neben den Mumien fanden die Forscher viele gut erhaltene Kleidungsstücke, Gefäße – teils noch mit Nahrungsmittelresten – und Holzgeräte. Laut offizieller Zählung wurden sechs ▶



Thomas Stöllner forscht seit 17 Jahren im Iran und ist Experte für die Archäologie von Salzbergwerken. (Foto: dg)

” ES IST QUASI SO, ALS WÄREN SIE GESTERN VERSTORBEN. “

*Thomas Stöllner*



Neben den Salzmumien fand das Projektteam auch Kleidung, Tongefäße und Holzgeräte. (Foto: DBM/RUB, J. Schröder)

Leichen aus dem alten Bergwerk geborgen; aber die Forscher ermittelten bereits, dass noch Teile von zwei weiteren Toten in den Funden enthalten sind. Drei der bereits gefundenen Körper stammen aus der Achämenidenzeit, also aus der Zeit des ersten persischen Großreichs, das vom 6. Jahrhundert bis in das späte 4. Jahrhundert vor Christus andauerte. Als spektakulärsten Fund bezeichnet Thomas Stöllner die sogenannte Mumie Nummer vier: ein 15- bis 16-jähriger Junge, der im Bergwerk als Arbeiter tätig gewesen war. Zwischen 405 und 380 vor Christus – so rekonstruierten die Bochumer Forscher zusammen mit Kollegen aus Oxford mittels der Radiokarbon-datierung – stürzten Teile des Bergwerks ein, möglicherweise ausgelöst durch ein Erdbeben. Dabei kamen mindestens zwei weitere Menschen ums Leben. „Wir sind an unserer

Region in der Welt typisch sein kann – im Fall des Jungen für das Kaspische Meer oder Zentralasien. Überraschend sei es nicht, dass Fremde in der Mine tätig waren, sagt Thomas Stöllner. „Das Achämenidenreich war riesengroß. Aus schriftlichen Quellen wissen wir, dass es Beziehungen in alle Reichsteile und eine hohe Mobilität gab – so wie in der EU heute auch“, erklärt der Archäologe.

### Drei Unglücke im Bergwerk

Das Unglück, das den Jungen tötete, war aber nicht das einzige, das sich im Bergwerk Douzläkh ereignete. Mindestens drei Verbrüche muss es gegeben haben: den zweiten um 300 nach Christus, einen weiteren im 5. bis 6. Jahrhundert nach Christus. Datierungen nehmen die Forscherinnen und

Grabungsstätte quasi direkt am Ort des Geschehens“, erzählt Thomas Stöllner. „Wir sehen die Salzblöcke, die auf den Jungen gefallen sind und ihn erschlagen haben. Wir wissen um eine zweite Person, die noch ihren Rucksack trägt, weggelaufen ist und dann ebenfalls erschlagen wurde. Die dritte ist leider unklarer in ihrer Fundlage, weil sie schon 2004 beim Salzabbau ohne archäologische Begutachtung geborgen wurde.“

### Mit allen Organen erhalten

Die im Salz eingelagerten Körper sind zwar etwas geschrumpft, aber es sind alle Organe erhalten. „Es ist quasi so, als wären sie gestern verstorben“, erklärt Stöllner. Anhand von dreidimensionalen tomografischen Scans aus einem Krankenhaus in Teheran rekonstruierten Forscher aus Zürich im Rahmen des Projekts das Innere der Körper. Die Bilder zeigen zum Beispiel Brüche in Schädel und Thorax des jungen Arbeiters und seine aufgeplatzen inneren Organe.

Über den im Bergwerk verstorbenen Jungen hat das Projektteam mittlerweile noch viel mehr herausbekommen. „Wir wissen, dass es ein gut genährter junger Mann war, der vermutlich aus Zentralasien oder vom Kaspischen Meer kam“, erklärt Stöllner. Die Herkunft untersuchen die Wissenschaftler mit Isotopenanalysen zusammen mit der Universität Oxford. Isotope sind unterschiedlich schwere Formen eines chemischen Elements, bei denen die Anzahl von Neutronen im Atomkern variiert. Bestimmte Sauerstoff- und Stickstoffisotope geben Hinweise auf die Ernährung eines Menschen, die für eine

Forscher unter anderem mit der Radiokarbonmethode vor. Sie beruht auf dem instabilen Kohlenstoffisotop  $^{14}\text{C}$ , das in abgestorbenem Material kontinuierlich zerfällt. Grob gesagt kann die Menge an vorhandenem  $^{14}\text{C}$  daher etwas über das Alter einer Mumie oder auch eines Holzgegenstandes sagen.

Das Team interessiert sich aber nicht nur für die Ereignisse im Bergwerk selbst, sondern auch für das Leben drumherum, denn beides scheint sich gegenseitig beeinflusst zu haben. Bereits in der Frühphase der Achämenidenzeit entwickelte sich ein umfangreiches landwirtschaftliches System im Umfeld des Bergwerks, das in der darauf folgenden Sassanidenzeit wesentlich effizienter wurde, vermutlich weil ein Bewässerungssystem entstand. Denn ein Problem für die Region war gerade der hohe Salzgehalt und dadurch fehlendes Trinkwasser.

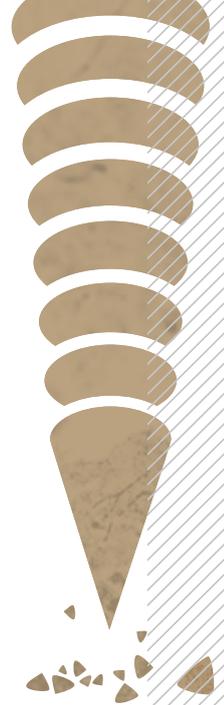
„Vermutlich war die Region dadurch anfangs nicht besiedelbar“, mutmaßt Thomas Stöllner. Durch die Gewinne aus dem Salzbergwerk – so lautet eine Theorie – könnte die Bevölkerung jedoch ein Bewässerungssystem etabliert haben. In der Folge waren eine stabilere Agrarwirtschaft und eine Ansiedlung möglich. Das wiederum sorgte dafür, dass das Bergwerk intensiver ausgebeutet werden konnte, weil mehr Arbeitskräfte vor Ort waren. „Allerdings“, gibt Stöllner zu bedenken, „müssen wir mit Interpretationen immer vorsichtig sein. Trotz der hervorragenden Bedingungen im Iran sehen wir nur Ausschnitte der Geschichte, die wir durch unsere eigenen Hypothesen zusammenbringen müssen.“





Tunnelbau

# GEGEN FURCHEN, RISSE UND MATERIAL- BRUCH



*Wer den Verschleiß unterirdischer Tunnelbaufabriken besser versteht, kann ihn hinauszögern und den Tunnelbau effizienter gestalten.*

**W**enn ein neuer Tunnel gebaut werden soll, stehen die Bauherren vor einem Dilemma: Damit der Bau kostengünstig ist, sollte er möglichst schnell gehen. Je schneller sich aber eine Tunnelbaumaschine durch die Erde bohrt, desto mehr werden die Werkzeuge belastet und verschleifen verstärkt. Das Optimum zwischen schnellem Bau und schonender Bauweise zu finden, helfen Ingenieure der RUB, die im Sonderforschungsbereich 837 an vielen verschiedenen Aspekten des Tunnelbaus forschen.

Arne Röttger vom Institut für Werkstoffe hat dabei besonders die Werkzeuge im Blick, die an der sogenannten Ortsbrust arbeiten. „Man muss sich vorstellen, dass sich beim Tunnelbau eine fahrende Fabrik durch das Erdreich arbeitet“, beschreibt er. An der Ortsbrust wird der anstehende Boden abgebaut. Das Schneidrad ist dabei das vordere Ende einer mitunter bis zu 200 Meter langen und bis zu 17 Meter hohen Tunnelbaumaschine. Schälmesser und Schneiddisken sind je nach Bodenbeschaffenheit auf einem Schneidrad montiert. Die einen schaufeln lockere Erdschichten weg, die anderen verursachen Risse in festem Gestein und bewirken so den Bodenabbau.

## **Unterschiedlich schneller Verschleiß**

Der Abraum wird abtransportiert, der entstehende Hohlraum direkt mit gewölbten Betonteilen, sogenannten Tübbing, ausgekleidet und der Spalt zwischen Erdreich und Betonbefestigung wird mit Spritzbeton verfüllt. „Gerade der Bodenabtransport und die entgegengesetzten Materialströme der benötigten Materialien zum Tunnelausbau in Richtung der Ortsbrust sind eine logistische Meisterleistung“, sagt Arne Röttger. „Je nachdem, wie das Erdreich beschaffen ist, ver- ▶

Arne Röttger baut eine Werkstoffprobe in ein Rasterelektronenmikroskop ein.

schleifen die Werkzeuge an der Ortsbrust unterschiedlich schnell und in unterschiedlicher Art und Weise“, erklärt er. Weichere Metallteile zum Beispiel werden von harten Bodenbestandteilen geritzt oder gepflügt. In harten Werkstoffen bilden sich Risse, die sich bei anhaltender Belastung ausbreiten und zum sogenannten katastrophalen Versagen führen können: zum Bruch des ganzen Werkstücks. Um solch einen Bruch zu vermeiden, ist es auch wichtig zu wissen, ob und wo sich Findlinge im Boden befinden. Diese großen Steine können die Abbauwerkzeuge durch schlagende Beanspruchung zerstören. Um sie vorab zu finden, erkunden die Ingenieure und Geowissenschaftler den Baugrund, bevor sie mit dem Tunnelbau beginnen.

### Verschleiß der Werkstoffe besser verstehen

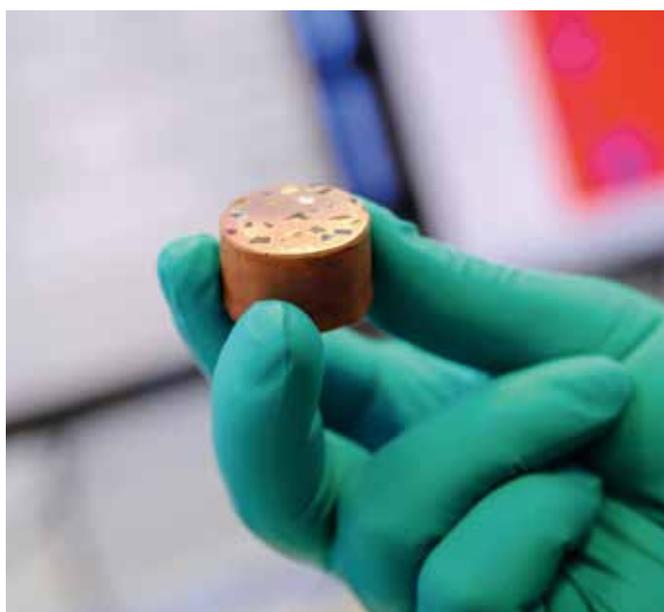
Müssen Werkzeuge an der Tunnelbaumaschine ausgetauscht werden, ist das mit viel Aufwand und daher mit hohen Kosten verbunden: Die Vortriebsmaschine muss zurückgefahren werden, Techniker müssen in den unfertigen Tunnel vor der Ortsbrust und unter gefährlichen Bedingungen teils

bei Überdruck arbeiten. „Wir versuchen deswegen, den Verschleiß solcher Werkstoffe besser zu verstehen“, sagt Arne Röttger. Das ermöglicht eine bessere Prognose des Verschleißes. „Man sieht ja nicht, in welchem Zustand die Werkzeuge sind“, erklärt der Bochumer Forscher. „Wir wollen gerne dahin kommen, sagen zu können, nach wie vielen Kilometern die Abbauwerkzeuge jeweils gewechselt werden müssen, damit sie nicht prophylaktisch zu früh, aber auch nicht erst bei Leistungsverlust der Maschine ausgetauscht werden.“ Darüber hinaus entwickeln die Ingenieure optimierte Werkstoffe für unterschiedliche Beanspruchungen.

Grundlegend dafür ist die Vorstellung, dass nicht nur die Vortriebsmaschine auf die Erde einwirkt, sondern dass die Erde auch zurückwirkt, und weitere Faktoren Einfluss auf das Ganze nehmen, zum Beispiel die Geschwindigkeit des Tunnelvortriebs, die Eigenschaften des Bodens oder zusätzliche Stoffe, die als sogenannte Konditionierungsmedien in den Boden eingebracht werden, um ihn günstig zu beeinflussen. Dieses Zusammenspiel bezeichnen die Forscher als tribologisches System. Arne Röttger und seine Kolleginnen und

So lang kann eine Tunnelbaumaschine sein.

# 2000 Meter



Kollegen erarbeiten maßgeschneiderte Werkstoffe für verschiedenste Beanspruchungen. Dabei geht es zum Beispiel darum, die Zusammensetzung der Werkstoffe, aber auch deren Geometrie besser anzupassen, um sowohl den Abbauprozess zu optimieren als auch den Werkzeugverschleiß zu mindern. „Die meisten Werkzeuge für Lockergestein sind Werkstoffverbunde“, erklärt Arne Röttger. „Das Substrat ist ein hochfester Stahl. Aufgeschweißt oder eingelötet werden lokale Panzerungen, die solche Stellen verstärken, an denen die Belastung besonders groß ist.“ Für einen zusätzlichen Verschleißschutz werden sogenannte Hartlegierungen, Hartverbundwerkstoffe oder Hartmetalle mit teils keramikähnlichen Eigenschaften eingearbeitet.

### Werkstoffe gezielt designen

Wichtig ist dabei das richtige Gleichgewicht: Je härter ein Material, desto spröder, also anfälliger für Risse ist es. Weichere Materialien sind zwar nicht so widerstandsfähig gegen das Ritzen durch hartes Gestein, dafür aber zäher und brechen nicht so leicht. Die Beschaffenheit der Werkstoffe lässt sich außerdem durch das Herstellungsverfahren und durch eine Wärmebehandlung beeinflussen. „Speziell durch die Wär-

In ein elektrisch leitfähiges Phenolharz sind mehrere Proben eingebettet. So können sie metallkundlich mittels Elektronenmikroskopie untersucht werden.



Alles im Blick: Die Monitore erlauben es, die Untersuchung im Rasterelektronenmikroskop zu überwachen und zeigen die Ergebnisse.

mebehandlung können wir die Mikrostruktur des Materials und die damit verbundenen Eigenschaften wie Materialhärte und Zähigkeit gezielt einstellen“, beschreibt Röttger. Um verschiedene Werkstoffe experimentell zu prüfen, haben die Forscherinnen und Forscher im Labor einen Versuchsaufbau, bei dem ein Diamantindenter die zu prüfende Materialoberfläche ritzt. „Unter dem Elektronenmikroskop kann man deutlich erkennen, dass der Diamantindenter das weichere Metall ritzt, hingegen durch die harten, keramikähnlichen Gefügebestandteile aus dem Verbundgefüge herausgehoben wird“, so Arne Röttger. Je nachdem, welche Eigenschaften der Boden hat, durch den die Maschine fahren soll, wählt man den entsprechenden Werkstoff aus, der sich ihm möglichst lange entgegensetzen kann. „So kann man den Werkstoff an den jeweils dominierenden Schädigungsmechanismus anpassen, also gezielt designen“, erklärt Arne Röttger.

Text: md, Fotos: rs

### SONDERFORSCHUNGS- BEREICH 837



Am Sonderforschungsbereich 837 „Interaktionsmodelle für den maschinellen Tunnelbau“ sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Fakultäten für Bau- und Umweltingenieurwissenschaft, Maschinenbau und den Geowissenschaften beteiligt. Sie erforschen neben der Interaktion zwischen Boden und Werkstoff unter anderem auch, wie sich die Beschaffenheit des Bodens vorab erkunden lässt, wie sich der anstehende Boden auch unter kontinuierlichem Bodenabbau zuverlässig stützen lässt, wie man mögliche Schäden durch den Bau eines Tunnels an der Oberfläche vorhersagen und vermeiden kann und wie die Befestigung von Tunneln optimiert werden kann. Der Sonderforschungsbereich wird seit 2010 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft an der RUB gefördert und ist inzwischen in der dritten Förderperiode.

# DIE DÜRREN DER VERGANGENHEIT UND ZUKUNFT

*Tropfsteine spiegeln das Klima der Vergangenheit. 500 Jahre alte Graffiti untermauern diese These.*

Viele Hochkulturen vergangener Zeiten sind irgendwann verschwunden. Was mögen die Gründe für ihren Niedergang gewesen sein? Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vermuten seit Langem klimatische Veränderungen als eine der Ursachen. Besonders mehrjährige Dürreperioden stehen im Verdacht, ganze Gesellschaften in die Krise getrieben zu haben.

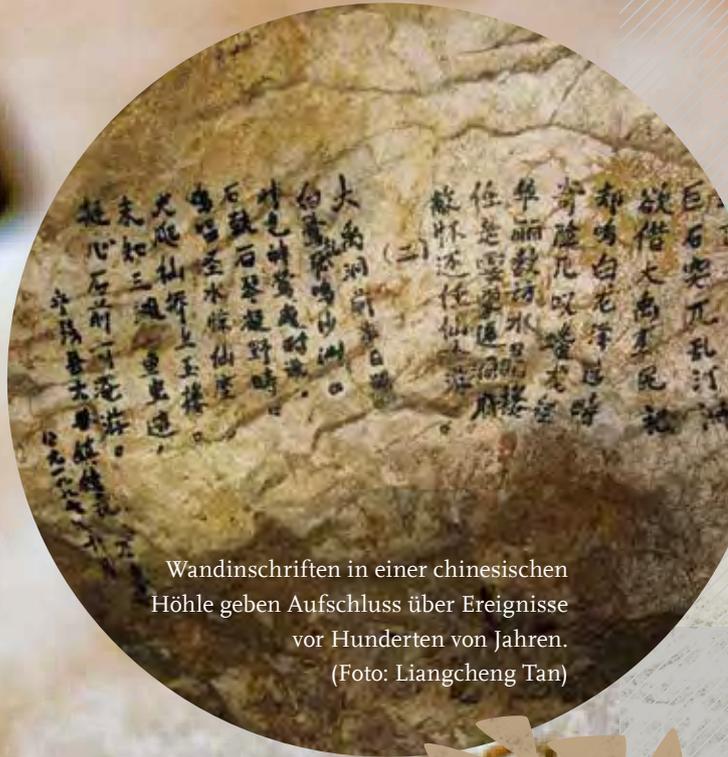
Um die klimatischen Bedingungen der Vergangenheit zu rekonstruieren, greifen Forscher um Dr. Sebastian Breitenbach vom Lehrstuhl für Sediment- und Isotopengeologie an der Fakultät für Geowissenschaften der RUB unter anderem auf Stalagmiten zurück. Diese Tropfsteine bilden sich im Laufe der Zeit in Höhlen, wenn Wassertropfen zu Boden fallen. Das im Wasser gelöste Karbonat lagert sich schichtweise zu Stalagmiten ab. Je nachdem wie viel Niederschlag fällt, variieren ihr Aufbau und ihre chemische Zusammensetzung.

In China hat nun eine internationale Forschergruppe Belege gefunden, die zeigen, wie unmittelbar Stalagmiten auf Niederschlagsänderungen reagieren und wie präzise Paläoklimarekonstruktionen Dürren reflektieren können. In der Dayu-Höhle in Südchina wurden bis zu 500 Jahre alte Inschriften an den Wänden gefunden, die genau beschreiben, warum die damalige Bevölkerung die Höhle aufgesucht hat. Diese exakt datierten Informationen bieten Geologen die einmalige Chance, die Ergebnisse ihrer Klimarekonstruktionen mit historischen Aufzeichnungen abzugleichen. „In der Dayu-Höhle haben wir einen Stalagmiten untersucht, der sich ungefähr einen Kilometer vom Eingang der Höhle entfernt fand. Er bildet die Zeit zwischen etwa 1265 und 1982 ab. Jedes Jahr ist er im Durchschnitt knapp 0,2 Millimeter gewachsen, was recht schnell ist“, erläutert Breitenbach. Die Untersuchungen der Geologen erlauben Aussagen über das damalige Klima mit einer Auflösung von etwa 1,5 Jahren.

Um Rückschlüsse auf die klimatischen Bedingungen zu ziehen, ermitteln die Forscher unter anderem das Verhältnis stabiler Sauerstoffisotope. Die Atomkerne dieser Isotope enthalten gleich viele Protonen, aber unterschiedlich viele Neutronen. Je mehr Neutronen im Atomkern, desto höher das Gewicht des gesamten Atoms. Interessant ist für die Geologen das Verhältnis zwischen dem schwereren  $^{18}\text{O}$  und dem

” DIE BAUERN SÜDCHINAS SOLLTEN SICH AUF PHASEN MIT WENIGER NIEDERSCHLAG EINSTELLEN. “

*Sebastian Breitenbach*



Wandinschriften in einer chinesischen Höhle geben Aufschluss über Ereignisse vor Hunderten von Jahren.  
(Foto: Liangcheng Tan)



Ein Stalagmit mit Mikrobohrungen für geochemische Analysen und Fräs-Schlitz für die Datierungen  
(Foto: dg)

leichteren  $^{16}\text{O}$ . Dieses Verhältnis wird auf internationale Standards bezogen und als Delta-O-18, kurz  $\text{d}^{18}\text{O}$  angegeben.

„Die Region Zentralchina bezieht ihr Wasser aus dem Sommermonsun“, erklärt Sebastian Breitenbach. „Wenn die Regenzeit im Sommer beginnt, ist es vereinfacht ausgedrückt so, als würde der Kontinent einatmen: Es bildet sich ein großes Tiefdruckgebiet über dem Kontinent, und die Feuchtigkeit von den Ozeanen wird angesogen.“ Je nach Stärke des Monsuns liegt die Quelle des Niederschlags mehr oder weniger weit entfernt im Ozean. Bei starkem Monsun mit heftigen Winden legen die Regenwolken einen weiteren Weg zurück als bei schwachem Monsun. Während des Transports geht Wasser durch Abregnen verloren, wobei die schwereren Atome zuerst herunterfallen. Je stärker der Monsun und je weiter der Weg der Regenwolken, desto mehr schweres  $^{18}\text{O}$  verschwindet also unterwegs. Das Wasser, das dann im Binnenland als Monsunregen ankommt, enthält daher verhältnismäßig viel leichtes  $^{16}\text{O}$ , und der  $\text{d}^{18}\text{O}$ -Wert ist niedriger. Anhand des  $\text{d}^{18}\text{O}$ -Wertes können die Forscher also Rückschlüsse auf die Stärke des Monsuns in einem bestimmten Zeitabschnitt ziehen. „Leider gibt es bei diesen Deutungen des niedrigeren  $\text{d}^{18}\text{O}$  als Signal auf einen starken Monsun aber noch einige Unschärfen“, schränkt Sebastian Breiten-

bach ein. „Zum Beispiel ist nicht klar definiert, was ein ‚starker Monsun‘ eigentlich ist, ob das  $\text{d}^{18}\text{O}$ -Signal tatsächlich einfach mehr Niederschlag widerspiegelt und inwieweit weitere Faktoren Einfluss nehmen.“ Möglicherweise verteilt sich der Regen auch nur anders über das Sommerhalbjahr, was den  $\text{d}^{18}\text{O}$ -Wert ebenfalls ändern würde.

### Graffiti bestätigen Klimarekonstruktionen

Die Aussagekraft des  $\text{d}^{18}\text{O}$  wurde daher immer wieder angezweifelt. Bis zum Fund der Inschriften in der Dayu-Höhle: Die Graffiti belegen, dass Menschen die Höhle zwischen 1520 und 1920 mindestens siebenmal besucht haben. Die Inschriften auf den Höhlenwänden geben genaue Informationen, wann und zu welchem Zweck die Besuche stattfanden: „Am 24. Mai im 17. Jahr des Kaisers Guangxu der Qing-Dynastie führte der Bürgermeister Huaizong Zhu mehr als 200 Menschen auf der Suche nach Wasser in die Höhle. Der Hellseher Zhenrong Ran betete für Regen“, lautet zum Beispiel eine Inschrift. Das Datum entspricht nach unserem Kalender dem 30. Juni 1891. Drei Jahre später, 1894, gibt es wieder eine Inschrift, der zufolge derselbe Bürgermeister 120 Menschen auf der Suche nach Wasser in die Höhle geführt hat. „Diese Aufzeichnungen von insgesamt sieben Dürreperioden ent-

So viel wuchs der untersuchte Tropfstein durchschnittlich pro Jahr.

# 0.2 Millimeter



Mit einer computergesteuerten Fräse entnehmen die Forscher Proben aus dem Tropfstein. (Foto: dg)



Ein Stalagmit in Sebastian Breitenbachs Archiv mit einem Bohrloch für eine Datierung (Foto: dg)



Sebastian Breitenbach mit einem seiner Forschungsgegenstände, einem Stalagmiten (Foto: dg)

sprechen genau den Rückschlüssen auf schwachen Monsun, die wir aus der chemischen Analyse des Stalagmiten gezogen haben“, so Sebastian Breitenbach. „Für die Region Südchina ist es also zutreffend, aus einem höheren  $d^{18}O$ -Wert auf Dürreperioden zu schließen. Die Gültigkeit dieser Interpretation für andere Regionen muss allerdings weiter getestet werden.“ Die Aufzeichnungen in der Dayu-Höhle geben außerdem Auskunft über die Folgen der Dürreperioden, die zum Beispiel von Hungersnot und Kannibalismus berichten. Aufgrund von Dürre um die Jahrhundertwende herum kam es zu Konflikten zwischen der Regierung und der lokalen Bevölkerung. „Es ist also für das Wohlergehen von Gesellschaften notwendig, Strategien für Trockenzeiten zu entwickeln“, so Breitenbach. „Das gilt besonders mit Blick auf den Klimawandel, der weitreichende ökologische Veränderungen mit sich bringt.“ Die Geologen gingen daher noch einen Schritt weiter und wagten einen Blick in die Zukunft. Für die Zeit zwischen 1982 – dort endet die Auswertung des Stalagmiten – bis 2042

wandten sie Modellrechnungen an, um die Wahrscheinlichkeit von zukünftigen Dürreperioden abzuschätzen. Das Ergebnis zeigt, dass die Niederschlagsmengen künftig wahrscheinlich unterhalb des Durchschnitts der vergangenen 500 Jahre liegen werden. Zwei ausgeprägte Dürreperioden konnten die Forscher für die 1990er-Jahre und für die späten 2030er-Jahre berechnen. Die meteorologischen Aufzeichnungen für die 1990er-Jahre bestätigen eine trockene Phase. Ob sich das Modell auch für die Dreißigerjahre des 21. Jahrhunderts bestätigt, bleibt abzuwarten. „Die Bauern Südchinas sollten sich allerdings auf Phasen mit weniger Niederschlag und somit veränderten Wachstumsperioden mit möglicherweise weniger verlässlichem Monsun einstellen“, gibt Sebastian Breitenbach zu bedenken.

md

Im Gespräch

# NACH DEM KOHLEAUSSTIEG IST NOCH LANGE NICHT SCHLUSS



Prof. Dr. Christian Pielow ist Geschäftsführender Direktor des Instituts für Berg- und Energierecht.

*2018 schließt das letzte noch aktive Steinkohlenbergwerk in Deutschland. Die Anforderungen an das deutsche Bergrecht werden dadurch aber nicht kleiner. Im Gegenteil.*

**B**ei dem Begriff Bergrecht mögen viele zunächst an Steinkohlenbergbau denken. Aber die Gesetze sorgen auch bei anderen Themen für geordnete Verhältnisse unter Tage, wobei es durchaus offene Fragen gibt. Im Interview erzählt Prof. Dr. Christian Pielow, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Berg- und Energierecht, von Konkurrenzen unter Tage, wie beliebt das deutsche Bergrecht ist und welche juristischen Herausforderungen moderne Methoden der Energiegewinnung und -speicherung mit sich bringen.

**Herr Professor Pielow, wozu kann das deutsche Bergrecht nach dem Schließen der letzten Steinkohlenzeche noch nützen? Ist es auch für moderne Energiegewinnungsmethoden wie Geothermie und Fracking anwendbar?**

Es geht ja momentan um den Kohleausstieg insgesamt beziehungsweise um den Ausstieg aus der Kohleverstromung, wovon auch Braunkohle und Tagebau betroffen sein werden. Dennoch bleibt das Bergrecht aktuell; es regelt klassischerweise und grundsätzlich alle Abbautätigkeiten unter der Erde, auch

die Geothermie, Öl- und Gastransitleitungen sowie Unterwasserkabel. Neben dem Abbau energetischer Rohstoffe wie Kohle oder Erdgas sind vor allem auch nicht energetische Bodenschätze wie Kies, Sand oder Quarz erfasst.

Für das Fracking wurde allerdings ein Spezialgesetz erlassen, das nach vielen Diskussionen am Wasserrecht angedockt ist, und das bislang nur Probebohrungen zu wissenschaftlichen Zwecken und mit Zustimmung der betroffenen Länder erlaubt. In NRW gibt es überdies ein Moratorium, also einen vorläufigen totalen Stopp für Frackingaktivitäten wegen der Risiken für das Grundwasser, die diese Technik mit sich bringen kann. Der unterirdische Raum ist nicht nur für die Energiegewinnung attraktiv, sondern auch für eine Speicherung des Energieträgers Wasserstoff.

Ich halte Wasserstoff tatsächlich für eine klimafreundliche Zukunftstechnologie. Wir arbeiten derzeit an einem EU-Forschungsprojekt mit und begleiten eine Fallstudie zur Umsetzung von Wasserstofftransport und -speicherung in Deutschland. Die kühne Idee ist, Erdgas in Norwegen, wo es herkommt, noch vor Ort in seine Bestandteile zu zerlegen. Alle giftigen Bestandteile sollen direkt wieder in den Boden geleitet werden; nur der Wasserstoff soll über die bestehenden Leitungsnetze in die EU transportiert werden.

#### Was sind die juristischen Herausforderungen dabei?

Der Wasserstoff muss zum Verbraucher gebracht werden, was eine spezielle Infrastruktur voraussetzt. Da setzt die juristische Arbeit an, indem wir uns fragen: Können statt Gas- und Stromnetzen auch Wasserstoffnetze gebaut werden? Oder kann Wasserstoff in Erdgasleitungen transportiert werden? Dabei haben wir es hauptsächlich mit Planungs-, Bau- und allgemeinem Energierecht zu tun.

Fracking regelt es die unterirdische CO<sub>2</sub>-Speicherung nur zu wissenschaftlichen und Probezwecken. Den Ländern, in denen das Gas gespeichert werden soll, stellt es aber frei zu entscheiden, ob sie das bei sich vor der Tür auch zulassen. Die dafür geeigneten geologischen Formationen gibt es eigentlich nur an der Küste, also in Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern und Niedersachsen. Und diese Länder wehren sich seit jeher massiv gegen die CO<sub>2</sub>-Speicherung. Unter dem Strich kann man auch diese Technik in Deutschland daher derzeit vergessen.

#### Was sind die Bedenken der Länder?

Fehlende gesellschaftliche Akzeptanz. Die Bevölkerung hat schlicht und ergreifend Angst, dass das CO<sub>2</sub> wieder aus der Erde austreten kann. Da es schwerer ist als Luft, könnte es sich in Senken sammeln und man könnte daran ersticken. Auch werden Verunreinigungen des Trinkwassers und sogar Erdbeben befürchtet.

#### Auch ohne CO<sub>2</sub>-Speicherung gibt es vielfältige Interessen für die Nutzung unter Tage. Beherzigen die existierenden Gesetze, dass es dabei zu Konkurrenzen kommen kann?

In der Tat kann man sich unter Tage genauso in die Quere kommen wie über Tage. Zum Beispiel wenn ein Ort für die Speicherung verschiedener Stoffe infrage kommt oder wenn ein Gebiet gleichzeitig für Geothermie oder den Abbau von Bodenschätzen genutzt werden soll. Solche untertägigen Nutzungskonkurrenzen sind bis heute nicht befriedigend gelöst. Einige Experten fordern ein untertägiges Raumordnungsrecht. Dieses würde festlegen, mit welcher Priorität welche Nutzung wo verwirklicht werden soll.

# 3.000 METER

So tief unter der Erde könnte **Wasserstoff** gespeichert werden. Bis heute erfolgt die Speicherung aber überwiegend oberirdisch.

**Der Wasserstoff könnte nach dem Transport in leere Erdgaskavernen gepumpt und dort gespeichert werden. Brauchen wir dafür eine neue Genehmigung? Oder kann man das einfach machen, weil dort sowieso immer Gas gespeichert war?**

Wasserstoff ist nicht das einzige Gas, das für eine unterirdische Speicherung in Betracht kommt. Es gibt auch die Idee, Kohlendioxid so einzulagern, um zu verhindern, dass es in die Atmosphäre entweicht und den Klimawandel vorantreibt. Wie das Fracking ist auch die CO<sub>2</sub>-Speicherung in Deutschland gleichsam verteufelt, praktisch verboten. Es gibt ein spezielles Kohlendioxid-Speicherungsgesetz, das an die Systematik des Bundesberggesetzes angelehnt ist. Wie beim

**So lange muss man sich mit den bestehenden Gesetzen behelfen. Seit wann gibt es das deutsche Bergrecht eigentlich in seiner jetzigen Form?**

Das Bundesberggesetz in Deutschland besteht seit 1980. Darin ist aber vieles übernommen worden, was sich schon im Mittelalter und später im Bergrecht der Länder entwickelt und bewährt hat. Die große und durchaus auch weltanschaulich besetzte Frage ist zunächst immer: Wem gehören Bodenschätze? Es gibt diverse Modelle auf der Welt. In den USA gehören Bodenschätze prinzipiell dem, der sie findet – was auch den Goldrausch im Wilden Westen beflügelte. Die Franzosen sehen Bodenschätze als staatliches Eigentum an, wobei Konzessionen für den Abbau durch Private erteilt werden können. ▶

# The next D.I.T.

**Unsere Zukunft:**  
Digital. Innovativ. Technologisch.

start2grow



Sie haben eine digitale oder technologische Geschäftsidee, aber noch keinen Businessplan?  
Oder braucht Ihr Businessplan nur noch den letzten Schliff?  
In jedem Fall sind Sie beim Gründungswettbewerb start2grow 2019 richtig!

Unser Angebot für Ihre erfolgreiche Gründung:

- Preisgelder im Wert von 84.000€
- Kostenfreies Coaching und Mentoring
- Kontakte zu Wirtschaft und Kapital
- Events zum Netzwerken, Lernen und Feiern
- Bundesweiter Wettbewerb
- Kostenfreie Teilnahme

Jetzt informieren und anmelden: [www.start2grow.de](http://www.start2grow.de)

In Deutschland sind volkswirtschaftlich bedeutsame Bodenschätze seit dem 19. Jahrhundert bergfrei in dem Sinne, dass sie zunächst niemandem gehören, auch nicht dem Staat. Prinzipiell kann jeder beantragen, diese Bodenschätze abbauen zu wollen; dafür muss er eine Genehmigung bei der Bergbehörde beantragen und Betriebspläne für sein Bergwerk vorlegen. Anders als in Frankreich gibt es dann einen Rechtsanspruch auf die Bergbauerlaubnis. Grundeigentümer müssen den Abbau prinzipiell dulden.

### **Was erwirbt man eigentlich, wenn man ein Grundstück kauft, also wie viele Meter in die Tiefe gehört einem der Untergrund? Und würden einem in diesem Raum dann auch eventuelle Bodenschätze gehören?**

Grundsätzlich – und theoretisch – reicht das Grundeigentum bis zum Erdmittelpunkt. Dazu gehören auch sogenannte grundeigene Bodenschätze, beispielsweise Sand, Kies oder Torf. Nicht aber, wie schon gesagt, gesetzlich definierte bergfreie Bodenschätze wie Erdgas, Kohle oder auch Gold und Silber. An letzteren besteht nach deutschem Bergrecht ein besonderes gesellschaftliches Gewinnungsinteresse, und sie sind deshalb vom Eigentum am Grundstück ausgenommen.

### **Wie steht denn das deutsche Bergrecht im Vergleich zu anderen Ländern da?**

Es besteht generell ein großes Interesse an deutschem Recht in der Welt. Manche Länder haben ganze Gesetzeswerke aus Deutschland abgeschrieben, das Bürgerliche Gesetzbuch gilt in weiten Teilen zum Beispiel in Japan. Das Grundgesetz ist in der Welt als besonders bewährte Verfassung bekannt. Auch das deutsche Bergrecht dient vielen Ländern als Vorbild, weil es für seine pragmatischen Lösungen geschätzt wird, derzeit zum Beispiel in Afghanistan und auch in den rohstoffreichen Ländern Lateinamerikas.

### **Sind in dem Gesetz auch Haftungsansprüche geregelt?**

Ja, im sogenannten Bergschadensrecht. Dieses enthält eine Besonderheit: die Beweislastumkehr. Wenn man hier im Ruhrgebiet als Hauseigentümer einen Riss in der Wand hat, muss man nicht beweisen, dass dieser kausal auf eine Bergbautätigkeit zurückgeht. Vielmehr ist der Bergbauunternehmer in der Pflicht, den Gegenbeweis zu führen oder den Hauseigentümer zu entschädigen. Um Haftung für Bergbauschäden, auch im Fall von Tagebrüchen, gibt es immer wieder Auseinandersetzungen; um den Rechtsschutz zu vereinfachen, existieren etwa in NRW eigene Schlichtungsstellen.

### **Das Institut für Berg- und Energierecht ist auch beratend tätig. Mit welchen Themen sind Sie dabei häufig konfrontiert?**

Im Moment haben wir viel mit Rechtsfragen rund um die Energiewende zu tun. Energierecht berührt sehr viele Rechtsbereiche, vom Völkerrecht über das EU-Recht bis zum Kommunalrecht. Ein Beispiel: Ich hätte mir früher nicht träumen lassen, dass ich mal mit Eichrecht zu tun haben würde. Es ist aber relevant im Bereich der E-Mobilität. Wenn man das E-Fahrzeug auflädt, muss an der Ladesäule korrekt abgerechnet werden,

und das ist auch eine eichrechtliche Frage. Neuerdings geht es gerade in der Energiewirtschaft auch um Digitalisierung und damit um IT- und Datenschutzrecht – sowie um den Schutz von kritischen Infrastrukturen, etwa von Energienetzen, vor Sabotage und Hackerangriffen.

Übrigens ist es nicht das erste Mal, dass wir uns mit der Energiewende befassen, eine große Wende liegt schon hinter uns: die Liberalisierung der Energiemärkte mit der Folge, dass heutzutage jeder seinen Strom- oder Gaslieferanten frei wählen kann. Juristisch war das eine enorme Herausforderung, und es gibt hierzu immer wieder neue Fragen, beispielsweise zu den Entgelten für den Zugang von Wettbewerbern zu den Energienetzen oder zum Energiehandel über die EU-Binnengrenzen hinweg.

### **Wie gerät man als Institut oder Wissenschaftler eigentlich an so eine Beratertätigkeit?**

Das ergibt sich, wenn man auf einem Gebiet gute Arbeit macht. Dann werden irgendwann die Anfragen an einen herangetragen. Bochum ist inzwischen eine der ganz wenigen wissenschaftlichen Adressen für Bergrecht in Deutschland.

*Text: jwe, Foto: dg*



## **INSTITUT FÜR BERG- UND ENERGIERECHT**



*Im Institut für Berg- und Energierecht arbeiten Juristen und Ingenieure sowie Vertreterinnen und Vertreter aus den Sozial-, Politik- und Wirtschaftswissenschaften zusammen. Das Team ist nicht nur in der Forschung aktiv, sondern berät auch Unternehmen, Verbände und Behörden. Außerdem bestehen Kooperationen mit ausländischen Partnerinstituten in- und außerhalb der EU sowie mit der Generaldirektion Energie der EU-Kommission. Das Institut bietet ein eigenes und interdisziplinäres Kompaktlehrprogramm Energiewirtschaft für Hörerinnen und Hörer aller Fakultäten in der Universitätsallianz Ruhr an und lädt regelmäßig zu Vorträgen, Seminaren und Tagungen ein.*

# DIAGNOSE STAUBLUNGE

*Eine Geschichte vom Aufblühen der ersten Arbeitsschutzbemühungen bis zum Streit um Versicherungsleistungen.*



Für die Arbeit unter Tage kamen nur die Fittesten der Fitten infrage. (Foto: Josef Stoffels/Fotoarchiv Ruhr Museum)

Im 20. Jahrhundert als Bergmann zu arbeiten galt als einer der härtesten und gefährlichsten Berufe überhaupt. Nur die Fittesten der Fitten kamen für die körperlich belastende Tätigkeit unter Tage infrage, und dafür geeignet zu sein erfüllte die Bergleute mit Stolz. Ein Stolz, der verletzt wurde, weil viele der einst kräftigen Arbeiter durch Krankheit ans Bett gefesselt endeten und auf die Pflege von Familie und Freun-

den angewiesen waren. Steinstaublunge lautete die Diagnose. „Welche Demütigung das für die Betroffenen mit sich brachte, ist kaum in den öffentlichen Diskurs hineingedrungen“, sagt Daniel Trabalski, Doktorand am Lehrstuhl für Zeitgeschichte der RUB. Er arbeitet die Geschichte der Krankheit sowie des darum entstandenen Arbeitsschutzes und Versicherungswesens auf. „Über dieses Thema stolpert man nicht, wenn man

an der Uni studiert“, erzählt er. Sein Nebenjob in der Dokumentations- und Forschungsstelle der Sozialversicherungsträger brachte ihn zu seinem heutigen Promotionsvorhaben. „Dort lief ein Archivprojekt, für das ich viele alte Akten in die Hand bekommen habe“, berichtet Trabalski. In den Dokumenten ging es um Versicherungsleistungen für Patienten mit Silikose, wie die Staublungge auch genannt wird. Heute forscht der Historiker zur Regulierung der Silikose-Folgen in dem Projekt „Partizipative Risikopolitik?“, das die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert und das am Deutschen Bergbaumuseum angesiedelt ist. „Mir geht es nicht nur darum, eine Versicherungs- oder Technikgeschichte zu rekonstruieren“, erklärt Trabalski, „ich möchte auch die Perspektive der Bergleute einbeziehen.“

Während der Kriegswirtschaft war der Bergbau auf eine möglichst hohe Produktion ausgelegt, und Anfang des 20. Jahrhunderts wurde er stark mechanisiert, unter anderem durch die Erfindung des Pressluftbohrers. „Das hat die Arbeit unter Tage sehr verändert“, erzählt Daniel Trabalski. „Durch den Einsatz schwerer Maschinen entstand mehr Staub.“ Dass das ein Gesundheitsrisiko ist, diskutierte man bereits in den 1920er-Jahren. Trotzdem war die Silikose noch nicht Bestandteil der ersten Berufskrankheitenverordnung, die 1925 in Deutschland eingeführt wurde. Man hatte zwar erkannt, dass es nicht ausreichte, Unfälle zu versichern, sondern dass viele Leute auch chronisch an den Folgen ihres Berufes erkrankten. Aber die Silikose tauchte erst vier Jahre später in der zweiten Berufskrankheitenverordnung auf, und nur das schwerste von drei Stadien der Krankheit war abgedeckt. Betroffene erhielten nur dann Versicherungsleistungen, wenn auf dem Röntgenbild eindeutig eine Silikose erkennbar war und klinisch festgestellt wurde, dass der Patient seinen Beruf nur noch eingeschränkt ausüben konnte. „Es reichte nicht, wenn ein Bergmann mit Atemproblemen zum Arzt kam“, sagt Trabalski.

1929, also im gleichen Jahr, in dem die Staublungge als Berufskrankheit anerkannt wurde, schrieb die Unfallversicherung der Bergleute einen Wettbewerb aus. Sie suchte Ideen für eine effektive Staubbekämpfung unter Tage. „Es gab allerdings keine

wurde, Atemmasken zu tragen. „Aber die Technik konnte mit den extremen Arbeitsbedingungen unter Tage nicht Schritt halten. Die Masken waren nicht dicht, sie erschwerten das Atmen und störten bei der Arbeit“, beschreibt der Doktorand. Die jungen Bemühungen des Arbeitsschutzes in Bergwerken wurden jäh zurückgeworfen, als der Zweite Weltkrieg

” ICH MÖCHTE  
DIE PERSPEKTIVE  
DER BERGLEUTE  
EINBEZIEHEN. “

Daniel Trabalski

ausbruch. Die Kohle wurde gebraucht, um Stahl und Treibstoff zu produzieren, alles war auf eine möglichst hohe Produktion ausgelegt. Folglich stiegen die Unfallzahlen, und auch die Zahl der Silikose-Betroffenen schnellte in die Höhe. „Als das nach dem Zweiten Weltkrieg auffiel, begann eine starke Wissensproduktion“, erzählt Daniel Trabalski. Die Institute für Silikoseforschung expandierten und erhielten verschiedene Abteilungen mit Medizinerinnen und Ingenieuren. „Trotzdem wusste man in der Frühphase erschreckend wenig über die Krankheitsmechanismen“, so der Bochumer Wissenschaftler. Die Experten verfolgten zunächst die Theorie, dass die Betroffenen eine besondere Anlage hätten, eine Silikose zu entwickeln.

Als man jedoch nach 1945 wieder regelmäßige medizinische Untersuchungen für Bergleute einführt, fiel auf, dass die Betroffenenzahlen wesentlich höher waren als ursprünglich angenommen. Also versuchten die Betriebe, die Bergbau-Berufsgenossenschaft und die staatlichen Bergämter – eine

50.000

Ungefähr so hoch war die Zahl anerkannter **Silikosefälle** konstant von den **1950er-Jahren** bis in die **1970er-Jahre**.



Gewinner“, erzählt Trabalski. „Nichts konnte die Jury überzeugen, und so wurde das Thema auf die lange Bank geschoben.“ Zwar gab es erste Forschungseinrichtungen, die sich mit der Silikose befassten. Doch sie waren klein und hatten für viele zwar bekannte Probleme noch keine Patentlösung parat. Betriebliche Maßnahmen konzentrierten sich daher zunächst auf das individuelle Verhalten der Bergleute, denen empfohlen

Art Gewerbeaufsicht –, technisch gegenzusteuern. Es wurden zum Beispiel Bohrhämmer eingeführt, die nur funktionierten, wenn man einen Wasserschlauch anschloss. Auch die Kohle musste befeuchtet werden, um den Staubgrad zu verringern. Die Maßnahmen griffen; die Zahl der Neuerkrankten ging Ende der 1950er-Jahre zurück. Eine neue Berufskrankheitenverordnung aus dem Jahr 1952 sorgte außerdem dafür, ▶

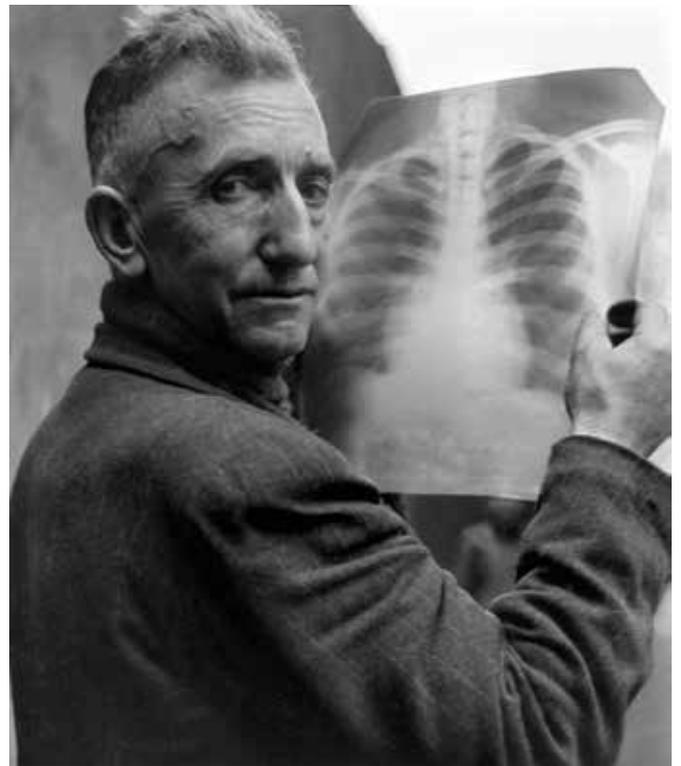
dass Betroffene nicht nur im schwersten Krankheitsstadium Leistungen in Anspruch nehmen konnten, sondern bereits ab einem Invaliditätsgrad von 20 Prozent. Von den 1950er-Jahren bis in die 1970er-Jahre gab es konstant rund 50.000 Menschen mit anerkannter Silikose, die eine Rente bezogen. Immer noch verfolgte man die Idee, dass bestimmte Menschen schneller an einer Staublungenerkrankung erkrankten als andere. Anfang der 1950er-Jahre führte das Oberbergamt eine Kartei ein, in der systematisch für jeden Bergmann erfasst war, an welchen Betriebspunkten er arbeitete und wie hoch dort die Staubbelastung war. Leute mit einem höheren Silikoserisiko wurden an Betriebspunkte mit geringerer Belastung versetzt. In den 1960er-Jahren wurden diese Daten statistisch ausgewertet. Dabei fiel auf, dass es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Zeit gab, die ein Bergmann unter starker Staubbelastung gearbeitet hatte, und seinem Gesundheitszustand.

### Tiefe Einblicke in das häusliche Elend

Nun wandelte sich der Blick; man schaute nicht mehr auf den individuellen Bergmann und seine vermeintliche Neigung, eine Silikose zu entwickeln. Stattdessen berechnete man die Wahrscheinlichkeit für eine Silikoseerkrankung basierend auf der Staubmenge, der ein Bergmann im Lauf seiner Arbeitszeit ausgesetzt gewesen war. Folglich diskutierten die Fachleute an den Forschungsinstituten auch Grenzwerte für die Staubexposition, die die Bergämter schließlich in Form sogenannter Staubbelastungsstufen festlegten. „Der Diskurs, welche Menschen anfällig für die Krankheit sind und welche nicht, verschwand in den 60er-Jahren komplett“, erzählt Daniel Trabalski. „Nur: Die Betroffenen waren immer noch Individuen.“ An diesem Punkt setzt seine aktuelle Forschungstätigkeit an. Ihn interessiert, was die Silikose und der Umgang der Versicherungen damit für die Betroffenen bedeutete. In den Akten aus der Dokumentations- und Forschungsstelle der Sozialversicherungsträger sucht er darauf nach Hinweisen. Häufig geht es dabei um Forderungen nach Pflegegeld oder einer höheren Rente. „Manchmal schrieben sogar die Frauen der Bergleute an die Versicherung, weil der Mann siech im Bett lag und es selbst nicht mehr konnte“, schildert Trabalski. „Bislang konnte ich nur wenige Äußerungen aus den Akten sammeln, aber sie geben teils tiefe Einblicke in das häusliche Elend, das sich abspielte. Die Einträge spiegeln eine große Frustration wider.“ Frust darüber, dass man Jahre lang unter Tage geschuftet hatte, an den Folgen schwer erkrankt war und nun um Versicherungsleistungen ringen musste.

Der Bochumer Historiker zieht ein Zwischenfazit: „Es klafft eine Lücke zwischen dem Selbstbild der Bergleute als hart arbeitende, kernige Typen und dem Zustand des siechen Todgeweihnten, in dem sie sich Jahrzehnte später wiederfanden“, sagt Trabalski. „Für die Betroffenen scheint das eine sehr große Demütigung gewesen zu sein.“

jwe



Die Silikose ließ sich anhand von Röntgenaufnahmen der Lunge identifizieren. (Foto: Anton Tripp/Fotoarchiv Ruhr Museum)



Die Geschichte der Silikose arbeitet Historiker Daniel Trabalski in seiner Doktorarbeit auf. (Foto: dg)

## SILIKOSE



Eine Silikose entsteht, wenn über längere Zeit feiner Quarzstaub eingeatmet wird. Das Lungengewebe vernarbt. Die Folgen zeigen sich oft nicht sofort, sondern können erst Jahre später auftreten: Husten, Atemnot und ein erhöhtes Risiko, an Lungeninfektionen zu erkranken. Es ist nicht möglich, die Krankheit zu heilen; die Behandlung erfolgt rein symptomatisch. Oft verschlimmert sich die chronische Silikose im Lauf der Zeit und kann zum Tod durch Ersticken, Herzversagen oder Tuberkulose infolge der Silikose führen.



WIR HABEN  
BOCK AUF  
BOCHUM

*Seismologie*

# WIE DIE ALPEN VON UNTEN AUSSEHEN

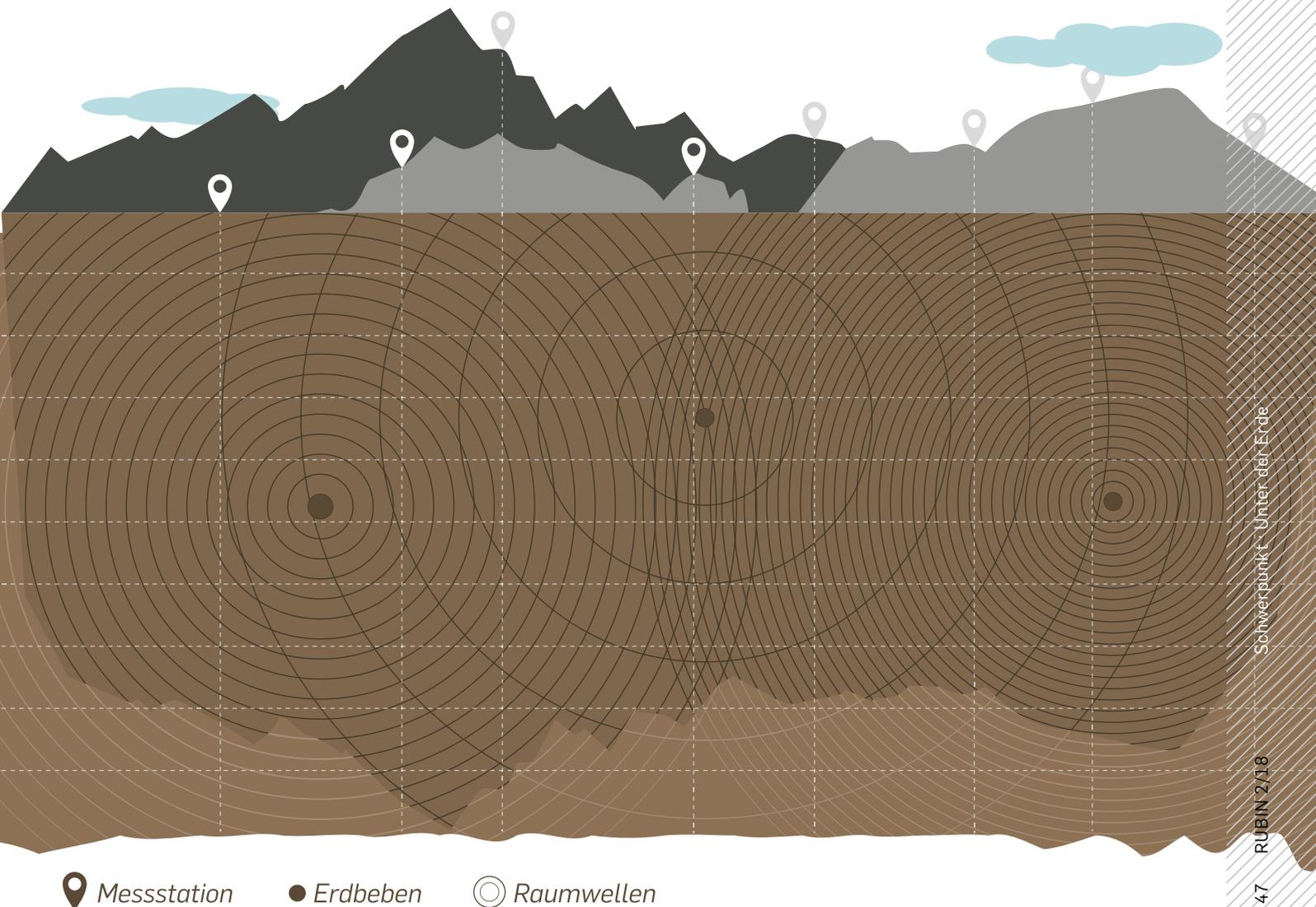
*Berge erstrecken sich nicht nur nach oben, sondern auch nach unten in die Erde hinein. Um sich davon ein Bild zu machen, nutzen Forscher Erdbeben.*

Die Berge der Alpen sind gewaltig: Bis zu 4.800 Meter hoch ragen sie auf. Doch was wir von ihnen sehen können, ist noch lange nicht alles: Ähnlich wie Eisberge, deren größerer Teil unter Wasser liegt, haben die Alpen eine Wurzel, die weit in die Tiefe bis hinein in den Erdmantel reicht. „Die kontinentale Erdkruste und damit auch die Wurzel der Berge besteht vorrangig aus Gestein geringerer Dichte, wie zum Beispiel Kalkstein, Granit, Gneis oder Sedimenten. Der darunterliegende Erdmantel besteht eher aus dichtem Gestein“, beschreibt Dr. Kasper Fischer, Leiter des Seismologischen Observatoriums der RUB, das Prinzip. Um herauszufinden, wie die Alpen von unten aussehen, machen er und Kolleginnen und Kollegen aus ganz Europa sich Erdbeben zunutze. Hintergrund ist, dass sich Erdbebenwellen in verschiedenen Gesteinsarten unterschiedlich schnell ausbreiten. Aus ihrer Geschwindigkeit lassen sich also Rück-

schlüsse darauf ziehen, durch welche Art von Untergrund sie gelaufen sein müssen. Um diese Geschwindigkeit messen zu können, haben die Forscherinnen und Forscher im europäischen Projekt Alp Array eine weitverzweigte Landschaft aus Messstationen aufgebaut, die sich über die gesamte Alpenregion erstreckt. Etwa 280 vorhandene Seismometer wurden um rund 320 zusätzliche mobile Messgeräte ergänzt, sodass an 600 Stellen die Erdbewegungen überwacht werden.

„Wir hatten einen Plan mit günstigen Messpunkten von der Projektleitung erhalten und haben dann Orte gesucht, die in einem Ein- bis Zwei-Kilometer-Umkreis dieser Punkte Messmöglichkeiten eröffneten“, erklärt Kasper Fischer. Wichtig dabei waren vor allem eine ausreichende Stromversorgung und Schutz vor dem Wetter. Die Seismometer, verpackt in eine schützende Tonne und flankiert von einem Computer und gegebenenfalls einer Batterie, brachten die Forscher zum Beispiel in Gebäuden ▶

Die Forscher messen Erdbebenwellen verschiedener Herkunft und überlagern sie. Anhand der Geschwindigkeit, mit der sie sich durch die Erde fortgesetzt haben, können sie Rückschlüsse ziehen, durch welche Untergründe sie gelaufen sind. So entsteht nach und nach ein Relief der Alpen von unten.



📍 Messstation   ● Erdbeben   ○ Raumwellen

von Wasserwerken, in Burgen, in Schulen und anderen öffentlichen Gebäuden unter. Manche wurden mangels Infrastruktur im Hochgebirge auch vergraben. „Ungefähr zweimal im Jahr fährt ein Techniker die Messpunkte an und schaut, dass alles in Ordnung ist“, erzählt Fischer, dessen Bochumer Team zehn der Messpunkte in der Alpenregion aufgebaut hat und betreut. Nach dem Projektstart im Jahr 2015 war das dichte Netz aus Messpunkten zwei Jahre später fertig aufgebaut. Per Mobilfunk werden die Daten der Bochumer Stationen in Echtzeit an die RUB übertragen – im Flur des Instituts für Geologie, Mineralogie und Geophysik hängen Monitore an der Wand, auf denen jeder Besucher live verfolgen kann, ob und wo in den Alpen die Erde bebt. Alle Daten sämtlicher Messpunkte werden an zentralen Stellen in Europa gesammelt und können jedem, der ihre Nutzung beantragt, zur Verfügung gestellt werden. Dann begann das Warten – auf Erdbeben.

„Kleinere auswertbare Erdbeben finden fast täglich statt, größere Ereignisse natürlich wesentlich seltener“, sagt Kasper Fischer. Je nachdem, wo ein Erdbeben seinen Ursprung hat, kommen seine Wellen früher oder später in der Alpenregion an und verlaufen aus verschiedenen Richtungen durch das Messnetz. Ein Erdbeben mit Ursprung in Japan verursacht ein Wellenmuster, das aus Nord-Osten kommt, eines in Grie-

chenland kommt aus Südwesten. Bei weit entfernten Beben melden alle Messstandorte fast zeitgleich Bodenbewegungen. Lokale Erdbeben wandern mit größerer zeitlicher Verzögerung durch das Netz der Messpunkte.

„Besonders interessant sind für uns in der Regel nicht die Oberflächenwellen von Erdbeben, die die meiste Zerstörung anrichten“, sagt Kasper Fischer. „Wir konzentrieren uns normalerweise auf die Raumwellen.“ Diese Wellen gehen kugelförmig vom Ursprung eines Bebens aus, der meist in großer Tiefe liegt, und verbreiten sich durch den Erdkörper. Im Gestein des Erdmantels breiten sie sich schneller aus als in der Erdkruste. Durch die Wurzel der Alpen laufen sie also auch langsamer als durch das umgebende Gestein. Das enge Netz des Alp Array erlaubt es, die Informationen, die in den Oberflächenwellen enthalten sind, ebenfalls detailliert auszuwerten.

Um der Struktur des Untergrunds der Alpen auf die Spur zu kommen, werten die Forscher im Projekt die Messdaten mehrerer Erdbeben unterschiedlicher Herkunft aus, indem sie sie nachträglich im Computer übereinanderlegen. Durch die Kreuzungspunkte der Wellen entsteht eine virtuelle Gitterstruktur der Erde unterhalb der Alpen, die bis in eine Tiefe von mehreren hundert Kilometern reicht. „Wir vergleichen dann die gemessenen Geschwindigkeiten der Erdbebenwellen

#### INITIATIVE ALP ARRAY



Die europäische Initiative Alp Array ist eingebunden in das Schwerpunktprogramm 2017 „4D-MB – Gebirgsbildungsprozesse in vier Dimensionen“, das die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert. Mehr als 50 Einrichtungen aus 18 Ländern sind zurzeit daran beteiligt.



Die Kisten enthalten je ein Breitbandseismometer, das über einen breiten Frequenzbereich von 8 Millihertz bis 40 Hertz Bodenbewegungen registriert. Die goldene Verpackung schützt die Geräte vor Temperaturschwankungen.

600  
KILOMETER

So tief unter der Erde können **natürliche Erdbeben** entstehen. Allerdings nicht in Europa.

mit vorher auf der Basis vereinfachter Modelle berechneten Erwartungen“, erklärt Kasper Fischer. Abweichungen von diesen errechneten Durchschnittswerten lassen Schlüsse auf den tatsächlichen Untergrund zu. „Langsamere Werte in einem Kästchen unseres Gitters können wir so der Alpenwurzel zuordnen, schnellere Werte in einem Kästchen deuten auf den umgebenden Erdmantel hin“, so Fischer. Mit dieser sogenannten seismischen Tomografie entsteht so nach und nach ein Abbild der inneren Struktur der Alpen und ihrer Wurzel, ganz ähnlich wie bei einer Computertomografie des Körpers im Krankenhaus. Darüber hinaus erhoffen sich die am Projekt beteiligten Forscherinnen und Forscher Schlüsse auf die Dynamik der Kontinentalplatten Afrikas und Europas, deren Kollision zur Bildung der Alpen geführt hat. „Nach der gängigen Auffassung taucht Europa unter die adriatische Platte ab“, erläutert Kasper Fischer, „aber ganz so einfach ist das nicht. Vielleicht ist es auch umgekehrt, oder an verschiedenen Stellen unterschiedlich.“ Mehr Wissen über den Untergrund in dieser Region erlaubt dann möglicherweise auch Rückschlüsse auf Strömungen im Erdmantel und die genauen Folgen der Bewegungen der Kontinente.

Text: md, Fotos: rs

## DAS SEISMOLOGISCHE OBSERVATORIUM DER RUB



*Das seismologische Observatorium der RUB beobachtet seismische Ereignisse im Ruhrgebiet und in Ibbenbüren, die mit dem Steinkohlenbergbau im Zusammenhang stehen. Seit den 1980er-Jahren registrierte es über 14.000 solche Ereignisse im Ruhrgebiet, die durch aktiven Bergbau ausgelöst wurden. Wie es nach dem Ende des Bergbaus weitergeht, ist Gegenstand der Forschung der nächsten Jahre. Insbesondere durch den geplanten Grubenwasseranstieg ist mit Erschütterungsereignissen zu rechnen. Die meisten werden aber nicht spürbar sein und können daher nur durch empfindliche Instrumente registriert werden.*

➔ [ariadne.geophysik.rub.de/map](http://ariadne.geophysik.rub.de/map)



Kasper Fischer arbeitet an einem Seismometer.

Schwerpunkt: Unter der Erde

*Im Gespräch*

# HINABGESTIEGEN IN DAS REICH DES TODES

*Was sagt die Bibel über die Unterwelt? Wer kommt rein? Und wie kommt man wieder raus?*



Die Hölle – eine Feuersbrunst? Generell ist die Bibel mit dem Ausmalen von Bildern für Himmel und Unterwelt recht zurückhaltend. (Foto: Fotolia, flukesamed)

**I**m Rubin-Dialog treffen sich Prof. Dr. Thomas Söding, Leiter des Lehrstuhls Neues Testament an der Katholisch-Theologischen Fakultät, und Prof. Dr. Reinhard von Bendemann, Leiter des Lehrstuhls für Neues Testament und Judentumskunde an der Evangelisch-Theologischen Fakultät. Sie verraten, welche Antworten die Bibel auf die Frage nach einem Leben nach dem Tod gibt – und was sie offen lässt.

## Was sind eigentlich Himmel und Hölle?

**Von Bendemann:** Hölle ist kein biblischer Begriff, er leitet sich von Höhle ab. Im antiken Judentum ging man davon aus, dass die Seelen der Gerechten und Frevler bis zum Ende der Weltzeit in Höhlen gesammelt werden. Über uns vermuten wir gemeinhin den Himmel. Es gibt aber auch Texte, in denen die Unterwelt oben ist, weil sie eine Hemmbarriere auf dem Weg zu Gott darstellt. Generell geht es bei Himmel und Hölle nicht um fest definierte Aufenthaltsräume, sondern um die Frage nach einem heilvollen Ende. Grundsätzlich muss man unterscheiden zwischen einem glücklichen oder unglücklichen Ausgang nach dem individuellen Lebensende und nach einem eschatologischen Ende, also dem Ende der Weltzeit. Das kann ganz verschieden gestaltet sein.

**Söding:** Die Bibel ist generell sehr zurückhaltend beim Ausmalen von himmlischen Freuden. Ein Jenseits-Schlaraffenland kennt sie nicht; ein typisches Himmelssymbol ist ein festliches Mahl. Genauso beschreibt die Bibel auch keine Höllenreisen im Detail. Es gibt wenige farbige Bilder wie die Sintflut oder die Feuersbrunst. Im Alten Testament gibt es noch die Vorstellung der Scheol, die mit dem griechischen Hades vergleichbar ist: ein Schattenreich, ein Ort des Vergessens, in dem die Toten sozusagen Untote sind. Im Neuen Testament wird – wie im frühen Judentum – die Gehenna, wahrscheinlich bezogen auf ein Tal des Todes bei Jerusalem, zum Bild für die Hölle, in der Sünder von Gott den quälenden Folgen ihres eigenen Unrechts ausgeliefert werden. Himmel und Hölle sind aber moderne Interpretationskonzepte, die zum größten Teil nicht in der Bibel selbst abgelesen werden können, sondern ihr übergestülpt werden. Bei der Deutung der Bibel wollen wir Theologen diese Unterschiede klarmachen.

**Von Bendemann:** Die Gehenna ist übrigens kein biblisches Konzept, sie wird aus altorientalischen Vorstellungen übernommen. Es gibt viele Metaphern für die Hölle: Orte wie die Wüste oder Gräber, in denen Dämonen hausen. Wenn wir die Bildersprache dechiffrieren, müssen wir uns bewusst sein,

dass man eine Geschichte nicht in dogmatische Aussagen umbrechen kann. Eine Geschichte steht für sich.

**Söding:** Man muss auch im Hinterkopf haben, dass die Bibel das Weltbild der Antike teilt, das von dem der Moderne grundlegend verschieden ist. Wir sagen aber: Bloß weil das Weltbild veraltet ist, sind nicht auch die Botschaften veraltet.

## Wer kommt in den Himmel, wer landet in der Unterwelt?

**Söding:** Es gibt keine Gebrauchsanweisung, wie man in den Himmel kommt und wie man sich auf die Unterwelt vorbereiten soll. Es kommt nicht nur auf das eigene Tun an. Laut Neuem Testament gibt es am Ende der Zeit Hoffnung auf das Reich Gottes. Das Alte Testament ist über weite Strecken zurückhaltender mit der Auferstehungshoffnung. Im Neuen Testament ist klar, dass Gott kein Totengott ist, sondern ein Gott, der Leben schafft. Es bleibt die Frage: Wie kommt man in Kontakt mit Gott? Dafür steht der Begriff des Glaubens.

**Von Bendemann:** Auch im Alten Testament, das ja die Bibel der ersten Christen war und die Bibel des Judentums ist, ist Gott ein Gott der Lebenden. Aber erst an den Rändern des Alten Testaments bekommen wir die Vorstellung, dass es am Ende der Zeit ein Beurteilungsgericht mit doppeltem Ausgang gibt – gut oder schlecht. Daneben entsteht im Judentum die Vorstellung, dass Gott einzelne Gerechte direkt nach ihrem gewaltsamen Lebensende zu sich in eine Lebensperspektive holen kann. Das sind Aspekte, die es auch im Islam gibt. Am 11. September sind die Attentäter mit der Vorstellung in die Twin Towers geflogen, für Allah zu sterben und direkt bei Gott eine Lebensperspektive sicher zu haben. Dieses Konzept des direkten Himmelszugangs gibt es auch im Neuen Testament – allerdings nicht durch Gewalt gegen andere. Nur ist das im Christentum durch die Aufklärung durchgegangen. Die Schriften des Neuen Testaments sind überwiegend für kleinere Gruppen entstanden. Wenn Paulus im ersten Thessalonikerbrief schreibt „Heiden sind die, die keine Hoffnung haben“, klingt das so, als wären die Heiden am Ende der Zeit nicht im Himmel. Aber er schreibt das nicht an die ganze Welt, sondern an eine relativ jung gegründete Missionsgemeinde, die er stärken will. Das müssen wir bedenken, wenn wir das im 21. Jahrhundert reflektieren.

**Söding:** Ich würde den ersten Thessalonikerbrief etwas anders lesen. Wenn Paulus sagt, dass die Heiden keine Hoffnung auf die Auferstehung von den Toten haben, heißt das nicht, dass ▶



Das Bild zeigt ein Fresko aus dem Babylonischen Judentum im 3. Jahrhundert nach Christus. Es erzählt die Geschichte von Ezechiel 37: Der Prophet wird in eine Ebene versetzt, in der er beobachtet, wie in die toten Gebeine Lebensgeist fährt, in Form von griechischen Engelgestalten. Das wiederhergestellte Volk stellt man sich mit der Zehnzahl derer vor, die man braucht, um einen jüdischen Gottesdienst zu feiern. Links ist der gespaltene Ölberg dargestellt, aus dem am Ende der Tage nach frühjüdisch-babylonischer Vorstellung die Auferstehung der Toten erfolgt. (Quelle: C. H. Kraeling, *The Synagogue. Excavations at Dura-Europos. Conducted by Yale University and the French Academy of Inscriptions and Letters, Final Report VIII/1, New York 1979*)

sie in der Hölle schmoren würden. Sondern dass sie die Hoffnung nicht haben können, die man haben kann, wenn man an Jesus Christus glaubt. Die katholische Kirche hat das Neue Testament allerdings lange Zeit anders gelesen, als man es heute tut. Sie war der Überzeugung, wer nicht glaubt, könne nicht gerettet werden.

## Was ist die Hölle: Läuterungs-ort oder ewige Verdammnis?

**Söding:** Wenn ich das wüsste! Wenn ich es naiv ausdrücken darf: Ich kann Gott doch keine Vorschriften machen. Es kann keinen Heilsautomatismus geben. Joseph Ratzinger hat mal gesagt: Es besteht die moralische Pflicht zu hoffen, dass alle Menschen gerettet werden. Mehr als das, kann ich nicht tun.

**Von Bendemann:** Die Frage ist: Können am Ende alle im Himmel sein? Im Judentum wäre klar: Die, die sich an die Tora, die hebräische Bibel, halten, gehören zu den Gerechten und werden am Lebensende dafür belohnt. Es gibt die Vorstellung, dass ein auf Erden gestörtes Gleichgewicht der Gerechtigkeit am Ende des Lebens oder am Ende der Zeit wieder in die Balance gebracht wird. In der christlichen Theologie ist die Frage, ob am Ende alle im Himmel sein können, sehr umstritten.

**Söding:** Im Grunde muss man sich theoretisch fragen: Wenn alle in den Himmel kommen, auch die Schurken, geht dann nicht das ganze Schlamassel wieder von vorne los? Muss es im Himmel nicht eine qualitative Steigerung geben? Das gehört dann aber schon in den Bereich der Dogmatik.

**Von Bendemann:** In der protestantischen Theologie hat Friedrich Daniel Ernst Schleiermacher gesagt: Gottes Liebeswillen und unsere Abhängigkeit von Gott sind so ausgeprägt, dass man sich nicht vorstellen kann, dass am Ende noch jemand in der Hölle ist. Er hat auch gesagt: Denen im Himmel würde es nicht gutgehen, wenn sie unten noch Leute leiden sehen würden. Aber wenn man es zuspitzt: Was wird aus all den Schurken in der Weltgeschichte? Möchte man am Ende irgendwo mit denen zusammensitzen? Und wollen überhaupt alle in den christlich formatierten Himmel? Die Allerlösungslehre geht davon aus, dass am Ende ein Transformationsschritt passieren muss, damit wir himmelskompatibel werden. Und wie das geht, wissen wir nicht. Das Neue Testament spricht gern mit dem griechischen Begriff Mysterion.

**Söding:** Es gibt dafür auch klare, harte Bilder: das Jüngste Gericht, in dem zwischen Gut und Böse unterschieden wird. Allerdings sollte man nicht denken, dass die bad guys dabei aussortiert werden und die good guys in den Himmel kommen.



Thomas Söding (links) von der Katholisch-Theologischen Fakultät und Reinhard von Bendemann von der Evangelisch-Theologischen Fakultät (Foto: Katja Marquard)

Die Unterscheidung zwischen Gut und Böse kann ein dramatischer Prozess in einem selbst sein. Man muss auch immer bedenken, dass jede Übeltat, so schlimm sie auch gewesen sein mag, zeitlich begrenzt ist; sie kann nicht unbegrenzt bestraft werden. Über lange Zeit gab es auch die sehr populäre Vorstellung vom Fegefeuer als Läuterungsort.

**Von Bendemann:** Das Jüngste Gericht wurde teils sehr finster dargestellt, wir würden das heute schwarze Pädagogik nennen. Das hat jahrhundertlang meinungsbildend gewirkt, auch zur Einschüchterung von Gläubigen geführt. Die Reformatoren haben die antike beziehungsweise mittelalterliche Lehre vom Reinigungsort, die Fegefeuerlehre, kritisiert. Nach der Reformation kam das aber alles wieder, zum Teil viel finsterner als im Mittelalter. Erst mit der Aufklärung hat man das im Protestantismus ausgemistet.

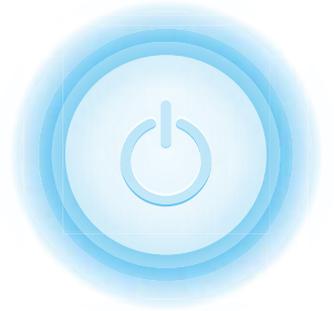
## Was bedeutet es, dass Christus hinabgestiegen ist in das Reich des Todes?

**Von Bendemann:** Diese Passage aus dem apostolischen Glaubensbekenntnis lässt sich aus keinem neutestamentli-

chen Text herleiten. Die Vorstellung vom Hades-Aufenthalt Christi verdankt sich anderen mythologischen und philosophischen Vorgaben. Eine spannende Erzählung findet sich hierzu in den Apokryphen im Nikodemus-Evangelium: Satan und Hades streiten darum, ob sie Jesus in die Unterwelt aufnehmen sollen. Sie fürchten nämlich, dass er alle Toten auferwecken könne und Hades quasi arbeitslos werden würde – so geschieht es dann in der Geschichte auch. Die Zeile „hinabgestiegen in das Reich des Todes“ bildet letztendlich nichts neutestamentlich Zentrales ab, sofern es das Weltbild als solches betrifft.

**Söding:** Es geht um die Frage, wie weit reicht der Arm Gottes? Gibt es einen Kontakt Gottes zu den Toten? Das kann man ja nicht wissen. Es gibt die Hoffnung auf die Auferstehung der Toten am Ende aller Tage. Undeutlich bleibt das Bild von einem messianischen Zwischenreich, in dem die Toten nach dem irdischen Exitus bis zur Auferstehung am Ende aller Zeiten leben sollen. Grundsätzlich treten wir Theologen hier gern etwas auf die Bremse: Bitte nicht zu viel wissen wollen über die Unterwelt, aus der noch keiner zurückgekommen ist.

jwe



# MEHR REGELN FÜR DEN INTELLIGENTEN HAUSHALT

*Licht aus, Tür auf, Online-Bestellung raus – im vernetzten Eigenheim geht alles per Sprachsteuerung oder Smartphone-Knopfdruck. Aber wer welche Knöpfe drücken können soll, ist bislang wenig durchdacht.*

Die Reaktionen dürften von amüsiert über erstaunt bis zu entrüstet ausgefallen sein: Als 2018 die erste Folge der 21. Staffel der Fernsehserie „South Park“ ausgestrahlt wurde, sprangen in zahlreichen US-amerikanischen Haushalten die Sprachassistenzsysteme an. Mit ganz unterschiedlichen Folgen: Einige Systeme stellten den Wecker ihrer Besitzer auf sieben Uhr morgens, andere sprachen obszöne Sätze nach, wieder andere fügten ungewöhnliche bis peinliche Gegenstände auf die Einkaufslisten ihrer Nutzer hinzu. Die Macher der Animationsserie hatten dem Protagonisten – vermutlich mit Absicht – Signalwörter wie „Alexa“, „OK Google“ oder „Hey Siri“ in den Mund gelegt und so in diversen Haushalten die Heimassistenten zur Aktion aufgefordert. Es war nicht das erste Mal, dass Alexa und Co. Sprachbefehle aus dem Fernseher angenommen hatten. Auch eine große Fast-Food-Kette hatte bereits für Aufsehen gesorgt, weil sie in einem Werbespot den Befehl zum Vorlesen eines Wikipedia-Eintrags über einen Burger eingebaut hatte. Die Sprachsysteme können derzeit noch nicht genau erkennen, wer ihnen gerade Befehle gibt.

## Onlinestudie zu Nutzerwünschen

„Am PC oder am Handy sind wir gewohnt, einen einzigen Nutzer zu haben. Im Eigenheim gibt es viele Nutzerinnen und Nutzer, die viele Geräte manchmal sogar gleichzeitig kontrollieren“, sagt Maximilian Golla vom Horst-Görtz-Institut für IT-Sicherheit der RUB. Diese Realität bilden die Systeme derzeit aber noch nicht ab. In der Bochumer Arbeitsgruppe Mobile Security, die Prof. Dr. Markus Dürmuth leitet, beschäftigt sich Golla damit, wie die Zugriffskontrolle für internetverbundene Haushaltsgeräte bestenfalls aussehen müsste. Gemeinsam mit Kollegen der University of Chicago und der University of Washington führte er in den Vereinigten Staaten eine Online-Nutzerbefragung mit 425 Teilnehmerinnen und Teilnehmern durch, um die Bedarfe zu ermitteln. Der Befragung gingen einige Vorstudien voraus, in denen die Forscher zunächst einmal den Status quo ermittelten. Sie recherchierten, welche Smart-Home-Geräte derzeit

auf dem Markt sind, welche Fähigkeiten diese besitzen und wie sich Zugriffsrechte darauf verwalten lassen. „Für die Geräte wurden einfach die Mechanismen für die Zugriffskontrolle vom PC übernommen“, fasst Maximilian Golla zusammen. „In seltenen Fällen gibt es neben dem Administrator oder Eigentümer, der alles darf, noch eine Gastgruppe mit anderen Zugriffsrechten – aber das ist es dann auch schon.“

In einem Haushalt treten aber komplexere soziale Beziehungen auf, als sie durch eine Administrator- und eine Gast-Rolle abgebildet werden könnten. Neben den beiden Ehepartnern kann es zum Beispiel unterschiedlich alte Kinder geben, Familienmitglieder, die zu Besuch kommen, Babysitter, Nachbarn und noch weitere. „Das ist das reale Leben, das abgebildet werden muss“, sagt der Bochumer Doktorand. Dazu – so eine erste Erkenntnis der Vorstudien – ist es nicht sinnvoll, auf Geräteebene zu arbeiten; stattdessen muss man sich vielmehr die einzelnen Fähigkeiten der Smart-Home-Objekte ansehen. „Ein Sprachassistent kann Musik abspielen, aber auch im Internet einkaufen“, gibt Golla ein Beispiel. „Ein Kind darf vielleicht Ersteres, aber nicht Letzteres – oder vielleicht auch nur bis zu einem bestimmten Betrag einkaufen.“

Die Forscher durchforsteten unter anderem die Bedienungsanleitungen von vernetzten Lichtsystemen, Rasenmähern, Thermostaten, Sprachassistenten, Sicherheitskameras und Türschlössern, und erstellten eine Liste von Fähigkeiten, die Smart-Home-Geräte besitzen können. In ihrer Onlinestudie fragten sie die Teilnehmerinnen und Teilnehmer dann, wer welche dieser Fähigkeiten steuern können sollte.

Sie berücksichtigten sechs Arten von Nutzern: Ehepartner, achtjährige Kinder, 16-jährige Teenager, Familienmitglieder auf Besuch, Babysitter und Nachbarn. Für 22 Fähigkeiten stellten sie Fragen nach dem Schema: „Stell dir vor, dir gehört ein Sprachassistenzsystem, mit dem man online einkaufen kann. Wann sollte deine Ehefrau/dein Ehemann dieses Feature nutzen dürfen? Immer, manchmal oder nie?“ Antwortete ein Proband mit „Manchmal“, musste er angeben, wovon es abhängt, ob die Person die Funktion nutzen können soll oder nicht. Aus diesen Antworten leiteten die Forscher eine Reihe ▶



Im vernetzten Haushalt lassen sich viele Funktionen über das Smartphone oder Sprachassistenten steuern.



Die Ergebnisse zeigen, welche Nutzergruppen nach Meinung der Studienteilnehmer welche Fähigkeiten von Smart-Home-Geräten steuern können sollten. Nicht abgefragt wurde, ob Kinder Rasenmäher und Licht kontrollieren können sollen, da diese Funktionen derzeit nur über das Smartphone steuerbar sind und die Forscher davon ausgehen, dass achtjährige Kinder in der Regel kein eigenes Smartphone besitzen. (Grafik: Maximilian Golla)

von kontextbezogenen Faktoren ab, die die Zugriffsrechte beeinflussen, zum Beispiel das Alter, die Orte, an denen sich die Person oder das Gerät gerade befinden, die Tatsache, ob die Person das Gerät schon früher genutzt hat, die Tageszeit und die mit der Nutzung verbundenen Kosten. Zuletzt machten die Studienteilnehmer noch Angaben darüber, wie misslich es wäre, wenn einem Nutzer der Zugriff auf eine Fähigkeit unter bestimmten Umständen verwehrt bliebe. „Wenn man vor einer Tür steht und nicht rein kommt, ist das schlimm“, veranschaulicht Maximilian Golla. „Wenn man in seinem Wohnzimmer sitzt und nicht über seinen Sprachassistenten einkaufen kann, ist das kein Weltuntergang.“

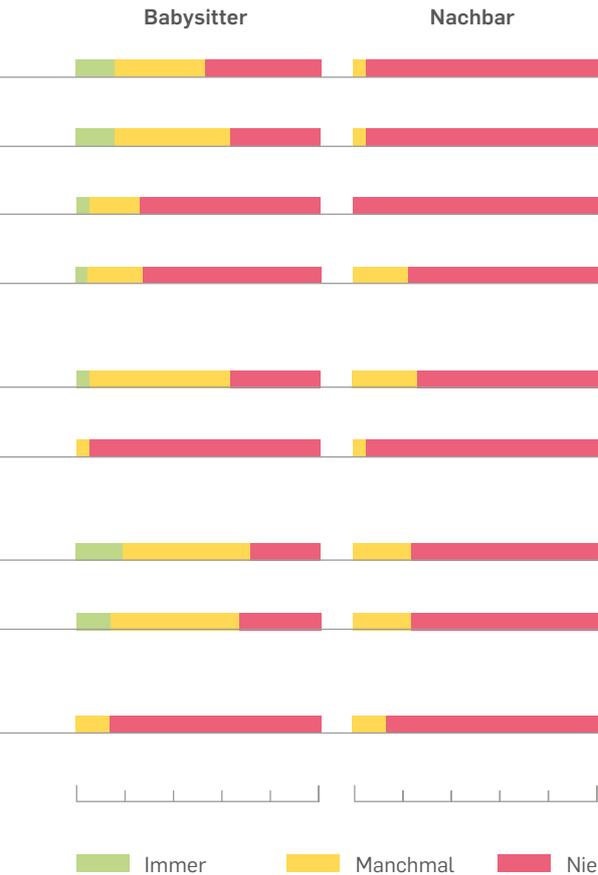
### Standardeinstellungen ableiten

Aus all den Daten der Befragung erstellten die IT-Forscher für jede Nutzergruppe ein Profil der Fähigkeiten, die diese Gruppe standardmäßig nutzen können sollte. Ehepartner und Nachbar bilden die Extrempositionen: Nach den Aussagen der Studienteilnehmer sollte der Ehepartner so gut wie alle Rechte haben, der Nachbar so gut wie keine. Für die anderen Nutzergruppen – Teenager, Kind, Familienbesuch und Babysitter – ergaben sich vier verschiedene Mischungen aus gewünschten und nicht gewünschten Fähigkeiten. „Daraus wird klar, dass es nicht reicht, eine Admin-Rolle und eine Gast-Rolle bei der Zugriffskontrolle zu haben“, resümiert Ma-

ximilian Golla. „Man muss viel feiner abstufen können und auf jene Faktoren eingehen, die hauptsächlich beeinflussen, ob ein Zugriff erlaubt werden soll oder nicht.“

Wichtig dabei ist aber auch, dass das System nicht zu kompliziert wird, sodass die Nutzer von internetverbundenen Haushalten keine Lust mehr haben, sich mit dem Wust an Zugriffsbeschränkungen auseinanderzusetzen. „Wir haben uns in der Studie daher auf sechs Nutzergruppen konzentriert“, erklärt Golla. „Aus den erhobenen Daten kann man für diese Rollen Standardeinstellungen ableiten, die der Nutzer oder die Nutzerin dann nur noch im Bedarfsfall anpassen müsste.“ Die Einstellungen sollten außerdem die Extreme abfangen, meint der Forscher. „Es sollte nicht vorkommen, dass jemand vor der Tür steht und nicht hineinkommt oder dass er oder sie sich im Haus befindet und das Licht nicht anschalten kann.“ Dabei verweist Maximilian Golla auf einen Aspekt, mit dem sich die Studie nicht explizit beschäftigt hat: „Es gibt natürlich immer noch ein Hintertürchen“, sagt er. „Wenn ich das Licht nicht über mein Smartphone anschalten kann, dann gehe ich halt zum Schalter und drücke ihn. Viele der Geräte, mit denen wir uns befasst haben, existieren ja immer noch in der realen Welt und man kann den Zugriff darauf nicht komplett auf Softwareebene beschränken.“ Dennoch wird die digitale Steuerung des Haushalts sicher immer beliebter werden. Daher arbeiten die US-amerikani-





Im vernetzten Haushalt sollte nicht jeder die gleichen Zugriffsrechte für alle smarten Geräte haben, zum Beispiel online einkaufen können.

„ ES REICHT NICHT, EINE ADMIN- UND EINE GAST-ROLLE ZU HABEN. “

*Maximilian Golla*

schen Kooperationspartner von Maximilian Golla und Markus Dürmuth an weiteren Studien, die sich damit befassen, wie die Vergabe von Zugriffsrechten in der Praxis laufen könnte. Es gibt bereits Hubs, über die alle vernetzten Haushaltsgeräte zentral gesteuert werden können. Ebenso sollen auch die Zugriffsrechte gleichzeitig für alle Funktionen im Haushalt vergeben werden können. „Man würde einer Person zum Beispiel einmal die Rolle ‚Kind‘ zuweisen, die mit gewissen Standardeinstellungen versehen ist“, beschreibt Golla. „Das würde dann die Rechte für alle vernetzten Geräte und dessen Funktionen festlegen.“

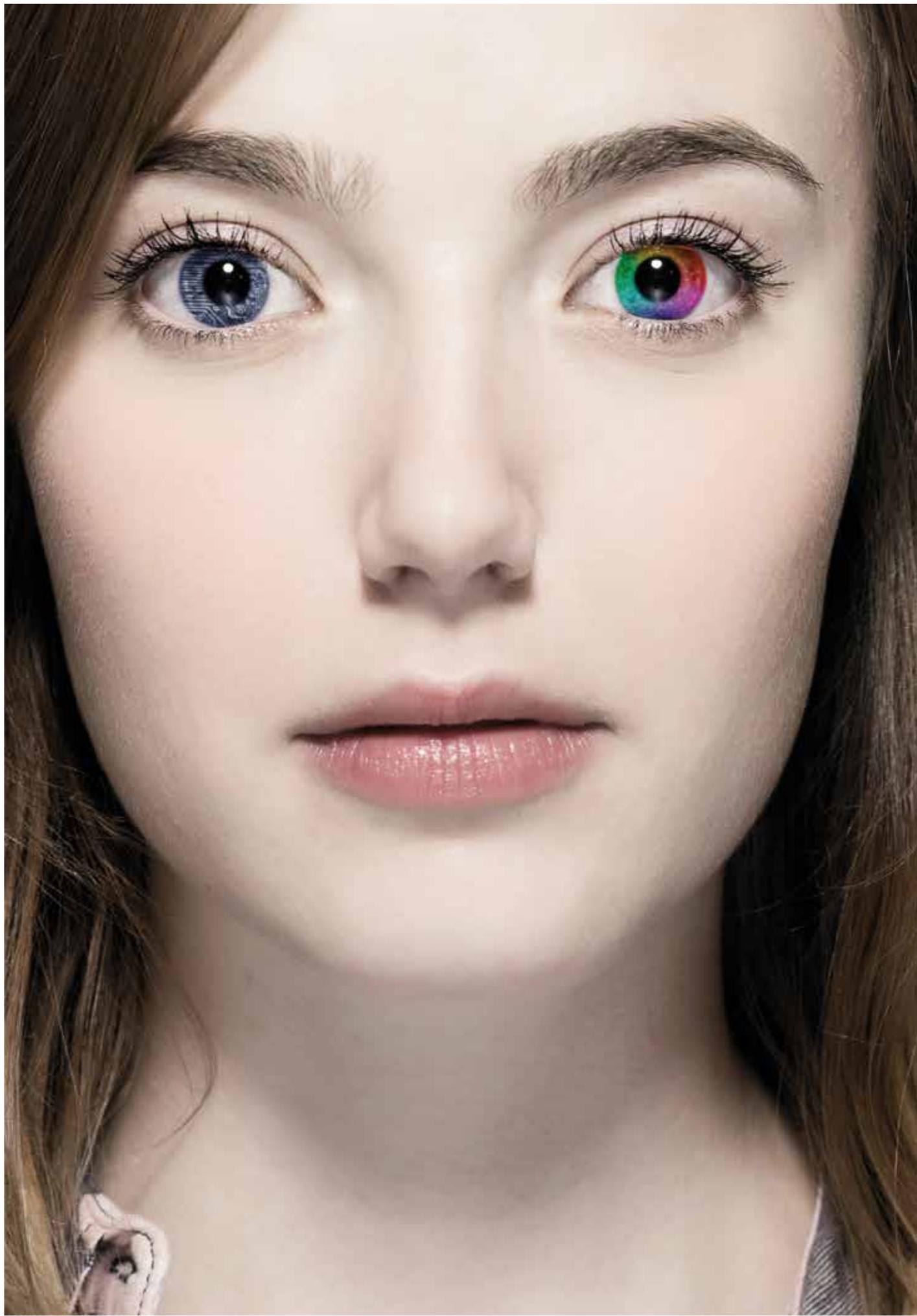
Mit einer Regelsprache – „If this then that“ genannt – könnten schon heute allerhand gewünschte Abläufe im Eigenheim automatisiert werden. Die Sprache bildet Befehle nach dem Schema „Wenn Fall A eintritt, dann mach B“ ab. Zum Beispiel: Wenn der Einkauf billiger als 20 Euro ist, schick die Bestellung raus. Oder: Wenn es zwischen 15 und 17 Uhr ist, schalte den Fernseher ein.

In Zukunft wollen die Forscher sich damit beschäftigen, wie man solch eine Regelsprache anwenden könnte, um Zugriffsbeschränkungen für alltägliche Funktionen der smarten Helfer nutzerfreundlich zu verwalten.



*Text: jwe, Fotos: rs*

Prof. Dr. Markus Dürmuth (links) leitet die Arbeitsgruppe Mobile Security, in der Maximilian Golla (rechts) seine Doktorarbeit anfertigt.



# WAS DIE MODERNE WISSENSCHAFT KANN, DARF UND SOLL



*Durch Genschere, Geoengineering oder Mensch-Maschine-Schnittstelle können wir künftig radikalen Einfluss auf unsere eigene Existenz nehmen.*

Cyborgs, Designerbabys und künstliche Superintelligenzen – das mag vor einigen Jahren noch nach Science-Fiction geklungen haben. Die moderne Wissenschaft lässt diese Utopien jedoch längst in greifbare Nähe rücken. Mit der sogenannten Crispr/Cas-Technologie lassen sich zum Beispiel gezielt einzelne Gene entfernen oder austauschen und Organismen potenziell nach Wunsch verändern. Das Ende aller Erbkrankheiten scheint in Sicht, und gleichzeitig beschwört die Technik düstere Visionen von maßgeschneiderten Menschen herauf. Auch die informationstechnologischen Errungenschaften sind für viele ein zweiseitiges Schwert. Erst 2017 musste Facebook ein Experiment abschalten, als zwei auf Englisch trainierte künstliche Intelligenzen plötzlich in einer eigenen Sprache kommunizierten, die die Entwickler selbst nicht mehr verstehen konnten. Werden Computer bald intelligenter sein als Menschen? Inwieweit soll der Mensch mit den Maschinen fusionieren? Ist es in Ordnung, mit der Genschere Gott zu spielen? Und sollten wir versuchen, die Umwelt mit massivem Technikeinsatz zu retten?

Was für manche eine Hoffnung auf eine bessere Welt birgt, ist für andere ein Horrorszenario. Höchste Zeit, sich ethisch damit auseinanderzusetzen, inwieweit der Mensch sein technisches Können nutzen sollte, meinen Forscherinnen und Forscher der RUB. Der Bochumer Philosoph und Theologe Prof. Dr. Dr. Benedikt Göcke hat 2018 das Buch „Designobjekt Mensch“ mit herausgegeben, das sich mit dem Transhumanismus befasst – also mit der Frage, inwieweit der Mensch technische Errungenschaften nutzen sollte, um aktiv sein eigenes Wesen und das seiner Umwelt zu verändern. Es gibt Anhänger von moderaten und radikalen Formen des Transhumanismus sowie natürlich auch Skeptiker und

strikte Gegner. Anhänger des moderaten Transhumanismus möchten den aktuellen Menschen verbessern, etwa alle Krankheiten heilbar machen. Der radikale Transhumanismus möchte letztendlich eine neue menschliche Spezies erschaffen. Durchaus wird auch die Unsterblichkeit im Diesseits angestrebt.

An der RUB beschäftigt sich nicht nur Benedikt Göcke mit dem Transhumanismus, mehrere Autoren haben zu dem oben erwähnten Buch beigetragen. Auf den folgenden Seiten lesen Sie, wie Theologin Prof. Dr. Katharina Klöcker und Geowissenschaftler Dr. Andre Banning die transhumanistische Agenda bewerten. Weitere Kommentare zu dem Thema finden sich im Internet.

*Text: jwe, Foto: rs*

## WEITERE STANDPUNKTE ZUM TRANSHUMANISMUS



*Benedikt Göcke: „Es gibt kein moralisches Verbot, den Menschen zu verbessern“*

➔ [news.rub.de/transhumanismus-goecke](https://news.rub.de/transhumanismus-goecke)

*Christian Klaes: „10.000 km/h und wir geben immer noch Gas“*

➔ [news.rub.de/transhumanismus-klaes](https://news.rub.de/transhumanismus-klaes)



Andre Banning

Standpunkt

# MASSIVER TECHNIKEINSATZ GEGEN DEN KLIMAWANDEL

In verschiedenen Wissenschaften erfreut sich das Konzept des Anthropozäns aktuell großer Beliebtheit. Es bezeichnet das Zeitintervall, in dem der Mensch seine Umwelt dauerhaft und im globalen Maßstab signifikant und messbar verändert: durch exponentielles Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und intensiviert Landwirtschaft, was Konsequenzen für das System Erde hat. CO<sub>2</sub>- und Temperaturanstieg, Ozeanversauerung und Artensterben sind Folgen.

Durch Anwendung von Technologie formt die Menschheit ihren Lebensraum komplett um, wie es im Rahmen einer rein biologischen Evolution kaum möglich gewesen wäre. Diese Eingriffe betreffen den Planeten inzwischen nachweislich als Ganzes, was in den Geowissenschaften die Forderung laut werden ließ, ein neues Zeitalter auszurufen: das des Menschen. Unsere Spezies scheint sich ihrer Bedeutung für und ihrer Auswirkungen auf ihren Lebensraum also durchaus bewusst zu sein. Das wurde in der Vergangenheit auch durch regulatorische Bemühungen – zum Beispiel FCKW-Verbot, Formulierung des Zwei-Grad-Klimaziels und deutsche Energiewende – zum Ausdruck gebracht. Spätestens seit den 1970er-Jahren wird allerdings die Besorgnis formuliert, dass derlei Bemühungen zu spät kommen oder nicht drastisch genug erfolgen: Die Menschheit verbraucht ihre limitierten Ressourcen zu schnell und könnte bereits eine Grenze überschritten haben, die die herbeigeführten Veränderungen unumkehrbar macht.

1972 erstellte der Club of Rome verschiedene Szenarien zum Zustand der Welt und der Entwicklung von Lebensstandard, Wohlstand etc., die 2004 überprüft wurden. Viele davon münden schlussendlich in einer globalen sozioökologischen Krise, die sich unter anderem durch sinkende Nahrungsmittel- und Industrieproduktion, Lebenserwartung und letztlich Bevölkerungszahlen auszeichnet.

Es ist eine Diskussion darüber entbrannt, inwieweit wir unsere technologischen Möglichkeiten nutzen sollten, um den Menschen zu optimieren. Angesichts der geschilderten Entwicklungen und Gefahren ist diese sogenannte Transhumanismus-Debatte gut beraten, sich in Zukunft nicht nur der technologischen Veränderung des Menschen selbst zu widmen, sondern auch der Erhaltung seines Lebensraumes. Welche Handlungsoptionen bleiben uns? Ein „Weiter so“ ist keine. Den entstehenden Schaden durch globalpolitische Ent-

scheidungen einzudämmen ist wichtig und richtig, jedoch möglicherweise unzureichend. Es bleibt, den Lebensraum von Homo sapiens proaktiv anzupassen, durch sogenanntes Geoengineering. Forscher arbeiten zum Beispiel an Techniken, um durch Einbringen von Aerosolen in die Atmosphäre das Rückstrahlvermögen unserer Erde zu erhöhen, das infolge abschmelzender Eis- und Schneeflächen abnimmt. Eine andere Idee ist, eisenarme Ozeane mit diesem Nährstoff zu düngen, um dort das Wachstum von Algen zu fördern, die CO<sub>2</sub> binden könnten. Auch der Einsatz modifizierter Mikroorganismen, die gentechnisch für die Aufnahme von CO<sub>2</sub> optimiert wurden, wäre denkbar.

Natürlich müssen derartige Ansätze sorgfältig erforscht werden, vor allem um ungewollte Nebenwirkungen zu verstehen und zu vermeiden. Allerdings steckt die Geoengineering-Forschung meist noch in den Kinderschuhen, oft aufgrund ethisch-moralischer Bedenken oder weil schnelle Erfolge ausbleiben. Eine gedankliche und finanzielle Öffnung in globaler Kooperation ist vonnöten, um der Menschheit eine echte Handlungsoption im Anthropozän zu erhalten: Der im Rahmen unserer Technisierung entstandene Schaden ist vermutlich nur noch durch massiven Einsatz von Technologie zu beheben.

Text: Dr. Andre Banning, Foto: Katja Marquard

## ZUR PERSON



Dr. Andre Banning studierte Geologie/Paläontologie in Münster und promovierte 2012 an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Seit 2013 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Angewandte Geologie der RUB. Er ist Mitinitiator verschiedener inter- und transdisziplinärer Lehrforschungsprojekte zu Mensch-Umwelt-Interaktion, Nachhaltigkeitsforschung und Wissenschaftstheorie.



Katharina Klöcker

Standpunkt

# OPTIMIERUNG ALS DIE UNS ERLÖSENDE MACHT?

Seit jeher legt der Mensch es darauf an: Er will nicht nur Krankheiten therapieren, er will sich von seinen natürlichen Beschränkungen befreien, sich perfektionieren, optimieren. Immer wieder wird allerdings mit Blick auf neueste technologische Errungenschaften auch davor gewarnt, welche desaströsen Konsequenzen es habe, wenn der Mensch Gott ins Handwerk pfusche. Das war vor genau 40 Jahren bei der ersten künstlichen Zeugung eines Menschen in der Petrischale nicht anders als heute etwa bei der Genchirurgie, die zurzeit im Fokus weltweiter Öffentlichkeit steht, und mit deren Hilfe defekte Gene repariert, vielleicht in nicht allzu ferner Zukunft sogar genetische Erkrankungen geheilt werden können.

Doch dem in solchen Warnungen mitschwingenden technologiefeindlichen Tenor ist gerade aus christlicher Perspektive mit Skepsis zu begegnen, denn ein solcher Standpunkt entpuppt sich bei genauerem Hinsehen nur vermeintlich als ein besonders frommer. Denkt derjenige, der den Menschen in der Lage sieht, Gott ins Handwerk pfuschen zu können, nicht letztlich eher gering von Gott? Als könnte sich der Mensch durch Forschung und Fortschritt tatsächlich zu einem Konkurrenten Gottes aufschwingen.

Ich möchte an eine andere Vorstellung der Gottesbeziehung anknüpfen: Der Mensch wirkt – theologisch gesprochen – an der Schöpfung mit, denn Gott hat dem Menschen als seinem Ebenbild die Freiheit geschenkt, die Welt zu gestalten. Diese geschenkte Freiheit umfasst aber auch den Auftrag, Verantwortung für diese Weltgestaltung zu übernehmen. Und hier kommt die Ethik ins Spiel. Sie hat den weiten Raum zwischen Techniqueuphorie und Technikpessimismus nüchtern auszuloten und jede technologische Errungenschaft komplexen Abwägungsprozessen zu unterziehen. Auch im Horizont christlicher Ethik lautet die entscheidende Frage also nicht, ob der Mensch die Welt optimieren darf, sondern wie er sie verantwortungsvoll verbessern kann.

Von den sogenannten Transhumanisten werden nun Optimierungstechnologien nahezu ungebrochen befürwortet. Doch sieht man genauer hin, dann beschleicht einen der

Verdacht, dass die Optimierung des Menschen in erster Linie eine möglichst optimale Anpassung an die gegebenen Verhältnisse meint – nach dem Motto: Je angepasster, umso robuster, umso weniger verwundbar sind wir. Diese Programmatik provoziert Widerspruch, denn das Ansinnen, letztlich alle Begrenzungen des Menschen überwinden zu wollen, hat einen hohen Preis. Wer Optimierung als erlösende Macht begreift, der blendet das Suboptimale aus. Er steht in der Gefahr, immer unempfänglicher dafür zu werden, dass es trotz aller utopischen Versprechen nach wie vor und vielleicht mehr denn je notwendig ist, für gerechtere Verhältnisse in der Welt zu streiten und politisch einzutreten. Insofern arbeitet der Transhumanismus letztlich an der Zementierung ungerechter Strukturen, während er zugleich suggeriert, er fördere die Emanzipation der Menschen von all ihren Unzulänglichkeiten.

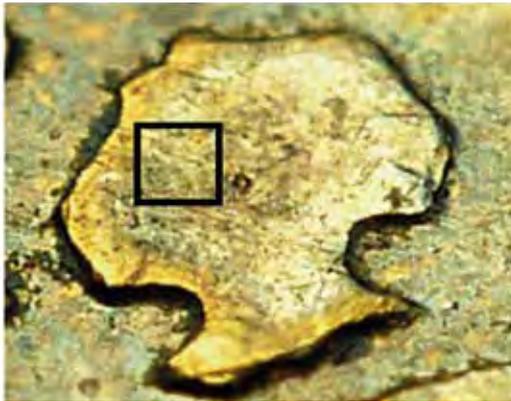
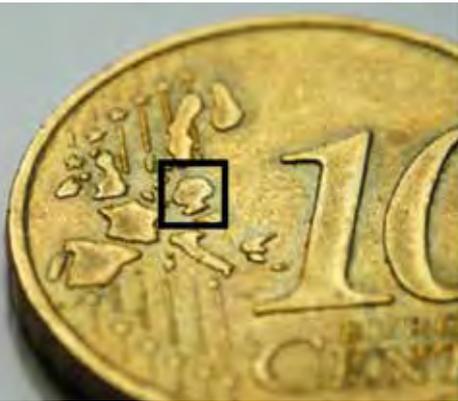
Text: Prof. Dr. Katharina Klöcker, Foto: Katja Marquard

## ZUR PERSON



Prof. Dr. Katharina Klöcker studierte Katholische Theologie in Tübingen, Paris und Münster. Im Anschluss arbeitete sie zunächst als Volontärin, dann als Redakteurin bei der Katholischen Nachrichten-Agentur in Bonn und Brüssel. 2004 nahm sie eine Stelle als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Seminar für Moralthologie der Universität Münster an, wo sie 2009 ihre Promotion abschloss. 2015 wechselte sie aus Münster an die RUB, wo sie derzeit Juniorprofessorin für Theologische Ethik an der Katholisch-Theologischen Fakultät ist. 2012 gründete Klöcker gemeinsam mit Kollegen das Netzwerk Moralthologie, das eine Plattform für den Austausch von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern ist, die sich mit ethischen Fragen auseinandersetzen.

# REDAKTIONSSCHLUSS



Dieses Zehn-Cent-Stück, das auf den ersten Blick ganz gewöhnlich aussieht, ist etwas Besonderes. Mitten in Deutschland beherbergt es den wohl kleinsten Förderturm der Welt, der mit gerade einmal 25 Mikrometern Breite dünner ist als ein menschliches Haar. Das Team vom Lehrstuhl für Laseranwendungstechnik hat ihn mit der Zwei-Photonen-Polymerisation – einer Art Mikro-3D-Druck – auf die Münze aufgebracht. Bei dem Verfahren belichtet ein Laserstrahl einen Tropfen Fotolack an genau den Stellen, die durch ein dreidimensionales Computermodell vorgegeben werden. Überall dort, wo belichtet wird, härtet der Fotolack aus.

Den Förderturm haben die Lasertechniker nur zu Anschauungszwecken hergestellt. Im Laboralltag produzieren sie mit der Methode allerhand mikroskopisch kleine Bauteile. Mithilfe einer sogenannten optischen Pinzette können diese dann zum Beispiel zu einem funktionellen System zusammgebaut und bewegt werden. Die Zukunftsvision des Lehrstuhls ist dabei die Entwicklung eines Mikroroboters.

➔ [news.rub.de/optische-pinzette](https://news.rub.de/optische-pinzette)



© RUB, Lehrstuhl für Laseranwendungstechnik

## IMPRESSUM

**HERAUSGEBER:** Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum

**WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT:** Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Astrid Deuber-Mankowsky (Philologie), Prof. Dr. Constantin Goshler (Geschichtswissenschaft), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Michael Hübner (Elektrotechnik/Informationstechnik), Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan (Medizin), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Andreas Ostendorf (Prorektor für Forschung, Transfer und wissenschaftlichen Nachwuch), Prof. Dr. Michael Roos (Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Martin Tegenthoff (Medizin), Prof. Dr. Martin Werding (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

**REDAKTIONSANSCHRIFT:** Dezernat Hochschulkommunikation, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, Fax: 0234/32-14136, [rubin@rub.de](mailto:rubin@rub.de), [news.rub.de/rubin](https://news.rub.de/rubin)

**REDAKTION:** Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md)

**FOTOGRAFIE:** Damian Gorczany (dg), Hofsteder Str. 66, 44809 Bochum, Tel.: 0176/29706008, [damiangorczany@yahoo.de](mailto:damiangorczany@yahoo.de), [www.damiangorczany.de](http://www.damiangorczany.de); Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, [post@people-fotograf.de](mailto:post@people-fotograf.de), [www.wasaufdieaugen.de](http://www.wasaufdieaugen.de)

**COVER:** Roberto Schirdewahn

**BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS:** Teaserfotos für die Seiten 12, 18 und 34: Damian Gorczany; Teaserfotos für die Seiten 22, 46 und 54: Roberto Schirdewahn

**GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ:** Agentur der RUB, [www.rub.de/agentur](http://www.rub.de/agentur)

**DRUCK:** VMK Druckerei GmbH, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-110, [www.vmk-druckerei.de](http://www.vmk-druckerei.de)

**AUFLAGE:** 4.700

**ANZEIGENVERWALTUNG UND -HERSTELLUNG:** VMK GmbH & Co. KG, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-0, [www.vmk-verlag.de](http://www.vmk-verlag.de)

**BEZUG:** RUBIN erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter [rubin.rub.de/abonnement](http://rubin.rub.de/abonnement). Das Abonnement kann per E-Mail an [rubin@rub.de](mailto:rubin@rub.de) gekündigt werden.

**ISSN:** 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren