



# Wilder Westen im Untergrund

Ansturm auf die neuen Ressourcen

Machtmissbrauch  
an den Hochschulen  
30

Roboter auf der  
Anlagebank  
40

Die Zählung  
des Ekels  
42

Schatzkammern der  
Naturgeschichte  
25

## Mit Vernunft in die Tiefen dringen

Nachdem die Menschheit den Boden, die Meere und die Luft erobert hat, schielt sie in den Weltraum. Und ebenso in die Tiefen. Während früher Erdölreserven Begehrlichkeiten weckten, sind es heute das Grundwasser, die Möglichkeiten der Geothermie, grosse Bauvorhaben oder Verkehrswege. Durch die vielfache Nutzung des Untergrunds stellen sich neue Fragen: Wem gehört er eigentlich, und welche Prioritäten sind zu setzen?

Bisher hat die Schweiz diese Aspekte noch kaum geregelt. Immerhin ist einiges in Bewegung: Die laufende Revision des Raumplanungsgesetzes sieht vor, dessen Geltungsbereich auf das Erdreich auszudehnen, was zu begrüßen ist. Kantonale Grenzen müssen überwunden werden, um den Weg für Projekte von nationaler Bedeutung zu ebnen. Auch die Forschung spielt eine wichtige Rolle: Sie schliesst Lücken in unserem Wissen über den eidgenössischen Boden. Ein neues Tool von Swisstopo ermöglicht es, die geologischen Schichten und Störungzonen des Mittellands dreidimensional zu visualisieren, und dürfte sich als wertvolle Planungshilfe erweisen.

Letztlich liegt es an der Politik und der Gesellschaft, über die Nutzung des Erdreichs zu diskutieren. Wollen wir der Geothermie oder dem Verkehr den Vorzug geben? Dem Schutz des Grundwassers oder des Klimas? Von Anfang an muss die Frage nach einer nachhaltigen Nutzung gestellt werden. Das klingt vielleicht paradox, denn was gibt es Stabileres als das Gestein im Untergrund? Aber mittelfristig zu denken ist wichtig: Was in der Tiefe angelegt wird, bleibt für lange Zeit bestehen. Nachdem die Menschheit bereits praktisch die gesamte Umwelt übermässig beansprucht, bietet sich ihr nun die Chance, es im Untergrund besser zu machen.



Daniel Saraga, Chefredaktor

# horizonte

Lesen Sie  
uns  
online:  
[horizonte-  
magazin.ch](http://horizonte-magazin.ch)





Schwerpunkt Im Untergrund



Wissen und Politik

## 10

### Dichtestress unter Tage

Geothermie, Metroröhren, Leitungen – unter der Erde nimmt das Gedränge zu. Das birgt Konfliktpotenzial.

#### 12 **Ansturm auf das Erdreich**

Die Besitzverhältnisse und Rechte im Untergrund sind zu ungenau – was das für Probleme mit sich bringt.

#### 16 **Unter unseren Füßen: unzählige Labors**

Nanotechnikerinnen, Sprengstoffspezialisten, Hydrologinnen – ein Blick in unterirdische Versuchsanlagen.

#### 19 **Das Mittelland in 3D**

Tausende alte Datensätze wurden neu zusammengesetzt, um die geologische Struktur des Untergrunds zu erfassen.

#### 22 **Das Erdinnere: Ankerpunkt nationaler Mythen**

Im Interview erklärt Science-Fiction-Autor und Geologe André Ourednik, was Tunnel und Höhlen den Schweizern bedeuten.

#### 24 **Neues Vokabular für Weinkenner**

Pascale Deneulin hat ihre Disseration in 180 Sekunden vorgestellt – und überzeugt.

#### 25 **Nein, kein Krimskrams**

Was unterschiedlichste Sammlungen der Wissenschaft schon gebracht haben.

#### 29 **Vom Ötzi zum Bundesrat**

Wie eine Archäologin als Stipendiatin die praktische Parlamentsarbeit kennenlernt.

#### 30 **Albtraum Doktorat**

Wie es in Hochschulen zu Mobbing kommt und wie es gestoppt werden könnte.

◀ Umschlag: Im Untergrund liegt viel Geld begraben, und viele wollen sich an diesem Schatz bereichern. Das führt zu – manchmal auch fruchtbaren – Auseinandersetzungen. Bild: 2. stock süd

◀ Umschlag innen: Ausschnitt aus dem unterirdischen Kataster des Place de la Sallaz in Lausanne. ■ Fernwärme, ■ Öffentlicher Verkehr und Elektrizität, Multimedia, ■ Verkehrsführung, ■ Telekommunikation, ■ Trinkwasser, ■ Gas, ■ Kanalisation, ■ Zugangsstollen. Bild: 2. stock süd

# 32

Valérie Chételat



Biologie und Medizin

## 32 **Mathematiker des Sehens**

Der Neurobiologe Botond Roska erschuf die künstliche Netzhaut.

## 34 **Den Lurchen per Erbgut auf der Spur**

Winzigste Mengen Umwelt-DNA genügen, um Amphibien besser zu verstehen.

## 36 **Im Kampf gegen die Trockenheit**

Neue Modelle zeigen, welche Pflanzen wann besonders anfällig sind.

## 37 **Wer ständig Kaffee trinkt, ist nicht wacher Auch im Blut sind Turbulenzen gefährlich Die Pest tötet schon länger als gedacht**

### Im Bild

6  
Unbekannte Werke aus Psychiatrien

### kontrovers

8  
Internationale Erfahrung als Muss?

# 42

shutterstock/Martina\_L



Kultur und Gesellschaft

## 38 **Krebskranke Frauen in Burkina Faso**

Eine Ethnologin berichtet über ihre Arbeit in der gynäkologischen Abteilung.

## 40 **Roboter bestrafen**

Die Debatte um rechtliche Vorgaben für künstliche Intelligenzen ist im Gang.

## 42 **Ekel ist nicht umweltfreundlich**

Forschende untersuchen, wie Ekelreize beim Essen vermieden werden können.

## 43 **Viehzucht in der Jungsteinzeit Widerspruch gegen die Chefin Gebrechliche Alte unter Druck**

### Wie funktioniert's?

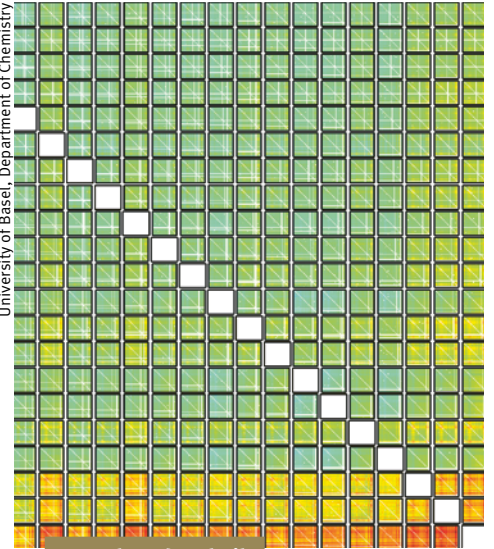
49  
Nahrungszusatz Leuzin macht Alte fit

### Aus erster Hand

50  
Fluch und Segen von Simulationen

# 44

University of Basel, Department of Chemistry



Umwelt und Technik

## 44 **Die 42 Dimensionen eines Moleküls**

Ein neues Navigationssystem soll neue Moleküle für die Medizin finden.

## 46 **Die allererste Mikrosekunde**

Dank Gravitationswellen stossen Astronomen noch näher zum Big Bang vor.

## 48 **Die katastrophale Flutwelle simulieren Das Polyester beständiger machen Die Lawinen genauer klassifizieren**

### SNF und Akademien direkt

51  
Forderung nach stärkerer Cybersecurity





## Kunst in der Hand der Psychiatrie

Hätte Meret Oppenheim (1913 bis 1985) diese schwarzen Handschuhe gezeichnet, wären sich alle einig: Das ist Kunst. Entstanden ist das Bild jedoch in der Heil- und Pflegeanstalt in Krombach in Herisau, einer von 26 kantonalen psychiatrischen Einrichtungen, die bis 1890 in der Schweiz erbaut wurden. Die Malerin des Bildes, Gertrud Schwyzer, eine ausgebildete Künstlerin, war bis zu ihrem Tod 1970 interniert. In dieser Zeit schuf sie über 4000 Werke, die ausserhalb der Mauern der Institution unsichtbar blieben.

Das Schicksal ihrer Bilder ist exemplarisch für die Werke von unzähligen anderen Internierten. «Zwischen 1870 und 1930 hatte die künstlerische Beschäftigung in den psychiatrischen Einrichtungen in der Schweiz einen gewissen Stellenwert», sagt Katrin Luchsinger, Kunsthistorikerin an der Zürcher Hochschule der Künste. Über den Wert der Zeichnungen und Skulpturen entschieden die Psychiater. «Die waren aber nicht unbedingt kompetent für diese Beurteilung», sagt Luchsinger. Später wurden die Werke manchmal an Klinik-Bazaren verkauft, landeten auf dem Estrich oder im Abfall. «Diese komplexen Werke reflektieren die Entscheidung, sogenannte Geisteskranke in Anstalten ein- und damit von öffentlichen Debatten auszuschliessen.»

Mit der Ausstellung «Extraordinaire! Unbekannte Werke aus psychiatrischen Einrichtungen in der Schweiz um 1900» werden 180 Werke von 54 Psychiatriepatientinnen und -patienten aus zehn Kliniken erstmals öffentlich zugänglich. Entstanden ist sie aus zwei SNF-Projekten. Forschende sichteten jede fünfte Akte in 22 der 26 kantonalen Kliniken der Schweiz. Sie untersuchten 19 270 Akten und erstellten eine Bilddatenbank, die am Schweizerischen Institut für Kunstwissenschaft einzusehen ist.

«Wir möchten diese Künstlerinnen und Künstler zu Wort kommen lassen und hoffen, dass eine Debatte entsteht», sagt Luchsinger. Oder anders gesagt: Die Diskussion soll weniger darüber entscheiden, ob die Werke Kunst sind oder nicht, sondern unseren gewohnten musealen Kunstbegriff in Frage stellen. *Pascale Hofmeier*

Ausstellungen in Thun und Linz  
[www.kulturgueter.ch](http://www.kulturgueter.ch)

Bild: Gertrud Schwyzer (1886–1970), ohne Titel, Ärmel und schwarze Handschuhe, Wasserfarbe, Bleistift auf festes Papier, 21×31 cm, undatiert, Sammlung Herisau, o. Inv.-Nr., © Kantonsbibliothek Appenzell AR, KB-018299/S 1



«Auslandserfahrungen unterstützen die Entwicklung einer eigenständigen wissenschaftlichen Identität.»

## Müssen wissenschaftliche Karrieren international sein?

Boston, Paris, Hongkong: Mobilität darf in keinem Lebenslauf fehlen. Doch ist dies immer noch der beste Weg, innovative Wissenschaft zu fördern?



Bilder: Valérie Chételat

«Häufig ist die Gastforschende kaum ins dortige Team integriert.»



Vor gut zwanzig Jahren wurde die Notwendigkeit, als Forscherin oder Forscher internationale Erfahrung aufzuweisen, auf den Fluren meiner Hochschule mit dem Zauberwort «ZAG» umschrieben: «Z Amerika gsi», zu deutsch: «In Amerika gewesen». Mit ZAG im Lebenslauf waren die Aussichten auf eine erfolgreiche akademische Karriere besser. Das ist heute noch so, nur sind mittlerweile viele andere Destinationen ebenfalls gute Sprungbretter für Karrieren.

Tatsächlich bringt internationale Erfahrung im Wissenschaftsbetrieb viel. Forschende tauschen sich mit einer wissenschaftlichen Community an einem anderen Standort aus und lernen neue analytische, methodische und paradigmatische Zugänge kennen. Durch diesen Austausch ergibt sich oft eine produktive Verunsicherung der eigenen wissenschaftlichen Position.

Zudem lernt man neue Rituale der akademischen Selbstverwaltung kennen. Entscheidend scheint mir auch das Eintauchen in eine andere Auseinandersetzung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft. Hinzu kommen kulturelle, sprachliche oder politische Unterschiede, die zwar

auch auf Ferienreisen erlebt werden können, aber für die Wissenschaft nur in Verbindung mit wissenschaftlicher Tätigkeit fruchtbar werden.

Alle diese Erfahrungen erweitern das Bewusstsein und unterstützen die Entwicklung einer eigenständigen wissenschaftlichen Identität. Nur selten entsteht eine ähnlich gelagerte Identität in einem rein nationalen Kontext.

# Ja

sagt Thomas Hildbrand vom Zentrum für Hochschulentwicklung in Zürich.

Der Anspruch auf Internationalität ist eine Grundvoraussetzung für Wissenschaft und muss gezielt gefordert und gefördert werden. Die Einlösung dieser Forderung gelingt aber nur im Zusammenspiel der Akteure und kann nicht den einzelnen Forschenden aufgebürdet werden. Die Institutionen müssen klar benennen, welcher Art die internationale Erfahrung sein muss für nächste Schritte

einer wissenschaftlichen Karriere. Zudem ist es entscheidend, dass Akademikerinnen und Akademiker, die anspruchsvolle wissenschaftliche Positionen anstreben, qualifizierte internationale Erfahrungen frühzeitig in ihre akademische Laufbahn einplanen können.

Thomas Hildbrand ist Gründer des Zentrums für Hochschulentwicklung in Zürich und Autor des Berichts «Next Generation: Für eine wirksame Nachwuchsförderung».

Die althergebrachte Idee, einige Zeit an einer «renommierten» Universität im Ausland verbringen zu müssen, ist überholt. Heute gibt es bessere Methoden, internationale und innovative Forschung zu fördern. In Zeiten digitaler Technologien können auf Konferenzen geknüpfte Kontakte sehr gut weiter gepflegt und zu Arbeitsbeziehungen ausgebaut werden. Ein gemeinsamer Dropbox-Ordner ist häufig hilfreicher und produktiver als ein längerer Aufenthalt an einer anderen Universität.

Internationale Forschungsaufenthalte sollen es insbesondere Nachwuchsforschenden ermöglichen, internationale Netzwerke zu knüpfen und über die Grenzen der eigenen Universität hinaus zu denken. Aber tun sie das auch immer? Häufig ist die Gastwissenschaftlerin kaum ins dortige Team integriert, und es fehlt die Zeit, gemeinsame Interessen zu verfolgen. Ginge es wirklich um die internationale Zusammenarbeit, so wäre es hilfreicher, sich den tatsächlichen Output der Auslandsaufenthalte anzuschauen. Publiziert ein Wissenschaftler gemeinsam mit an anderen Orten tätigen Forscherinnen? Wurden Projekte beantragt oder auch bewilligt, die länderüberspannende

Kooperationen umfassen? Ist eine Wissenschaftlerin in Editorial Boards internationaler Zeitschriften, Konferenzen oder anderer Plattformen engagiert? Werden standortübergreifend Doktorierende betreut? Dies wären wesentlich bessere Indikatoren, um die Fähigkeit zur internationalen Zusammenarbeit zu messen. Nur ein paar schöne Orte im CV aufzulisten reicht nicht.

# Nein

sagt Julia Nentwich von der Universität St. Gallen.

Der Idealtypus eines körper- und beziehungslosen Wissenschaftlers als unabhängiges, kosmopolitisches Individuum ist längst eine Norm geworden, an der sich Nachwuchsforschende zu messen haben. Für deren soziale Beziehungen ist dies eine grosse Herausforderung. Kleine Kinder lassen sich noch mit auf die Reise nehmen. Was aber ist mit dem Partner oder gar den pflegebedürftigen Eltern? Wird die

individuelle Mobilität zu hoch gehalten, kann es leicht passieren, dass ein Selektionskriterium entscheidend wird, das rein gar nichts mit innovativer oder guter Forschung zu tun hat.

Auch stellt sich die Frage, inwieweit das häufige Wechseln der Institution dazu führt, dass man sich weniger vor Ort engagiert. Wer koordiniert die Lehrprogramme, betreut die Studierenden und ist zuverlässig vor Ort? Wer pflegt die Kontakte zu den Unternehmen und Organisationen in der Region? Auch lehren und forschen wir nicht als Individuen, sondern innerhalb von Curricula, Verbänden und Teams.

Viel wichtiger für die Ausbildung innovativer und exzellenter Forscher sind mehr Verlässlichkeit in wissenschaftlichen Karrieren sowie eine grössere Unabhängigkeit des «Mittelbaus». Internationale Netzwerke sollten bereits in einer früheren Phase der Karriere so geknüpft werden können, dass sie für die Forschung nachhaltig fruchtbar sind.

Julia Nentwich ist Titularprofessorin für Psychologie an der Universität St. Gallen und forscht zu Fragen der Chancengleichheit.

# Ab in den Untergrund



Die Menschen dringen immer weiter ins Innere der Erde vor. Das führt zu Konflikten, aber auch zu mehr Kenntnissen. Wir steigen für Sie in die Tiefe, um dieses Feilschen und Forschen ans Licht zu holen.

# Niemandsland unter der Schweiz

Wem gehört eigentlich der Untergrund, und welche Nutzung hat Vorrang? Der Ansturm auf das Erdreich ist mittlerweile gross. Rechtlich ist aber noch vieles unklar.  
Von Geneviève Ruiz

**D**er Leistungsausweis der Schweiz im Untergrund ist rekordverdächtig: Sie hat mit dem Gotthard den zweitlängsten Personentransporttunnel der Welt, ist mit dem LHC-Beschleuniger am Cern Teil des weltweit grössten wissenschaftlichen Experiments unter dem Boden und besitzt ein Labyrinth aus Gängen und Bunkern, durch das die Alpen einem Stück Emmentaler gleichen. Doch während die Schweiz in der unterirdischen Ingenieurskunst brilliert, «wähnt man sich eher im Wilden Westen, was die rechtliche Situation betrifft», meint Olivier Lateltin, Bereichsleiter Landesgeologie bei Swisstopo. «Ein wenig bekanntes und kaum reguliertes Gebiet, in dem manchmal einzig das Gesetz (first come, first served) gilt.»

Tatsächlich wissen die Behörden meist nicht so genau, was sie unter ihren Füssen verwalten sollen. «Im Gegensatz zu anderen Ländern hat die Schweiz ihre Tiefen erst wenig erforscht, weil keine bedeutenden Erdöllagerstätten entdeckt wurden», erklärt Nathalie Andenmatten, Leiterin des Erdwärme-Programms des Kantons Genf. «Während des Zweiten Weltkriegs etwa untersuchten Frankreich und Deutschland ihren Untergrund insbesondere aus strategischen Gründen, mit dem Ziel einer Energieautarkie.»

Die Wissenslücken erstrecken sich im Übrigen nicht nur auf tiefe Schichten, sondern selbst auf das, was sich weniger als 30 Meter unter dem Boden befindet. Nur einige grössere Städte verfügen über genaue Informationen zu ihrem Leitungsnetz. In den übrigen Gebieten fehlen diese Angaben ganz, sind nur lückenhaft vorhanden oder schwer erhältlich. «Der Kataster des Untergrunds gleicht einem Niemandsland», meint Olivier Lateltin. «Um

zu den gesuchten Informationen zu kommen, müssen oft verschiedene Akteure kontaktiert werden, wie Telekomanbieter oder Elektrizitätswerke der Gemeinden.»

## Schwammige Gesetze

Zum lückenhaften Wissen kommt eine überaus schwammige Gesetzgebung: In der Schweiz gibt es noch kein eigenes Bundesgesetz für den Untergrund. Faktisch wurde versucht, die Frage mit Artikel 667 des Zivilgesetzbuchs zu regeln, wonach sich das Grundeigentum «nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich erstreckt, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht». Ein solches Interesse besteht beispielsweise, wenn dem Boden Wärme entnommen wird, um ein Gebäude zu heizen. Nach römischem Recht umfasst das Grundeigentum dagegen uneingeschränkt den ganzen Bereich bis zum Erdzentrum. Für Thierry Largey, Experte für Raumplanungsrecht an der Universität Lausanne, «ist die Frage, welcher Bereich des Untergrunds privat und welcher öffentlich ist, nicht beantwortet».

«Die Frage, welcher Bereich des Untergrunds privat und welcher öffentlich ist, ist nicht beantwortet.»

Thierry Largey

Diese Situation wird immer wieder zu Problemen führen, insbesondere weil die Gebäude immer höher werden und daher eine immer tiefere Verankerung erfordern. «Verschärft wird die Lage dadurch, dass sich die Verankerung je nach

Geländeverlauf über das Grundstück hinaus erstrecken kann», fährt der Forscher fort. «Muss der Eigentümer nun eine Bewilligung vom Nachbarn oder eher vom Kanton einholen?» Gleichzeitig werden zur Nutzung der Erdwärme für das Heizen von Gebäuden immer mehr Sonden bis in Tiefen von 300 Metern getrieben, wodurch sich das «Interesse für die Ausübung des Eigentums an der Oberfläche» auf immer grössere Tiefen erstreckt.

Ausserhalb des privaten Grundeigentums ist der Untergrund ein öffentliches Gut, genau wie Seen, Gletscher oder nicht kulturfähiges Land. Für die Nutzung dieser Räume liegen die Hoheitsrechte durch das Verwaltungsrecht bei den Kantonen. «Die Verwaltung des Untergrunds ist allerdings stark fragmentiert», meint Thierry Largey. «Es besteht kein Gesamtkonzept und keinerlei Harmonisierung zwischen den Kantonen. Einige kantonale Gesetze gehen auf das 19. Jahrhundert zurück, andere wurden kürzlich überarbeitet.» In einigen Kantonen gibt es überhaupt keine spezifischen Gesetze zu Bereichen wie Geothermie. Auf Bundesebene wird die Nutzung des Untergrunds im Raumplanungsrecht ebenfalls nicht ausdrücklich erwähnt. Immerhin ermöglichen Planungs- und Raumordnungswerkzeuge auf den Ebenen von Bund und Kantonen eine gewisse Koordination der Nutzung unterirdischer Ressourcen.

## Mehr Konkurrenz, mehr Konflikte

Bis vor Kurzem hatten diese Gesetzgebungs- und Wissenslücken kaum Probleme zur Folge. Erst seit einigen Jahren schlagen Fachpersonen Alarm. Aufgrund der Urbanisierung und der Entwicklung neuer Technologien wird es zu einer verschärften Konkurrenz um die Nutzung des

Untergrunds kommen, die zu Konflikten und zu einer nicht nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressourcen führen könnten. Das ist eine Eigenheit des Untergrunds: Sobald eine Anlage gebaut ist, lässt sich die Raumnutzung kaum mehr ändern.

Der Untergrund in der Schweiz wird vor allem für vier Hauptzwecke genutzt: Rohstoffgewinnung – hauptsächlich Sand und Kies –, Bewirtschaftung des Grundwassers, Bau – zum Beispiel Verkehrswege – sowie Energieproduktion und -speicherung. «Grundsätzlich kann es bei der Nutzung des Untergrunds überall zu Konflikten kommen, in den kommenden Jahren dürfte sich die Situation aber vor allem in städtischen Agglomerationen zuspitzen», betont Stéphane Nahrath, Professor am Institut für öffentliche Verwaltung in Lausanne und Forscher des nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden».

### Geothermie versus Metro

Beispielsweise kann das Grundwasser verschmutzt werden. Oder bei bereits dicht verbautem Untergrund können nicht mehr alle Interessierten eine geothermische Sonde einsetzen. In Lausanne beispielsweise dürfen Eigentümer, deren Grundstück sich über der zukünftigen Metro M3 befindet, die Erdwärme nicht nutzen. Es stellt sich die Frage, ob sie dafür entschädigt werden müssen. «Gegenwärtig gibt es kein Gesetz, das diese Frage beantwortet», erklärt Stéphane Nahrath. Der Aufschwung der Geothermie – die im Übrigen durch die Energiestrategie 2050 gefördert wird – tritt also bereits in Konflikt mit Projekten für Verkehrstunnels.

Weiteres Konfliktpotenzial bergen Projekte, die eine unterirdische Lagerung von CO<sub>2</sub>, Erdgas oder radioaktiven Abfällen vorsehen oder Verlegungen von Hochspannungsleitungen im Boden. Der chronische Mangel an Bauflächen veranlasst Architektinnen und Architekten, vermehrt in die Tiefe zu bauen und sich dabei gleichzeitig die hervorragenden thermischen Möglichkeiten zunutze zu machen. Auch grosse Infrastrukturprojekte drängen ins Erdreich: «Cargo sous terrain» beispielsweise, ein Projekt zur vollständig automatischen Beförderung von Frachten über Tunnels, oder auch Eurotube, ein System für den Hochgeschwindigkeitstransport in einer Metallröhre, an dessen Entwicklung beide Eidgenössischen Technischen Hochschulen beteiligt sind.

«Viele dieser Projekte betreffen zwar die Zukunft», sagt Olivier Lateltin von Swisstopo. «Aber es ist jetzt an der Zeit, die erforderlichen Werkzeuge für die

Bewirtschaftung des Untergrunds zu entwickeln.» Diese Meinung teilt Stéphane Nahrath: «Wir müssen die Raumplanung mit einer langfristig ausgerichteten Bewirtschaftung des Untergrunds koordinieren. Es gilt Pläne zu erstellen, Zonen festzulegen und Nutzungen vorzusehen, wie wir dies an der Oberfläche längst tun. Wenn wir die Rechtslage im Boden nicht rechtzeitig klären, wird sich das Bundesgericht in den nächsten Jahren ausgiebig darum kümmern müssen. Zweifellos wird die Zahl der Streitfälle rasant zunehmen. Wie sich gezeigt hat, ist es in diesem Bereich immer besser, vorauszudenken.» Wenn die Schweiz ihre Gesetzgebung nicht präzisiert, werden die Gerichte entscheiden, wie der Boden bewirtschaftet wird – ohne dass Fachleute mitreden können.

In Genf stellt Nathalie Andenmatten ein weiteres Problem fest: «Wenn wir die Nutzung des Untergrunds nicht besser planen, besteht die Gefahr, dass wir uns technologische Entwicklungen der Zukunft verbauen.» Im Bereich der Geothermie zum Beispiel wurden bereits viele flache Erdwärmesonden eingebaut, die bis in Tiefen von etwa 300 Metern reichen. Diese lassen sich gut bei Einfamilienhäusern auf dem Land einsetzen, sind aber weniger geeignet für Gebäude in städtischen Zentren, wo das Erdreich bereits verbaut ist. Bei diesen Bauten wären kollektive Erdwärmesysteme mit Grundwassernutzung oder mit mittleren Bohrtiefen vorteilhaft.

### Und wieder der Kantönliche

«Wenn die Behörden jetzt planlos zulassen, dass Privatpersonen ihre Sonden oder Sondenfelder einrichten, haben in den betroffenen Zonen keine kollektiven Erdwärmesysteme mehr Platz», meint die Geologin. Sie ist auch der Ansicht, dass die Umsetzung von Grossprojekten im Bereich der Geothermie wegen der unterschiedlichen oder sogar fehlenden spezifischen Gesetzgebung in den Kantonen sehr schwierig ist: «In jedem Kanton werden unterschiedliche Daten gefordert; etwas ist hier untersagt und dort erlaubt. Das wirkt abschreckend auf Initiativen für Grossprojekte. Damit sich die Erdwärmennutzung in mittleren Tiefen von 300 bis 3000 Metern in der Schweiz entwickeln kann, muss die Praxis zwischen den Kantonen harmonisiert werden.»

Die Geothermie ist nicht der einzige Bereich, in dem eine Harmonisierung notwendig ist: Zahlreiche Projekte machen nicht vor Kantonsgrenzen halt. Vielleicht bringt die zweite Revision des Bundesgesetzes über die Raumplanung (RPG 2) eine Lösung, denn es steht eine Raumplanung in der dritten

Dimension zur Diskussion. «Es wäre auf jeden Fall wünschenswert, dass das neue Gesetz eine detaillierte Raumplanung für den Untergrund bringt», betont Marianne Niggli, Präsidentin des Schweizer Geologenverbands. Sie organisiert im kommenden Herbst ein Symposium, an dem Fachpersonen aus den Bereichen Geologie, Städte- und Raumplanung sowie Unternehmen über den Inhalt des künftigen Gesetzes diskutieren.

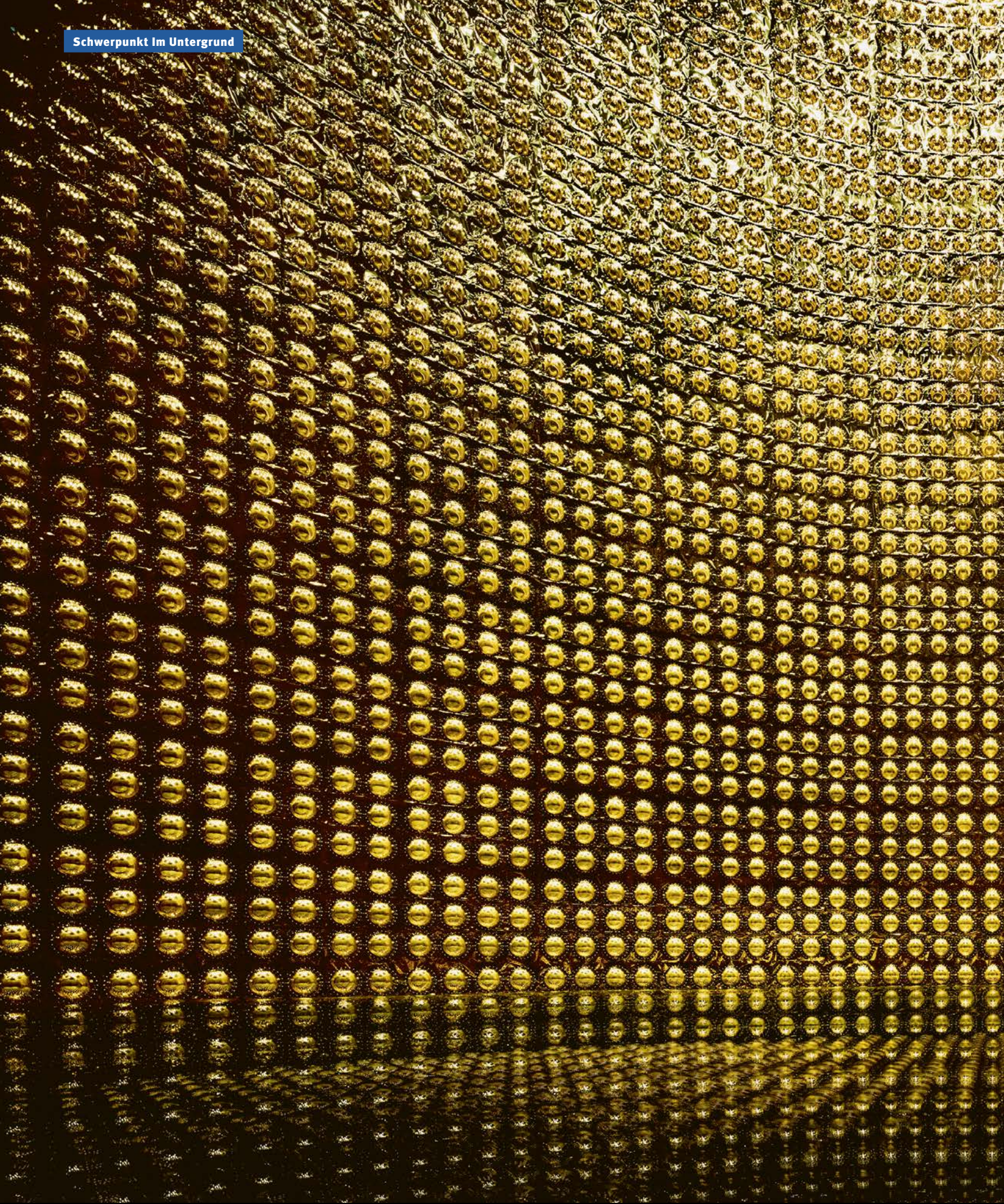
«Grundsätzlich kann es bei der Nutzung des Untergrunds überall zu Konflikten kommen.»

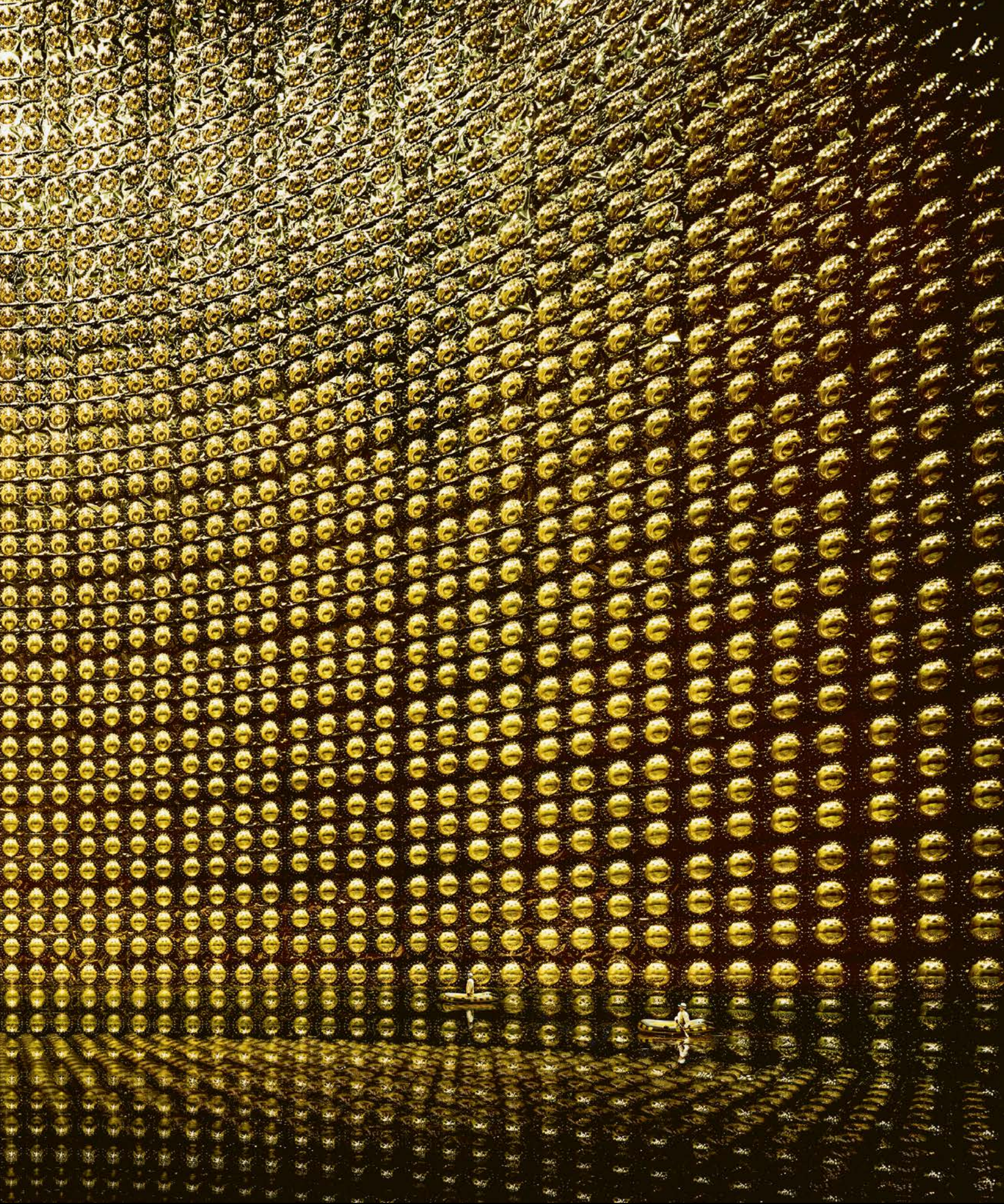
Stéphane Nahrath

In der Zwischenzeit dürften Projekte, die Swisstopo in Zusammenarbeit mit den kantonalen Behörden und den Bundesbehörden umsetzt, relevantes Wissen über den Schweizer Untergrund zutage bringen (siehe «Kartierung einer unsichtbaren Welt», S. 19). «Wir richten verschiedene Datenbanken zu den unterirdischen Strukturen ein, die von gesamtschweizerischem Interesse sind, wie Tiefbohrungen oder seismische Linien», erklärt Olivier Lateltin. «Wir möchten Standards für die Beschreibung geologischer Daten in der Schweiz festlegen und die Kantone dabei unterstützen, diese namentlich für Projektplaner und -träger bereitzustellen. Ich rechne damit, dass wir in zehn Jahren leistungsfähige geologische Modelle des Untergrunds für die grossen Agglomerationen des Mittellands haben.»

Werden diese Daten die Ausgestaltung einer neuen Gesetzgebung erleichtern? Vielleicht, aber «zu viele regulatorische Vorgaben könnten kontraproduktiv sein», warnt Marianne Niggli. Die künftige Entwicklung ist nur schwer vorherzusehen. Sie rät deshalb, neue Normen schrittweise auf der Grundlage neuer Erkenntnisse einzuführen. Als Antwort auf wissenschaftliche Fortschritte fordern Fachpersonen nachdrücklich Expertengruppen, technische Standards und die Etablierung bewährter Praktiken – damit die Schweiz ihr Fundament ergiebig und umsichtig nutzen kann.

Geneviève Ruiz ist freie Journalistin und lebt in Nyon (VD).





# Immer tiefer forscht der Mensch

Im Berg, in der Kanalisation, auf der Baustelle: Es wimmelt von Forschungsfeldern unter unseren Füßen. Kurze Einblicke in vielsagende Tiefen.

Text: Roland Fischer  
Infografik: Vollkorn

## Botschaften aus der Vergangenheit

### Ausgrabungen

Wenn Baumaschinen unerwartet Zeitzeugen von wissenschaftlichem Wert freilegen, wühlen sich statt ihnen Archäologinnen durch die Erde. Behutsam natürlich. Manchmal kommen die Boten aus anderen Jahrhunderten oder gar Jahrtausenden auch durch Bodenerosion zum Vorschein. In beiden Fällen werden Not- und Rettungsgrabungen nötig. Mit diesen ist die Archäologie konstant ausgelastet. Und eigentlich lässt der zeitgenössische Archäologe die **Funde** lieber da, wo sie am besten geschützt sind und wo am meisten kontextuelle Information gespeichert ist.

Der Boden ist das beste Archiv: Nur da, wo archäologische Substanz unmittelbar bedroht ist, werden

## Experimente im Schwebestand

Labor in Rüslikon (ZH)

Erschütterungen, Töne, Temperaturunterschiede: Alles muss für Nanotech-Experimente auf ein Minimum reduziert werden. Die IBM hatte Glück, bloss acht Meter dick ist die Erd- und Lehmschicht unter dem Forschungszentrum in Rüslikon, und schon stösst man auf den Nagelfluh. Auf diesen hat man beim Bau des Nanotechnologie-Zentrums eine vom restlichen Gebäude unabhängige Betonbasis verankert. Hier stehen sechs weltweit einzigartige Noise-Free-Labs. Oder besser: sie schweben.

Das Fundament spürt beispielsweise die nanometerkleinen Vibrationen von der Autobahn, die in gut hundert Meter Distanz vorbeiführt. Die rund 50 Tonnen schweren, auf Luftkissen gelagerten Raumsokkel dagegen bleiben davon unbeeinträchtigt. So können hier diverse Nanotech-Experimente unter so konstanten Bedingungen durchgeführt werden wie nirgends sonst auf der Welt: elektromagnetische Strahlung wird ebenso komplett abgeschirmt wie akustischer Lärm, und selbst die Temperatur schwankt während eines laufenden Experiments nie stärker als um 0,01 Grad.

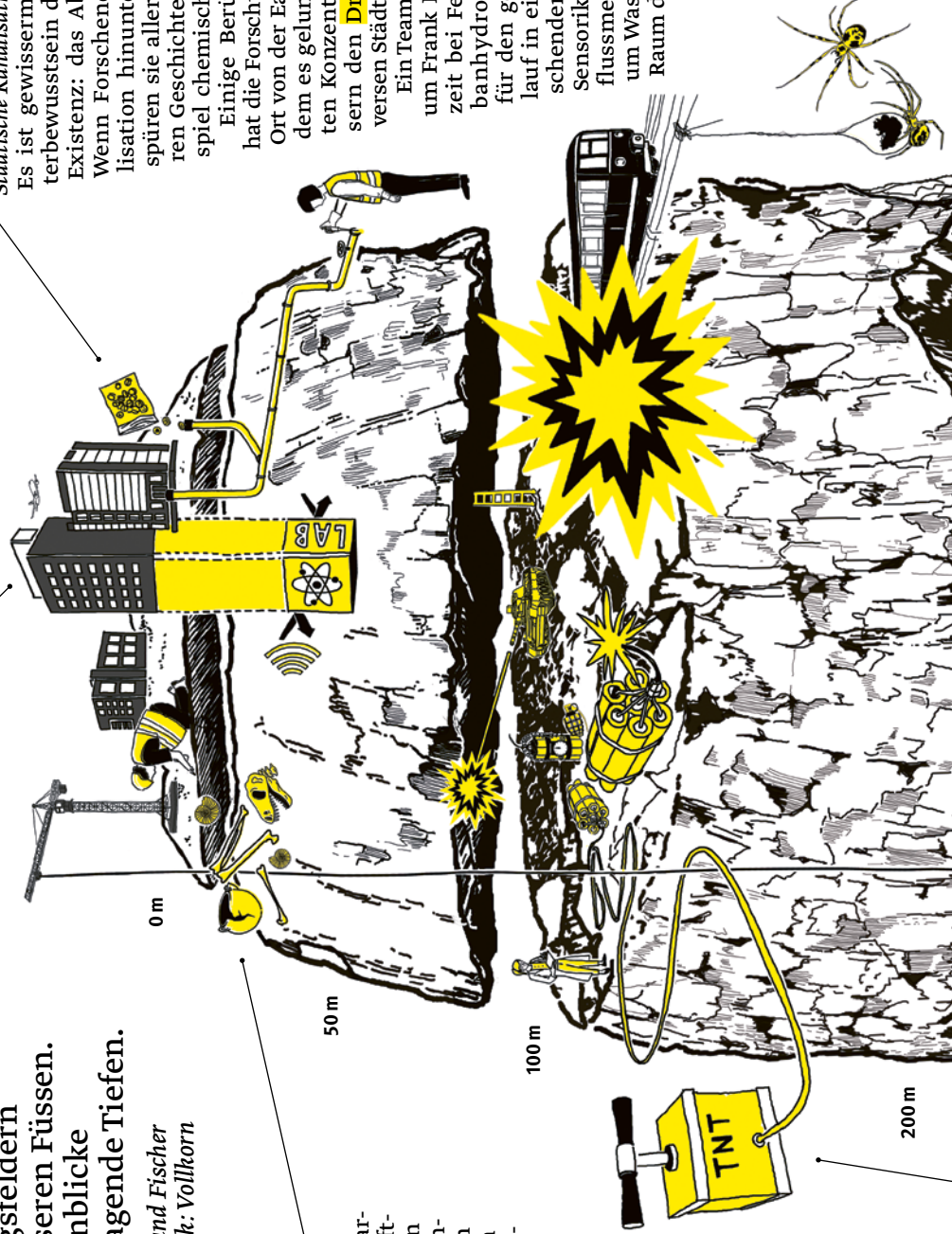
## Corpus Delicti im Abwasser

Städtische Kanalisationen

Es ist gewissermaßen das Un-terbewusstsein der städtischen Existenz: das Abwassersystem. Wenn Forschende in die Kanalisation hinuntersteigen, dann spüren sie allerdings handfeste Geschichten nach. Zum Beispiel chemischen Rückständen.

Einige Berühmtheit erlangt hat die Forschung von Christoph Ort von der Eawag in Dübendorf, dem es gelungen ist, aus kleinsten Konzentrationen in Abwässern den **Drogenkonsum** in diversen Städten hochzurechnen.

Ein Team aus demselben Haus um Frank Blumensaat baut derzeit bei Fehraltorf (ZH) ein urbanhydrologisches Feldlabor für den gesamten Wasserkreislauf in einer Stadt auf: Die Forschenden installieren moderne Sensoren für Niederschläge, Abflussmengen und Pegelstände, um Wasserflüsse im städtischen Raum detailliert zu modellieren.





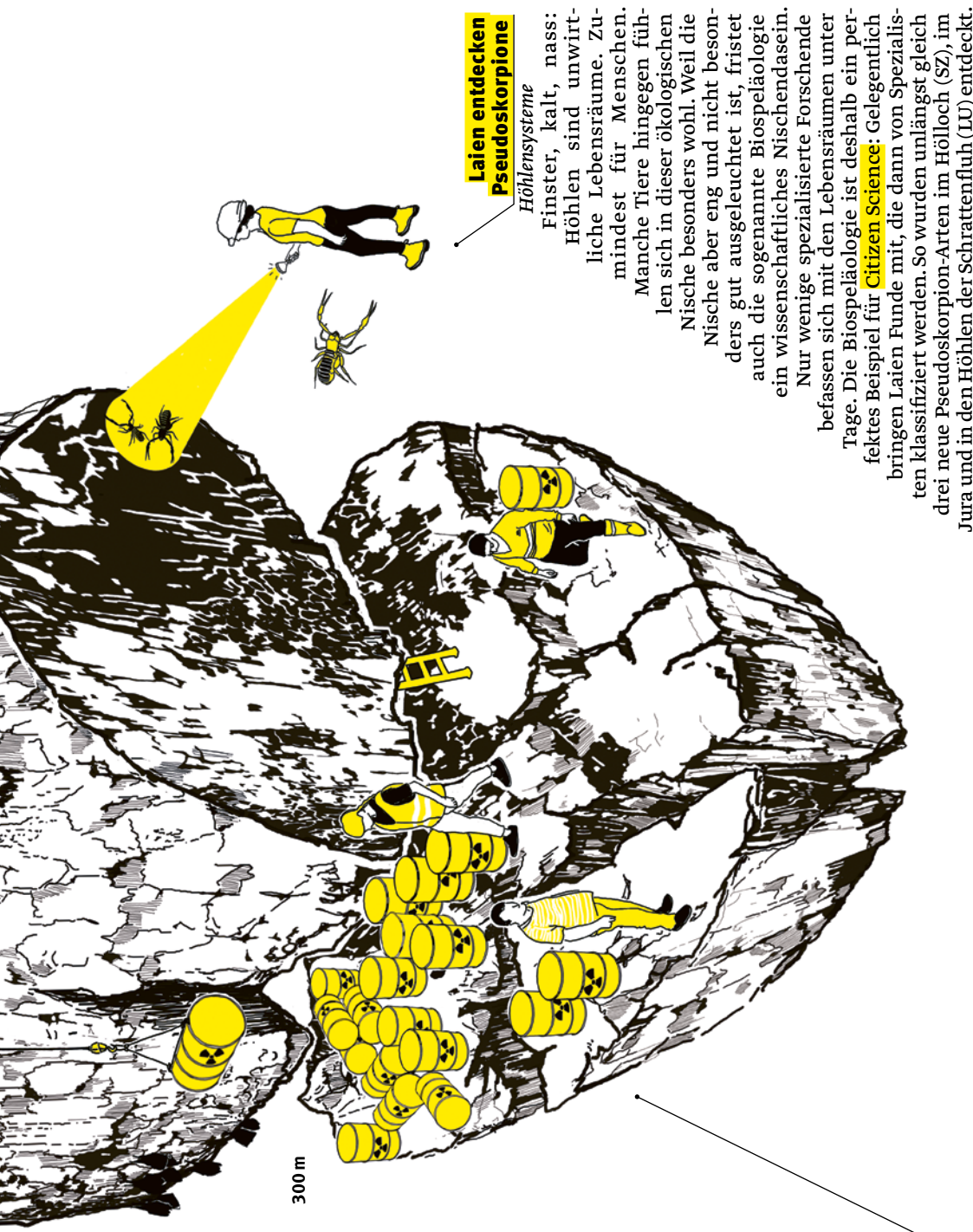
Grabungen vorgenommen. Archäologie sei sozusagen kontrollierte Zerstörung, sagt Armand Baeriswyl vom Berner Institut für Archäologische Wissenschaften.

Übrigens: laut Zivilgesetzbuch ist Archäologie in der Schweiz Kantonsangelegenheit: «Herrenlose Naturkörper oder Altertümer von wissenschaftlichem Wert sind Eigentum des Kantons, in dessen Gebiet sie gefunden worden sind.»

### Spielplatz für Feuerteufel

*Versuchsstollen bei Flims (SG)*  
Bohrhämmer mühen sich am gemein zähen Kieselkalk ab, Flugabwehrkanonen feuern ins Dunkel. Im Versuchsstollen Hagerbach in der Nähe von Flims (SG) können ungestört Dinge der etwas extremeren Art getestet werden.

Tief im Berg ist es zum Beispiel nicht so schlimm, wenn Branddetektoren und Löschsysteme ihre Macken haben, und so können dort Brandsysteme getestet werden. Wenn sie versagen, wird eben manuell gelöscht. Eigentlich wurde die Anlage vor bald fünfzig Jahren für Tunnelingenieure angelegt, als Versuchsfeld mit möglichst realistischen Bedingungen. Diese haben ihre Maschinen und **Sprengstoffe** so erfolgreich getestet, dass ein weitaufgebautes Stollensystem von vielen Kilometern Länge entstanden ist. Nun ist genug Raum vorhanden für eine Vielzahl von Forschungsvorhaben, die einerseits Diskretion, andererseits den geologischen Puffer tief im Bauch des Bergs schätzen.



### Laien entdecken Pseudoskorpione

*Höhlensysteme*

Finster, kalt, nass: Höhlen sind unwirtliche Lebensräume. Zumindest für Menschen.

Manche Tiere hingegen fühlen sich in dieser ökologischen Nische besonders wohl. Weil die Nische aber eng und nicht besonders gut ausgeleuchtet ist, fristet auch die sogenannte Biospeläologie ein wissenschaftliches Nischendasein.

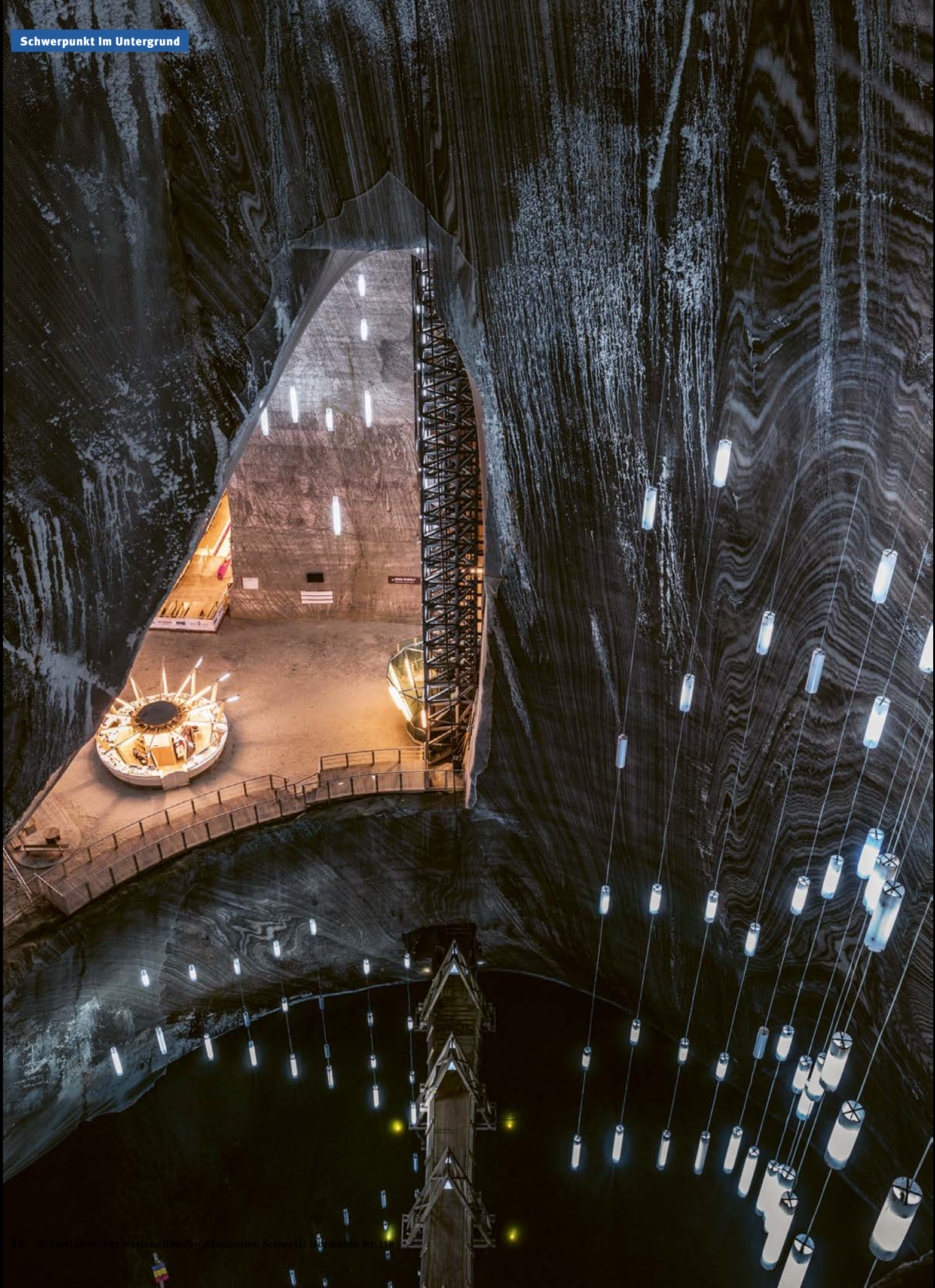
Nur wenige spezialisierte Forschende befassen sich mit den Lebensräumen unter Tage. Die Biospeläologie ist deshalb ein perfektes Beispiel für **Citizen Science**: Gelegentlich bringen Laien Funde mit, die dann von Spezialisten klassifiziert werden. So wurden unlängst gleich drei neue Pseudoskorpion-Arten im Hölloch (SZ), im Jura und in den Höhlen der Schratzenfluh (LU) entdeckt.

### Mikroorganismen helfen bei der Lagerung von Atommüll

*Stollen im Mont Terri (JU)*

Dieser Berg kommt nicht zur Ruhe: Da der Mont Terri die Ajoie vom restlichen Jura abtrennt, war es nur eine Frage der Zeit, bis er von Tunnels durchstochen wurde. Schon etwas länger her für die Bahn, dann auch für die Autobahn. Weil man auch herausfand, dass der Opalinuston zu den stabilsten und undurchlässigsten geologischen Schichtungen gehört, wurde längs zum Autobahntunnel gleich noch ein Versuchsstollen angelegt. Darin wird Forschung rund um die Endlagerung von radioaktiven Abfällen durchgeführt. Dazu wird aber kein Atommüll in den Mont Terri gebracht. Die Versuche sind anderer Natur.

Unlängst hat zum Beispiel eine Jungforscherin der EPFL gezeigt, wie gefährliches Wasserstoffgas aus der **Korrosion** der Stahlbehälter entfernt werden könnte. Poröses Material auf der Stollenwand böte spezialisierten Mikroorganismen einen Lebensraum. Das Projekt ist eine Zusammenarbeit von mehr als einem Dutzend internationalen Partnern und wird durch Swisstopo koordiniert.



# Kartierung einer unsichtbaren Welt

Im Untergrund soll Energie gewonnen, CO<sub>2</sub> gelagert und Verkehr geführt werden. Neue 3D-Modelle machen die Planung effizienter.

Von Yvonne Vahlensieck

**W**er wissen will, wie es viele Millionen Kilometer entfernt auf dem Mars aussieht, findet dazu problemlos eine Fülle von Fotos und Karten im Internet. Im Gegensatz dazu ist die Welt direkt unter unseren Füßen noch weitgehend unbekannt. Doch das Interesse am Schweizer Untergrund wächst ständig: In Zukunft soll mit Erdwärme Strom produziert werden. Unter der Erde suchen Geologinnen und Geologen nach Platz für die Lagerung von radioaktiven Abfällen und dem Treibhausgas CO<sub>2</sub>. Und das Unternehmen Cargo sous terrain will einen grossen Teil des Schweizer Gütertransports in den Untergrund verlegen.

## Mittelland unter Tage in 3D

Die meisten dieser Vorhaben sind für das Mittelland geplant - unter den am dichtesten besiedelten Regionen der Schweiz. Um die Planung dieser Projekte voranzutreiben, hat das Bundesamt für Landestopografie Swisstopo nun ein aufwendiges 3D-Modell erarbeitet, das die geologische Beschaffenheit des Untergrunds von Genf

«Woher genau in den Alpen welches Wasser kommt, ist immer noch eines der grössten geologischen Rätsel der Schweiz.»

Gunter Siddiqi

über das Mittelland bis in die Ostschweiz darstellt. Das sogenannte Molassebecken erreicht dabei Tiefen zwischen wenigen hundert Metern im Norden bis etwa 6000 Metern im Süden und besteht aus Sedimentschichten wie Kalk, Sandstein und Ton - Ablagerungen aus der Zeit vor etwa 25-30 Millionen Jahren, als die Schweiz noch von Meer bedeckt war.

«Dank der dreidimensionalen Visualisierung können nun auch Entscheidungsträger, die nicht vom Fach sind, die Struktur des Untergrunds besser verstehen», sagt Projektleiter Robin Allenbach von Swisstopo. Mit Hilfe des Geomol-17-Modells können Bauingenieurinnen beispielsweise präziser vorhersagen, durch welche Arten von Gestein beim Bau eines Tunnels gebohrt werden muss. So ist es möglich, eine Trassenführung durch ungünstige Formationen - wie etwa unverfestigtes Gestein - zu vermeiden.

Eine wichtige Rolle spielte Geomol 17 deshalb schon bei der Planung des Streckennetzes für Cargo sous terrain. Das Projekt will die grossen Städte des Mittellandes durch sechs Meter breite Tunnel verbinden, in denen Waren in unbemannten Fahrzeugen vollautomatisch von Ort zu Ort transportiert werden. Laut der Unternehmen könnten so in Zukunft bis zu 40 Prozent des Güterverkehrs unter der Erde ablaufen. Das erste etwa siebzig Kilometer lange Teilstück soll Niederbipp (SO) mit Zürich verbinden und im Jahr 2030 in Betrieb gehen.

Neben dem Verlauf und der Dicke der Sedimente visualisiert Geomol 17 auch Stellen, an denen Brüche auftreten. Die Lage solcher Störungszonen ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium bei der Standortwahl für unterirdische Bauvorhaben wie etwa Tiefenbohrungen: «Anhand des 3D-Modells kann man sich beispielsweise überlegen, wie Wasser durch diese Brüche fliesst, was für geothermische Vorhaben sehr wichtig ist», sagt der Geothermie-Experte Gunter Siddiqi vom Bundesamt für Energie.

Während frühere Darstellungen nur eine Handvoll dieser Störungen zeigten, kartiert Geomol 17 nun die Lage von etwa 600 solcher Bruchzonen. «In dieser Hinsicht ist dieses Projekt unglaublich wichtig für die Schweiz», so Siddiqi.

Für die Modellierung von Geomol 17 ermittelten die Geologen keine neuen Daten, sondern konsolidierten viele tausend schon vorhandene Datensätze aus verschiedenen Quellen, insbesondere von der Firma Seag, die seit den 50er Jahren Erdöl- und Erdgasexploration in der Schweiz betreibt, sowie von der Nagra, die seit vielen Jahren geologische Abklärungen zur unterirdischen Lagerung radioaktiver Abfälle durchführt.

## Daten dank Bohrungen und Beben

Ebenfalls eingebunden wurden Messungen von weiteren privaten Unternehmen, Forschungsprojekten und topografischen Karten. «Am aufwendigsten war es, alle diese zum Teil sehr alten Daten auf einen

Unterhaltung in der stillgelegten Salzmine: In der rumänischen Stadt Turda befindet sich seit einigen Jahren ein Bergbaumuseum mit spektakulärer Beleuchtung. Bild: Getty Images/Luxy Images

## «Wir haben massenhaft Papiere eingescannt.»

Robin Allenbach

einheitlichen Stand zu bringen», so Allenbach, «wir haben massenhaft Papiere eingescannt und weiterverarbeitet.» Um diese Fülle an Material zu bewältigen, übernehmen neben Swisstopo auch das Geologische Museum des Kantons Waadt sowie die Universitäten Genf, Freiburg, Bern und Basel jeweils einen Teilabschnitt.

Wesentliche Informationen über die Struktur des Untergrunds erhielten sie dabei durch die neue Auswertung von Daten aus früheren Bohrungen: Hier liess sich anhand der Bohrkerne oder durch das zerkleinerte Material, das an der Oberfläche analysiert wurde, nachvollziehen, wie die darunter liegenden Gesteinsschichten beschaffen sind.

«Stellenweise haben wir in der Schweiz dadurch ein sehr gutes Verständnis des Untergrunds, aber eben leider nur an wenigen Punkten», sagt Gunter Siddiqi. Denn eine solche Exploration des Untergrunds ist teuer und aufwendig – und dementsprechend rar: Bis jetzt gab es in der Schweiz nur 165 Bohrungen in Tiefen von mehr als 500 Metern, was etwa vier Bohrungen pro 1000 Quadratkilometer entspricht.

Nicht ganz so selten sind dagegen seismische Messungen, die allerdings nur indirekte Hinweise liefern: Hierfür erzeugen Geophysiker mit Hilfe von Vibratoren oder Sprengungen künstliche Erschütterungen im Boden. Anhand der Geschwindigkeit, mit der sich diese Erschütterungen wellenförmig durch den Untergrund bewegen, berechnen Geologinnen dann die Struktur der darunterliegenden Gesteinsschichten. «Mit aufwendiger 3D-Seismik lassen sich mittlerweile Bruchzonen in einer sehr guten Auflösung von Dutzenden bis Hunderten Metern darstellen», sagt Marco Herwegh, Professor für Strukturgeologie an der Universität Bern.

Auch seismische Wellen, die durch natürliche Erdbeben ausgelöst werden, können für die Kartierung des Untergrunds verwendet werden. So hat das Projekt Alparray, das von der ETH Zürich und der Universität Lausanne koordiniert wird, in den letzten Jahren ein Netz von 600 Seismografen im Alpenraum und im Mittelmeer

platziert, die selbst die leichtesten Erschütterungen von schwachen Erdbeben registrieren.

### Suche nach Heisswasserflüssen

Trotz Projekten wie Alparray gibt es noch keine umfassende 3D-Modellierung des Untergrunds unter den Alpen – obwohl dies durchaus wünschenswert wäre: So vermuten Expertinnen zum Beispiel, dass es im Alpenraum zahlreiche unterirdische Heisswasserflüsse gibt – davon zeugen die vielen Thermalquellen im Wallis. Natürlich vorkommende heisse Wasser sind eine günstige Voraussetzung für die geothermische Stromerzeugung (siehe auch Kasten rechts). Deshalb versuchen Geologen, den Weg des Thermalwassers unter den Alpen zu rekonstruieren: Hierfür bestimmen sie mit Hilfe chemischer Analysen, wie alt das Wasser ist und durch welche Gesteinsarten es geflossen ist. «Doch woher genau in den Alpen dieses Wasser kommt, ist immer noch eines der grössten geologischen Rätsel der Schweiz», sagt Siddiqi.

Dennoch sind die ersten Schritte für ein 3D-Modell des Alpenuntergrunds schon gemacht: So arbeitet etwa der Strukturgeologe Herwegh mit seiner Forschungsgruppe zurzeit an einem Modell des Aarmassivs. Zusätzlich zu den verfügbaren seismischen Daten analysiert er hierfür auch die Schichten und Brüche der sichtbaren Gesteinsformationen. Diese schneiden die Erdoberfläche entlang bestimmter Schnittlinien, welche die Forschenden von der Oberfläche her in die Tiefe projizieren. So können sie vorhersagen, wie die Gesteine sich unterirdisch fortsetzen. Herwegh ist überzeugt, dass sich die Arbeit, die Geologen in die Erstellung von 3D-Modellen investieren, in Zukunft auszahlen wird: «Die Modelle generieren Hinweise, wo man mit guten Erfolgchancen geothermische Bohrungen platzieren kann – eine hundertprozentige Garantie gibt es allerdings nie, und das macht die ganze Sache so spannend.»

Yvonne Vahlensieck ist freie Wissenschaftsjournalistin in der Nähe von Basel.

### Strom aus der Tiefe durch CO<sub>2</sub>

In der Schweiz dienen Erdwärmesonden von höchstens wenigen hundert Meter Tiefe zum Heizen von Häusern. In Zukunft könnte dank Erdwärme auch Strom produziert werden. Geologen sind auf der Suche nach unterirdischen Thermalflüssen. Deren heisses Wasser soll an die Oberfläche gepumpt werden und dort direkt oder über einen Wärmetauscher eine Turbine antreiben.

In Island, wo heisses Wasser aufgrund des vulkanischen Untergrunds nahe an der Oberfläche fliesst, wird so schon erfolgreich Strom erzeugt. «Bei uns müsste man allerdings im Schnitt vier Kilometer tief gehen, um 100 bis 120 Grad heisses Wasser zu finden, was es für herkömmliche Technologien braucht», sagt Gunter Siddiqi vom Bundesamt für Energie. Wie Pilotprojekte in Basel und St. Gallen gezeigt haben, können solche Tiefenbohrungen jedoch möglicherweise Erdbeben auslösen. Und sie sind sehr aufwendig und teuer.

Gesucht sind deshalb Techniken, um auch aus geringeren Tiefen effizient Strom zu produzieren. Eine Idee dazu stammt von Martin O. Saar von der ETH Zürich. Er möchte dazu unterirdische Kohlendioxid-Lagerstätten nutzen, wie sie etwa in den USA schon jetzt existieren und dort die CO<sub>2</sub>-Emission von grossen Kraftwerken und Fabriken um über 90 Prozent vermindern. Saar glaubt, dass solche Lager in naher Zukunft auch in der Schweiz entstehen werden. Das gelagerte Gas würde sich dabei schon ab etwa 2,5 Kilometer Tiefe auf etwa 80 Grad aufwärmen.

«Wir könnten dieses geothermisch erwärmte CO<sub>2</sub> kurzfristig an die Oberfläche holen, um Strom zu erzeugen, und es dann wieder nach unten pumpen, wo es letztendlich permanent eingelagert wird», sagt Saar. «Aufgrund der physikalischen Eigenschaften von CO<sub>2</sub> liesse sich damit doppelt so effizient Strom produzieren, als es mit Wasser bisher möglich ist – und das bei geringeren Temperaturen, in geringeren Tiefen und wirtschaftlich.» Saar hofft darauf, bald Gelder für eine Pilotanlage zu finden.

**Hommage an die Zeche: Andreas Gursky setzt die Ausrüstung der Minenarbeiter in Szene, die diese bis zur Stilllegung des Bergwerks Ost in Hamm (D) zum Trocknen aufhängen.** Bild: Andreas Gursky/Pro Litteris, Bonn 2018, Courtesy Sprüth Magers



# Das fantastische Reich

Bunker, Schutzräume, Tunnel: Die Schweiz gräbt unablässig und bewahrt ihre Mythen im Untergrund. Eine Führung mit André Ourednik, Geograf und Science-Fiction-Autor.

Von Nic Ulmi

**E**inerseits befasst sich André Ourednik wissenschaftlich mit dem bewohnten Raum und ist Lehrbeauftragter an der EPFL sowie an der Universität Neuenburg. Andererseits ist er Autor von Science-Fiction-Romanen, die oft im Erdreich spielen. Horizonte machte sich im Gespräch mit dem Geografen mit tschechischen Wurzeln auf zu einer Entdeckungsreise in diese gleichzeitig konkrete und mystische Welt unter Tage.

## André Ourednik, wie erleben Sie die Beziehung der Schweiz zu ihrem Untergrund?

Erstens: Der Untergrund ist ein Stück nationale Identität. Der Ursprung dafür liegt in der Fähigkeit der Schweiz, Tunnel zu graben. Beispielsweise wird gerne betont, dass unsere Tunnel die längsten seien. Nur stimmt das nicht: Der Gotthard ist zwar der längste Eisenbahntunnel für Personentransporte unter einem Berg. Der längste Tunnel an sich aber ist die Linie 3 der Metro im chinesischen Guangzhou. Doch davon spricht dort niemand. Den Chinesen ist es egal, weil Tunnel nicht Teil ihres Nationalmythos sind.

«Den Chinesen ist es egal, weil Tunnel nicht Teil ihres Nationalmythos sind.»

Die Schweizer Obsession für Tunnel hat auch wirtschaftliche Aspekte. Das Land will Know-how exportieren, einen Marktwert beweisen. Wie beim Bau unterirdischer Schutzräume gegen Atomangriffe während des Kalten Krieges: Er war durch das Lobbying der Zementindustrie im Parlament gefördert worden. Sie machte sich für ein Obligatorium der Schutzunterkünfte stark.

## Das Reduit im Zweiten Weltkrieg war nicht als Unterkunft für die Zivilbevölkerung bestimmt. Trotzdem glaubte sie daran. Zu Unrecht?

Der Untergrund verkörpert zwei übersinnliche Welten. Einerseits steht er seit



Vom Übersinnlichen im Unterirdischen – Schriftsteller André Ourednik erklärt, warum die Welt unter unseren Füßen gleichsam alpträumhaft und schöpferisch ist. Bild: Alain Wicht/La Liberté

der Epoche der Sumerer für das Totenreich und einen Ort, an dem nur überlebt, wer Gott oder Held ist, wie Gilgamesch, Amun-Re oder Orpheus. Andererseits wird er als Ort der Bewahrung der Schöpfung gesehen, aus dem eine neue Gesellschaft hervorgehen wird, sobald sich die Lage auf der Welt wieder aufhellt.

Im Alltag ist diese Vorstellung zum Beispiel in der Westschweiz mit dem Brauch des Carnotzet präsent, einem ausgebauten Weinkeller, der zu einem geselligen Rückzugsort wird. Abgeschnitten von der Aussenwelt und umgeben von Freunden schafft man sich eine eigene kleine Welt.

Im Extremfall führt ein solches Setting jedoch zu einer besonderen Form der Klaustrophobie, die etwa in U-Booten entsteht und allgemein an Orten, wo mehrere Personen lange eingeschlossen sind: Reizbarkeit, Besessenheit, Paranoia. Das ist der Albtraum vom nie endenden Tunnel.

## Nach den Alpentunnel, dem Reduit und den Atomschutzräumen findet die spezielle Beziehung der Schweiz zu ihrem Untergrund heute ihre Fortsetzung mit Projekten zur Datenspeicherung.

Tatsächlich ist die Schweiz heute im Markt der Datensicherung sehr aktiv. Zum Beispiel mit dem Tessiner Unternehmen Dataverna, das einen Teil der Galerien, über die der Gotthard-Basistunnel während der Bauzeit versorgt wurde, gekauft hat und dort Server installieren will.

## Seit Kurzem wird mit dem Begriff «Data Mining» die Bewirtschaftung und Auswertung von Daten bezeichnet. Fast scheint es, als ob diese Metapher Realität würde.

Einerseits scheint sich diese Metapher tatsächlich zu konkretisieren. Sie können das aber auch andersherum betrachten: Die materielle Dimension der Dinge,

ergänzt durch althergebrachte Vorstellungen und Bräuche, bestimmt unsere Denkweise. Das zeigt sich in kleinen Dingen: Die Anordnung der Buchstaben auf der Computertastatur widerspiegelt die früheren Schreibmaschinen, bei denen gewisse Buchstaben bei zu geringem Abstand zu verklemmen drohten.

Traditionelle gesellschaftliche Praktiken prägen über die Stofflichkeit der Dinge weiterhin unseren Geist und unser Verhalten. Der Einfluss dieser Prägung kommt auch beim Tunnel zum Ausdruck. Ich arbeite für das Projekt Postcarworld an der EPFL, das die Hypothese einer autofreien Welt erkundet.

Dabei wird bald klar: Der 2016 in einer Volksabstimmung beschlossene Bau einer zusätzlichen Röhre durch den Gotthard wird uns in gewisser Weise zwingen, dieses Werk zu amortisieren. Der Tunnel wurde gebaut, weil es Autos gibt, und umgekehrt werden die Leute weiterhin lange Strecken im Auto zurücklegen, weil diese Möglichkeit besteht.

Die Logik, die dazu geführt hat, dass unsere Vorfahren Löcher in die Alpen gruben, ist ins Stoffliche gemeisselt und hat Bestand. Was uns zu einem letzten wichtigen Aspekt der Vorstellungen über das Reich unter Tage bringt: Die Welt kann sich verändern, aber die Materie bleibt, und was dort in Stein gemeisselt wurde, kann plötzlich wieder zum Vorschein kommen.

**Wie die 7000 Tonnen Munition, die im Zweiten Weltkrieg im Munitionslager Mitholz im Berner Oberland versteckt wurden und 1947 mit fatalen Folgen detonierten – und wo noch immer ein Explosionsrisiko besteht.**

Oder wie die Dokumente der Geheimarmee P26, die im Musée Résistance Suisse in Gstaad liegen. Das Museum wurde im November 2017 in Anwesenheit von Bundesrat Ueli Maurer genau in demjenigen Bunker eingerichtet, in dem diese Armee ihr Ausbildungszentrum hatte. Die Archivbestände über diese Organisation hat der Bundesrat für geheim erklärt. Diese war dafür zuständig, im Falle einer Invasion durch den Warschauer Pakt den Widerstand zu orchestrieren. 2041 werden die Akten aber offengelegt.

Unter der Erde haben wir also nicht nur unsere Erinnerungen eingebunkert, sondern auch vergangene Pläne und Kämpfe gegen einen mehr oder weniger mythischen Feind, der nicht mehr existiert. Im Fantasiereich des Untergrunds kann dieses Szenario jedoch wieder zum Leben erweckt

werden, ähnlich wie der Panzer im Film «Underground» von Emir Kusturica, der lange nach dem Zusammenbruch von Jugoslawien aus einem Tunnel kommt, noch immer auf Krieg programmiert ist und sich einen Feind sucht.

**Sie haben in Ihrem literarischen Werk unterschiedlichste Arten von Untiefen ausgelotet.**

Ein erstes Mal in meiner Novelle «Naufrage», in der die Figuren in einem Schiff durch Wassertunnel durch die unterirdische Schweiz reisen. Die Idee geht auf zwei nationale Mythen zurück: die Schweiz als einzige Verbindung durch die Alpen und das Reduit, das alpine Festungssystem, das die Verteidigung des Landes im Zweiten Weltkrieg sicherstellen sollte.

**«Der Untergrund verkörpert zwei übersinnliche Welten: das Reich der Toten, aber auch einen Ort der Schöpfung.»**

Eine weitere Inspirationsquelle für diesen Text war die 1952 erschienene Novelle «Der Tunnel» von Friedrich Dürrenmatt. Der Protagonist reist im Zug von Bern nach Zürich, fährt in einen Tunnel, die Zeit geht vorbei, und plötzlich realisiert er, dass der Zug nach einer Stunde noch immer nicht am Tageslicht ist.

In meiner Novelle nehmen die Dinge ebenfalls einen düsteren Verlauf: Eine Wand stürzt ein – etwa so, wie wenn das Gerüst der idealen Schweiz zerbröckeln würde –, und das Schiff wird durch einen Wasserfall weggespült, in ein Loch, ähnlich wie bei Jules Verne. Die Besatzung gelangt dann in einen unterirdischen Raum, in dem Soldaten vergangener Epochen leben, von Winkelried bis General Guisan, versteckt und bewahrt im Schweizer Reduit.

**Die ganze Szenerie in Ihrem Roman «Les cartes du boyard Kraïenski» spielt ebenfalls unter Tage.**

Der Roman erzählt die Geschichte eines Schweizer Kartografen, der den Auftrag erhält, die Ostgrenze Europas festzulegen. Der Kartograf kommt in die Burg eines Bojaren, irgendwo in der Nähe der Ukraine, wo er eine Sammlung von alten Karten scannen muss, um den genauen Verlauf der Grenze zu bestimmen. Doch die Karten

widersprechen sich, sie stimmen nicht miteinander überein, und ausserdem senkt sich die Burg langsam in den Untergrund.

Hier interessieren mich zwei Themen. Das eine hat mit einem Zweig der Geoinformationssysteme zu tun, die man als Geodäsie bezeichnet. Diese beschäftigt sich damit, die Koordinaten bestimmter Punkte auf der Erde regelmässig auszumessen. Diese Bezugspunkte wandern relativ schnell: Die Kontinentaldrift beträgt bis zu 10-15 Zentimeter pro Jahr, was immerhin rund 2 Kilometer seit der Gründung Jerichos entspricht. Ich bin fasziniert von der Unbeständigkeit des Bodens durch die Bewegung der tektonischen Platten. Die Grenzen bewegen sich nicht nur historisch, sondern auch geologisch unter dem Einfluss dieser Tiefenbewegung, was eine grundlegende Instabilität jedes Bezugssystems zur Folge hat.

Das andere Thema wird in der absinkenden Burg deutlich. Irgendwann geht der Protagonist ins Untergeschoss und entdeckt, dass sich die älteren Schichten des Schlosses im Lehm auflösen. Er wird damit konfrontiert, dass die Erde die oberirdisch geschaffene Realität verschlingen kann, dass jedes menschliche Projekt früher oder später wieder in dieser unbestimmten Masse aufgeht.

**Sie verbinden ausserdem das fantastische Reich der Unterwelt mit der Welt der Megadaten.**

Mein neuester Roman «Omniscience» aus dem Jahr 2017 spielt wieder unter der Erde, in einer Höhle, in der unbegrenzte Datenmengen in flüssiger Form gespeichert sind und wo Taucher narrative Fäden weben, während sie in dieses riesige Becken eintauchen.

Ein weiterer Roman wird bald erscheinen, ein Text, der im Zusammenhang mit der Arbeit «Atomik Submarine» des Künstlers François Burland steht. Er hat ein 18 Meter langes Modell eines sowjetischen U-Boots gebaut, das die Angst vor dem roten Feind verkörperte. In der Schweiz der 1970er und 1980er Jahren fürchteten die Menschen, dass dieser Feind jederzeit irgendwo auftauchen könnte.

In diesem Roman befinden wir uns wieder unter der Erde und treffen auf Gabi I und Gabi II – die Namen zweier Tunnelbohrmaschinen, die den neuen Gotthardtunnel gruben –, die weiter bohren, ohne dass wir wissen, warum. Sie sehen, das Wühlen geht weiter.

Nic Ulmi ist freier Journalist und wohnt in Genf.

## INTERVIEW

## Die Doktorandin, die am wenigsten Worte braucht



F. Imhof@UNIL

In drei Minuten hat Pascale Deneulin ihre Dissertation zum Thema Mineralität des Weins präsentiert und die Jury überzeugt: Sie vertritt die Schweiz im internationalen Final des Wettbewerbs «Meine Doktorarbeit in 180 Sekunden» am 27. September 2018 in Lausanne.

**Pascale Deneulin, drei Jahre Forschung in drei Minuten zusammenzufassen ist riskant. Weshalb haben Sie den Sprung auf die Bühne gewagt?**

Erstens, um aus meinem Labor herauszukommen und meine Arbeit dem Publikum vorzustellen. Zweitens wegen der persönlichen Herausforderung. Ich habe schon früher Kommunikationskurse von Swissuniversities besucht und wollte noch mehr lernen und mich weiterentwickeln.

**Diese Übung kann Wissenschaft trivial erscheinen lassen, doch diese ist stets komplex und vielschichtig.**

Diese Gefahr besteht. Es ist sehr wichtig, die Vereinfachungen nicht zu weit zu

treiben. In meiner Präsentation habe ich absichtlich mehrmals die Begriffe Statistik und Wahrscheinlichkeit erwähnt, denn es ist wichtig zu zeigen, dass wissenschaftliche Ergebnisse auf einer soliden Methodik und nicht auf Zufall beruhen.

**Wie lange haben Sie an Ihrer Präsentation geschliffen?**

Ich habe 14 Versionen geschrieben. Und sie häufig für mich allein geübt, während Spaziergängen oder im Auto. Manchmal habe ich mich dabei gefilmt. Insgesamt habe ich fünf, sechs Ausbildungsmodule absolviert. Das ist schon ein gewisser Aufwand, der aber für mein Berufsleben sehr nützlich sein kann: An Kongressen braucht es ähnliche Techniken, damit das Publikum nicht einschläft. Dieses Abenteuer hat mir menschlich enorm viel gebracht, mit schönen Begegnungen mit den anderen Kandidaten. Untereinander gab es viel Hilfe und konstruktive Kritik.

**Ihr Rezept?**

Die Gewinnerbeiträge sind häufig ähnlich aufgebaut: Problematik darlegen, Methoden und Techniken, die manchmal komplex sind, mit einer Metapher veranschaulichen und schliesslich die Ergebnisse zusammenfassen und abschliessen.

**Wie geht es nach dem Final weiter?**

Kommunikation interessiert mich sehr, und ich möchte meine Erfahrungen und mein Wissen weitergeben. Ich coache bereits meine Studierenden vor ihrer Präsentation und werde mich dem nun noch stärker widmen.

**Was ist eigentlich die Mineralität des Weins – in 180 Zeichen?**

Eine Metapher für «terroir» (Kulturland auf Französisch), das heute inflationär verwendet wird. Sie ergänzt das körperliche Vokabular der Önologie – «schlank», «üppig» – um Begriffe aus der mineralischen Welt. Interview von Daniel Saraga

von Normen, die in den Medien zwar weniger präsent, aber wichtig für eine faire internationale Zusammenarbeit sind – für Forschende, Teilnehmende und die lokale Bevölkerung.

■ **Die Karriere entscheidet sich früh**

Ob Forschende nach dem Doktorat eine erste Finanzierung erhalten oder knapp verpassen, hat einen grossen Einfluss auf ihre wissenschaftliche Karriere, wie eine Studie zu mehr als 20 000 Finanzierungsgesuchen in den Niederlanden zeigt. Darin wurden Projekte untersucht, die Scores sehr nahe an der Schwelle für die finanzielle Unterstützung erreichten. Im Falle eines Erfolgs stiegen die Chancen um 50 Prozent, dass die Forschenden schliesslich eine Professur erhielten. Und die Finanzierungsbeträge, die sie in den nachfolgenden acht Jahren für Projekte akkumulieren konnten, waren doppelt so hoch wie bei Forschenden, deren Projekte nur ganz knapp abgelehnt worden waren. Wissenschaftliche Faktoren wie die Anzahl von Publikationen und Zitierungen hatten dagegen nur geringfügige Auswirkungen auf den Karriereverlauf.

■ **Simulation: Forschende prüfen**

Stichprobenmässige Audits bei Forschungsgruppen könnten ein wirkungsvolles Mittel sein, um den immer schnelleren Publikationszyklen auf Kosten der Qualität zu begegnen, wie eine Simulation mit 100 konkurrierenden virtuellen Laboratorien zeigt. Der Anteil der Laboratorien, die aus Konkurrenzgründen vor schnell Ergebnisse publizierten, sank von 99 Prozent auf fünf Prozent, nachdem bei zwei Prozent der publizierten Artikel die Qualität geprüft wurde und Laboratorien, die falsche Ergebnisse publizierten, ausgeschlossen wurden. Wenn für die Audits 170 Dollar pro publiziertem Artikel gerechnet werden, ergäbe dies Gesamtkosten von 850 000 Franken für die rund 5000 Publikationen, die jährlich aus SNF-finanzierter Forschung stammen.

## ZITAT

«Mit so viel Energie, Enthusiasmus und Geld versucht man Mädchen für Naturwissenschaften zu motivieren. Doch weder sind die Initiativen evidenzbasiert noch funktionieren sie.»

So die Physikerin Jess Wade in The Guardian. Stattdessen kreierte sie 270 Wikipedia-Einträge über Wissenschaftlerinnen.

## NEWS

■ **Schweizer Unis sind nicht teuer**

Die ETH Zürich und die EPFL bieten eines der besten Preis-Leistungs-Verhältnisse im Bildungsbereich, wie eine Analyse von Swissinfo zeigt. Sie beeindrucken mit hohen Rankings (Platz 13 und 42) und verlangen nur bescheidene Studiengebühren (etwa 1200 Dollar). Vor ihnen liegen lediglich drei deutsche Universitäten (Heidelberg sowie LMU und TU München) sowie die unentgeltliche New Yorker Rockefeller University.

■ **Null Toleranz gegenüber Belästigung**

Der Wellcome Trust fördert Forschung, um die Gesundheit von Mensch und Tier zu verbessern. Nun verlangt der britische

Fonds von Forschungsinstitutionen, die sich um finanzielle Beiträge bewerben, die Einhaltung einer klaren Praxis gegenüber Belästigungen am Arbeitsplatz. Andernfalls sieht er Sanktionen bis zum Ausschluss von einer Unterstützung vor.

■ **Ethik: Europa zieht die Schraube an**

Die Europäische Kommission will sicherstellen, dass die internationale Zusammenarbeit nicht dazu genutzt wird, Forschung ausserhalb Europas durchzuführen, die dort aus ethischen Gründen zurückgewiesen würde. Für alle durch Horizon 2020 finanzierten Projekte gilt ein neuer Verhaltenskodex. Ziel ist die Einhaltung von Standards für Tierversuche sowie



# Schlummernde Schätze

Die naturhistorischen Sammlungen in der Schweiz beherbergen über 60 Millionen Objekte aus der ganzen Welt. Da aber nicht einmal ein Fünftel davon digitalisiert wurde, ist der wissenschaftliche Zugang zu ihnen erschwert.

Text: Simon Jäggi, Illustrationen: 1kilo

**O**b Goldnuggets aus Graubünden, ein Quastenflosser aus dem Tessin oder Blumen aus dem Zürcher Oberland: Naturhistorische Sammlungen sind unverzichtbare Quellen unseres Wissens über die Erdgeschichte. Sie erzählen von der Ausbreitung der Arten, der Entstehung der Biodiversität und vom Einfluss des Menschen auf die Umwelt.

Die Schweizer Sammlungen umfassen weit über 60 Millionen Tiere, Pflanzen und Pilze, Steine, Knochen, Versteinerungen und Bodenproben - manche davon älter als hundert Millionen Jahre. Die Objekte, die für die Öffentlichkeit zugänglich sind, bilden nur die Spitze eines gigantischen Eisbergs. Der grösste Teil der Sammlungen lagert im Verborgenen; in den Hinterräumen von Museen, in botanischen Gärten und Universitäten. Dabei haben die Schweizer Sammlungen weltweite Bedeutung. Nicht nur weil hierzulande viele Referenzexemplare lagern, sondern auch, weil die Sammlungen sehr weit zurückreichen, da sie nicht von Kriegen zerstört worden sind.

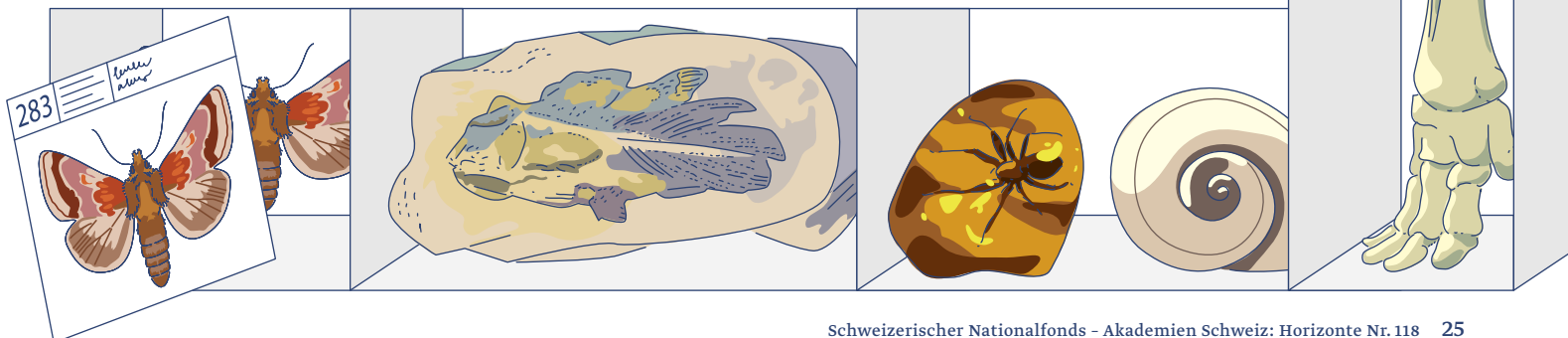
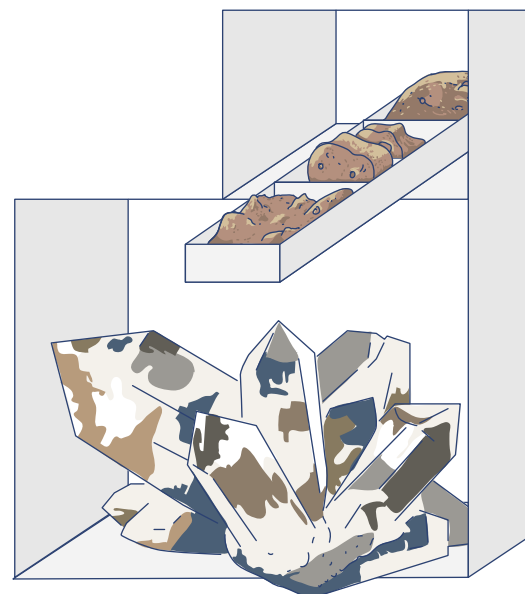
## Neue Technik, neues Erforschen

«Mit den zunehmenden Umweltproblemen werden Sammlungen immer wichtiger», sagt Pia Stieger von der Akademie der Naturwissenschaften. Die Biologin leitet eine Gruppe von Forschenden, die zurzeit einen Grundlagenbericht zu den naturhistorischen Sammlungen in der Schweiz verfasst. «Oft lassen sich nur in Sammlungen Umweltveränderungen über

Jahrzehnte hinweg dokumentieren und daraus Szenarien für die Zukunft ableiten.»

So wurde erst anhand von Eierschalen in naturhistorischen Sammlungen deutlich, wie sich Pestizide auf die Umwelt auswirken. Mit jeder technologischen Neuerung werden neue Auswertungen möglich. Forschende können die DNA oder die chemische Zusammensetzung von Objekten analysieren, neue Scanning-Technologien ermöglichen Einblicke ins Innere von Gesteinen und Pflanzen.

Schon heute spielen Sammlungen etwa bei der Erforschung des Klimas, der Biodiversität, der Schädlingsbekämpfung oder des Untergrunds eine wichtige Rolle. Doch ein grosser Teil des Potenzials liegt brach. Das Problem: Nur gut 17 Prozent der Objekte sind digital erfasst. In den meisten Museen fehlt es an ausgebildetem Personal, das sich angemessen um die Sammlungen und die Klassifizierung und Digitalisierung der Objekte kümmern kann. «In manchen Institutionen lagern Kisten voller unsortierter Stücke, weil es an Ressourcen und Fachkräften fehlt, welche die Exemplare einordnen und beschriften können», sagt Pia Stieger. «Wir brauchen einen Investitionsschub, um aus den Sammlungen eine wirklich effiziente Forschungsinfrastruktur zu machen.» Die Europäische Union ist übrigens bereits einen Schritt weiter: Sie hat die naturhistorischen Sammlungen soeben auf die Liste der prioritären Forschungsinfrastrukturen gesetzt.

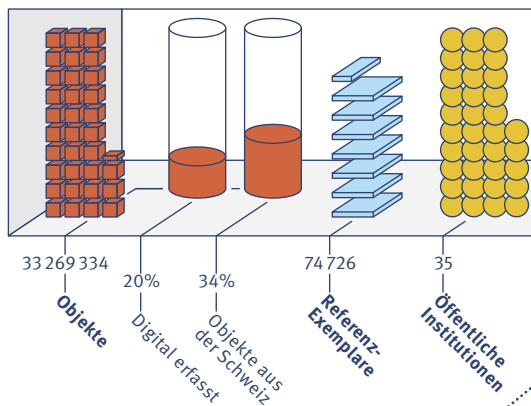


# Die Setzkästen der Naturgeschichte

Erstmals liegen solide Zahlen zu den naturhistorischen Sammlungen der Schweiz vor. Sie sind grösser als bisher gedacht und enthalten besonders viele Referenzexemplare: Funde, die zur Erstbeschreibung neuer Arten oder Gesteine geführt haben. Ein Blick auf Forschungsprojekte, die ohne diese Sammlungen nicht möglich gewesen wären.

## Zoologie

Tiere in Gläsern, auf Nadeln oder ausgestopft, aber auch Eierschalen, Schneckenhäuser und gar Trophäen lagern in zoologischen Sammlungen der Schweiz.

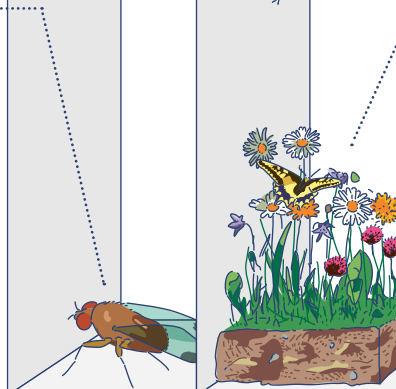
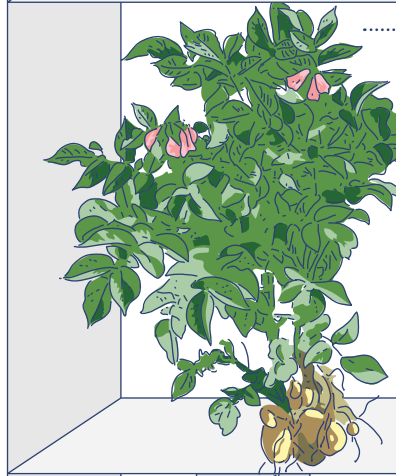
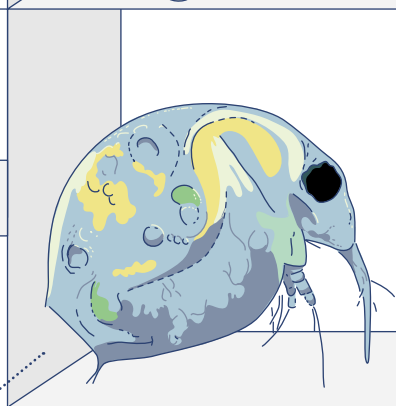
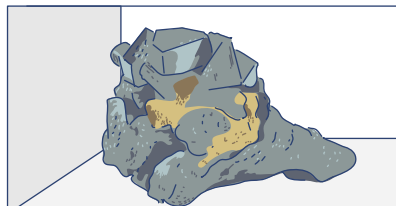


### Kein Krebs zu klein

Flohkrebse sind in aquatischen Ökosystemen wichtig. Sie bauen Laubstreu ab und sind gutes Fischfutter. Lange wusste man wenig über ihre Verbreitung. Vor vier Jahren starteten das Bundesamt für Umwelt und das Forschungsinstitut Eawag eine Studie zur Verbreitung von Flohkrebse in der Schweiz. Sie analysierten Proben von über 2500 Gewässerabschnitten und untersuchten konservierte Exemplare in mehreren Museen. Nach Projektabschluss sollen die neuen Nachweise im Kantonalen Zoologischen Museum Lausanne aufbewahrt werden. So sollen Forschende auch in Zukunft rückverfolgen können, wie sich die Organismengemeinschaften in Gewässern verändert haben.

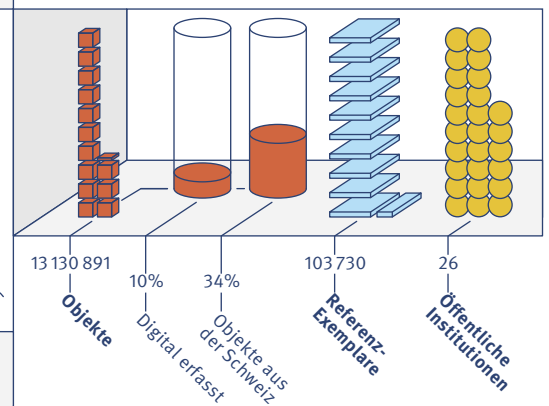
### Saure Früchte

Die Kirschessigfliege macht Bauern das Leben schwer. Das Tier, das aus Südostasien stammt, befällt reife Früchte und breitet sich seit rund sieben Jahren in der Schweiz aus. Da sich die Art sehr rasch vermehrt, kann sie ganze Ernten vernichten. Forschende von Agroscope haben jüngst eine in der Schweiz neue Schlupfwespe entdeckt und anhand der Sammlungen des Naturhistorischen Museums Bern bestimmt. Die Art *Vrestovia fidenas* ist ein natürlicher Feind der Kirschessigfliege und könnte einen Beitrag zu deren Bekämpfung leisten.



## Botanik und Mykologie

Getrocknete Wild- und Kulturpflanzen, Samen, Früchte und Pilze: Botanische Sammlungen dokumentieren den Wandel der Natur und des Kulturlandes.



### Korrekte Kartoffelkunde

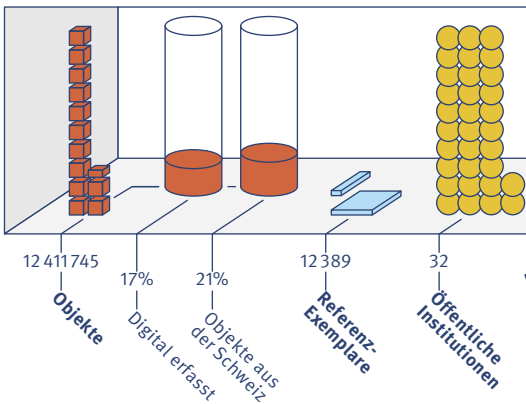
Über die Herkunft der heute in Europa kultivierten Kartoffel wurde viel gestritten. Stammen sie aus dem Hochland der Anden oder aus dem chilenischen Tiefland? Um die Frage zu klären, analysierten Forschende über 50 Blattproben aus 11 europäischen Herbarien, die zwischen 1720 und 1910 konserviert worden waren, darunter jene aus Basel, Genf und Zürich. Demnach stammten die ersten eingeführten Kartoffelsorten aus den Anden. Bereits vor der grossen Krise wegen der Kartoffelfäule um 1850 in Irland sowie auf dem europäischen Festland dominierten in der Landwirtschaft jedoch Kartoffelsorten aus dem chilenischen Tiefland.

### Artenschwund in Zürich

Wie hat sich die Flora im Kanton Zürich in den vergangenen hundert Jahren verändert? Um diese Frage zu klären, startete die Zürcherische Botanische Gesellschaft ein Citizen-Science-Projekt. Seither haben 150 Freiwillige über 100 000 Pflanzen an neuen Standorten beobachtet und 35 000 Belege aus den Sammlungen der Universität und der ETH Zürich digitalisiert. Die Auswertung der Daten ist noch nicht abgeschlossen. Demnach hat sich die Flora stark verändert. Seit 1900 sind rund fünf Prozent der Farn- und Blütenpflanzenarten verschwunden und fünf Prozent neue Arten hinzugekommen. Die Verbreitung etwa jeder zweiten Art hat im selben Zeitraum stark abgenommen.

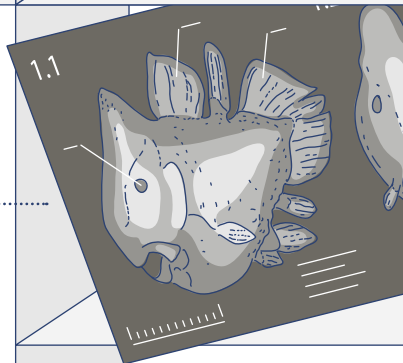
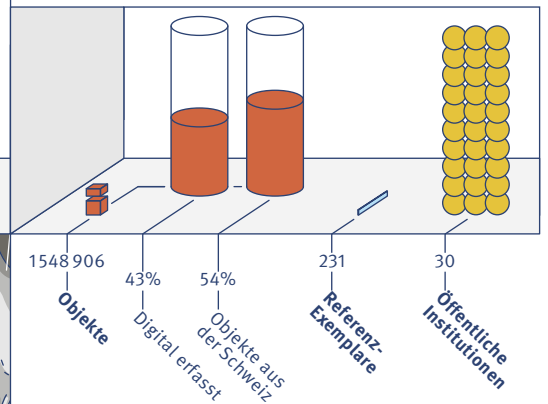
## Paläontologie

Mammuts und Dinosaurier sind die Renner der Museen. Die paläontologischen Sammlungen umfassen aber noch viele andere zoologische und botanische Objekte aus längst vergangenen Epochen.



## Geologie

Kristalle, Steine, Meteoriten, Bodenproben: Die geologischen Sammlungen geben der Geschichte der Erde und anderer Planeten ein Gesicht.

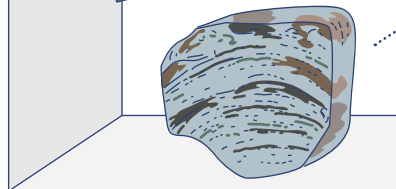


### Exot in den Alpen

Paläontologen haben in Graubünden ein Fossil einer neuen Quastenflosser-Art (*Foreyia maxkuhni*) gefunden, ein Knochenfisch, der das Meer schon seit 400 Millionen Jahren bevölkert. Das entdeckte Exemplar fällt durch einen speziellen Kopf auf, der die Form einer Kuppel hat, durch einen kurzen Körper und ein sehr kleines Maul. Der Fisch lebte wohl eher nicht in tiefen Gewässern wie seine heute lebenden Verwandten, sondern in Küstennähe. Untersucht wurde das 240 Millionen Jahre alte Fossil mit Computertomografie. Der Fund ist spektakulär: Die bisherige Theorie, wonach sich Quastenflosser über Jahrtausende kaum verändert haben, ist damit überholt.

### Säugetiere im Wandel

In Seesedimenten der Südschweiz lagern mehrere Tausend Jahre alte Nadelhölzer. Forschende der Universität Lausanne haben deren Erbgut analysiert. Die Daten zeigen, wie sich die Ausbreitung der ersten Agrargesellschaften auf die Weisstannen auswirkte. Nun wollen Forschende des Naturhistorischen Museums in Genf mit derselben Methode Knochen von Säugetieren wie Rentieren und Steppenbisons untersuchen. Die genetische Analyse soll zeigen, wie sich Umweltveränderungen auf grosse Säugetiere ausgewirkt haben.

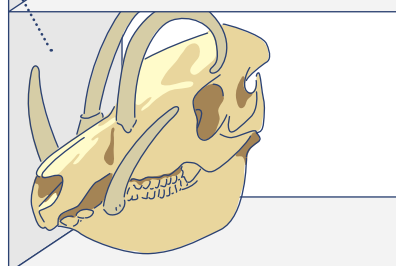
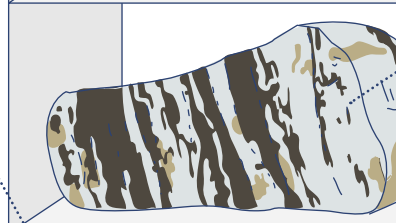


### Lebensspuren in Marssteinen?

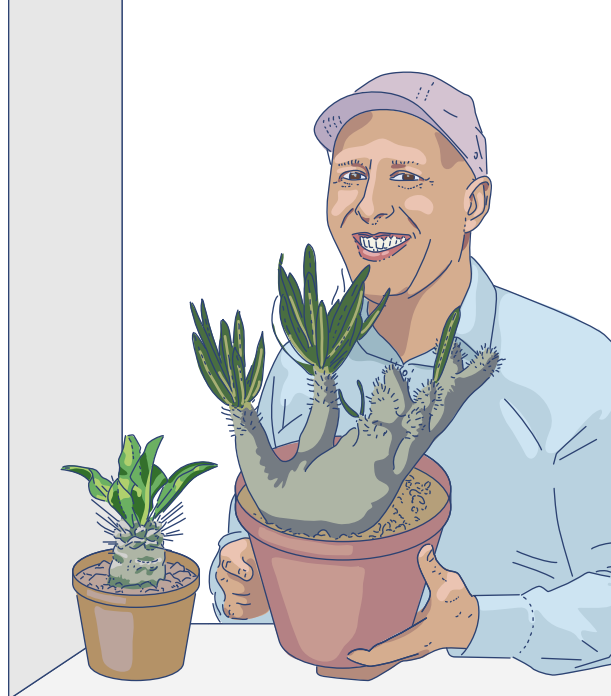
Im Sommer 2020 wird mit der Marssonde Exomars eine Nahaufnahmekamera zu unserem Nachbarplaneten fliegen. Bereits vor 20 Jahren haben die Forscher in ihren Gesteinssammlungen nämlich Spuren von Mikroben entdeckt, die unter extremen Bedingungen tief im Gestein gelebt haben. Ein Team des Space Exploration Institute in Neuenburg hat nun eine neue Kamera entwickelt, die auf dem Mars Bilder von Gesteinen, Sedimenten und Bohrkernen in höchster Auflösung anfertigen und so Hinweise finden könnte, ob es auf dem Mars früher Leben gab.

### Hält die Tunneldecke?

Beim Grossbrand im Mont-Blanc-Tunnel im Jahr 1999 starben mehr als 30 Personen. Es hatten sich Temperaturen von über 1000 Grad Celsius entwickelt. Kurz nach dem Unglück bestand deswegen grosse Unsicherheit, ob die Tunneldecke halten würde. Bevor man die Bergungs- und Aufräumarbeiten durchführen konnte, musste man die Beschaffenheit des Gesteins im Brandabschnitt genau kennen. Experten konsultierten dafür rund 500 Gesteinsproben im Museum für Geologie in Lausanne, die während des Tunnelbaus entnommen worden waren. Das Museum verfügt über eine einzigartige Sammlung von fast 15 000 Gesteinsproben aus dem Mont-Blanc-Massiv



# «Es ist schwierig, heute zu beurteilen, welche Objekte in Zukunft von Bedeutung sein werden»



**Reto Nyffeler leitet an der Universität Zürich das grösste Herbarium der Schweiz. Er sagt, die föderale Struktur der Schweiz bremse die Aufbereitung und Digitalisierung der Sammlungen.**

*Interview von Simon Jäggi*

**Reto Nyffeler, Sie sind verantwortlich für eine Sammlung mit drei Millionen Objekten. Wie behalten Sie den Überblick?**

Indem wir akribisch Ordnung halten. Die Objekte sind wie in einem Karteikasten nach ihrer Klassifikation, also nach Familien, Gattungen und Arten alphabetisch geordnet. Was aktuell fehlt, ist die digitale Erfassung der Sammlungsbestände, die ganz neue Zugänge ermöglichen würde. Daran arbeiten wir.

**Was tragen die naturhistorischen Sammlungen heute noch zur Forschung bei?**

Eine Sammlung ist wie eine Bibliothek, statt Papier sind es konservierte Organismen mitsamt Angaben zu Fundort und Sammelzeitpunkt. Weltweit beherbergen naturhistorische Sammlungen drei Milliarden konservierte Organismen. Das ist eine riesige Stichprobe der belebten Welt. In der Wissenschaft stellen sich immer wieder neue Forschungsfragen, die anhand dieser Bibliothek beantwortet werden können. Da es zunehmend schwieriger wird, Bewilligungen zum Sammeln in der Natur zu erhalten, steigt auch die Nachfrage nach Material aus diesen Sammlungen.

**Insgesamt beherbergen Schweizer Sammlungen mehr als 60 Millionen Objekte. Wäre es nicht einfacher, man hätte weniger?**

(lacht) Ja, aber wie auswählen? Diese Objekte sind alle einmal aus bestimmten Gründen gesammelt worden. Es gab in der Geschichte immer unterschiedliche Einschätzungen, welche Objekte wirklich wichtig sind und welche nicht. Es ist schwierig, heute zu beurteilen, welche

Objekte in Zukunft für die Wissenschaft von Bedeutung sein werden.

**Wie gehen Sie bei der Digitalisierung der Sammlung vor?**

Pro Jahr erfassen wird rund 100 000 Objekte. Jedes Sammlungsstück wird dafür mit einer hoch auflösenden Kamera fotografiert und erhält einen Strichcode, der dazugehörige Datensatz wird in eine Datenbank aufgenommen. Dafür arbeiten wir mit Freiwilligen der Botanischen Gesellschaft zusammen. Insgesamt haben wir so knapp zehn Prozent der Sammlung erfasst.

«In Frankreich beispielsweise gab die Regierung für wenige Jahre sehr viel Geld für die Digitalisierung von Sammlungen aus.»

**Können die Objekte nach der erfolgten Digitalisierung aussortiert werden? Schliesslich wären die Informationen ja dann in der Datenbank vorhanden.**

Es besteht immer wieder Bedarf, auf das konservierte Objekt selbst zurückzugreifen. Neue Technologien ermöglichen neue Erkenntnisse. Gewisse Informationen sind nur am Objekt vorhanden, beispielsweise die DNA und chemische Inhaltsstoffe.

**Schweizweit sind nur gut 17 Prozent der Sammlungsobjekte elektronisch zugänglich. Weshalb tut sich die Schweiz mit der Digitalisierung so schwer?**

Die Institute sind wenig vernetzt. In Frankreich beispielsweise gab die Regierung für wenige Jahre sehr viel Geld für die Digitalisierung von Sammlungen aus. In der Schweiz mit ihren regionalen Strukturen geht es etwas langsamer voran. Dafür gibt es bei uns mehr Raum für das gründliche Ausarbeiten der Projekte und das Lernen aus Fehlern.

**Wie wichtig ist denn die Digitalisierung?**

Die Objekte stehen erst für aktuelle Forschungsfragen zur Verfügung, wenn die Digitalisierung wesentlich weiter fortgeschritten ist. Mindestens die Hälfte bis zwei Drittel müssten digital erfasst und mit Geokoordinaten hinterlegt sein, um anhand grosser Stichproben neue Analysen durchführen zu können. Ein Beispiel für eine solche Forschungsfrage: Wie hat sich die Zusammensetzung der Flora während der vergangenen Jahrzehnte verändert, und welchen Einfluss könnte diese Veränderung auf den beobachteten Rückgang der Insektenvielfalt haben?

# «Das war Politik hautnah»

Eine Archäologin im Bundeshaus – Passt das zusammen? Interview mit der ehemaligen Politikstipendiatin Daniela Ruppen, die heute im Eidgenössischen Departement für auswärtige Angelegenheiten EDA tätig ist.

Interview von This Rutishauser

## Daniela Ruppen, was hat Sie am Innenleben des Bundeshauses beeindruckt?

Wie die Kommissionen funktionieren. Besonders fasziniert hat mich damals der Austausch zwischen den Kommissionsmitgliedern und den jeweils anwesenden Bundesräten und Bundesrätinnen, die ihre Geschäfte sozusagen verkaufen wollten. Heute arbeite ich im Aussendepartement und verstehe nun die Arbeit und Dynamik viel besser, die es braucht, bis ein Bundesrat mit Argumenten vor den Kommissionsmitgliedern bestehen kann.

## Hat Sie etwas an der Kommissionsarbeit überrascht?

Bei grossen Vorlagen werden die Mehrheiten bereits vor der Kommissionssitzung gemacht. Bei kleineren Geschäften hingegen habe ich persönlich erlebt, wie diese während der Sitzungspausen geschmiedet wurden. Das war Politik hautnah. Überrascht war ich auch, wie Politiker je nach Funktion ihre Rolle ändern und anders auftreten.

## Was hat Ihnen die Zeit im Parlament gebracht?

Das Verständnis praktischer Parlamentsarbeit und davon, wie Kommissionen und die Politik funktionieren, hat mir geholfen, meine aktuelle Stelle zu finden.

«In der Mittelschule lernte ich in Privatstunden Altgriechisch.»

## Archäologie studieren und im Bundeshaus arbeiten: Wie haben Sie Ihren eigenen Rollenwechsel erlebt?

Ich hatte keine grosse Mühe damit, vom Forscherslang in den Politikjargon zu wechseln. Schon während des Studiums habe ich in einem kleinen Team die Rezeption der Antike im 18. Jahrhundert erforscht und diese in der Universitätsbibliothek in Basel in einer Ausstellung einem breiten



Ihr Herz schlägt trotzdem noch für Ötzi – Archäologin Daniela Ruppen arbeitet an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Politik. Bild: Valérie Chételat

Publikum zugänglich gemacht. Das Eindenken in verschiedene Epochen, Menschen und Vorstellungen habe ich lange geübt.

## Wie wird aus einer Oberwalliserin eine klassische Archäologin mit Dokortitel?

Als ich in der Primarschule war, wurde uns der Beruf des Archäologen vorgestellt. Sofort wollten wir alle Archäologinnen werden. Mich hat diese Faszination nie verlassen. In der Mittelschule lernte ich in Privatstunden Altgriechisch. Fürs Studium bin ich nach Basel gegangen. Ich bin meinen Eltern dankbar, dass sie mich in meinem Traum, Archäologie zu studieren, immer aktiv unterstützt haben.

## Wie profitieren Sie von Ihrem geisteswissenschaftlichen Studium?

Im Archäologiestudium habe ich mir viel Fachwissen angeeignet, das mich persönlich geprägt hat, jedoch heute für meine tägliche Arbeit nicht sehr wichtig ist. Aber ich kann dank dem geisteswissenschaftlichen Studium grosse Mengen an Informationen verarbeiten, schnell lesen, verstehen und einordnen und ebenso schnell schreiben. Analysen und Synthesen fallen mir leicht, genauso wie das Aufbereiten von Texten für ein spezifisches Publikum.

## Möchten Sie nicht wieder auf archäologischen Grabungsstätten arbeiten?

Ich habe grosse Freude an meiner aktuellen Arbeit im Aussendepartement. Auf Bergtouren sehe ich jedoch die schmelzenden

Gletscher und die wachsenden Gletschervorfelder: Auf so einem wurde vor einigen Jahren Ötzi gefunden. Da schlägt mein Archäologinnen-Herz höher, und es würde mich natürlich reizen, bei weiteren Entdeckungen dabei sein. Meine berufliche Zukunft liegt aber ausserhalb der Archäologie an der Schnittstelle von Politik und Wissenschaft.

This Rutishauser ist freischaffender Journalist in Bern.

## Nach der Hochschule in die Politik

Die Stiftung Wissenschaftliche Politikstipendien ermöglicht Abgängerinnen und Abgängern von Schweizer Hochschulen, die Funktions- und Arbeitsweise der Schweizer Politik kennenzulernen und in Kommissionssekretariaten mitzuarbeiten. Sie sollen ihr Wissen und ihre Erfahrung in der Vermittlung zwischen Politik und Wissenschaft anwenden können. Die Stiftung hat seit 2006 37 Stipendien für 12 bis 15 Monate vergeben. Aufgebaut von den Akademien der Wissenschaften Schweiz mit Unterstützung der Gebert Rütli Stiftung, wird sie heute aus Beiträgen vom Parlament und verschiedener Forschungsorganisationen finanziert. [www.politikstipendien.ch](http://www.politikstipendien.ch)



## Schikanen im Elfenbeinturm

Die Abhängigkeit der Doktorierenden von ihren Doktorvätern und -müttern ist gross und führt immer wieder zu Mobbing. Welche Massnahmen könnten Machtmissbräuche verhindern?

*Von Michael Furger*

**D**ie Zeit an der ETH war für sie die dunkelste Episode ihrer Karriere, sagte eine ehemalige Doktorandin am Institut für Astronomie der ETH Zürich im Herbst 2017 in der «NZZ am Sonntag». Über zehn Jahre lang soll eine Professorin ihre Doktorierenden schikaniert haben. Betroffene berichten von Beleidigungen, ständiger Erreichbarkeit und Sitzungen bis weit nach Mitternacht, in denen es weniger um die Forschung gegangen sei als um zwischenmenschliche Belange.

Das Institut wurde stillgelegt, eine Untersuchung eingeleitet und die Professorin vorübergehend freigestellt. Bald darauf wurden weitere Mobbingfälle öffentlich. Und eine Umfrage der akademischen Vereinigung des Mittelbaus der ETH förderte jüngst zutage, dass sich jeder vierte Doktorierende als Opfer von Machtmissbrauch betrachtet.

Es ist unwahrscheinlich, dass die ETH die einzige Hochschule mit derartigen Problemen ist. Hinter vorgehaltener Hand deuten Angehörige anderer Hochschulen ähnliche Fälle an. Haben die Schweizer Hochschulen ein Führungsproblem auf Stufe der Professorinnen und Professoren?

### Starke Professoren ...

Klar ist: Machtmissbrauch im Hochschulbetrieb ist kein neues Phänomen. Das Abhängigkeitsverhältnis der Doktorierenden von Doktorvätern oder -müttern liegt in der humboldtschen Tradition begründet und kann auch positive Folgen haben. «Ein Professor ist nicht nur ein Vorgesetzter, sondern im besten Fall auch ein Förderer», sagt Bildungsökonom Stefan Wolter, Direktor der Koordinationsstelle für Bildungsforschung.

«Man befindet sich in einer Seilschaft, in der der Chef Gehorsam einfordert.»

Stefan Wolter

Akademische Karrieren hängen auch heute noch davon ab, welcher Professor die Doktorarbeit betreut habe. «Ein Doktorand kommt aus einem bestimmten Stall», sagt Wolter. Die Beziehungen und der Ruf des Professors könnten nach der Dissertation Türen öffnen. Dafür nähmen Doktorierende auch schwierige Persönlichkeiten in Kauf. «Oft weiss man schon vorher, worauf man sich bei einem Professor einlässt.»

Dieses Abhängigkeitsverhältnis ist keine universitätstypische Erscheinung. Bildungsökonom Wolter hat viele Jahre

bei einer Grossbank gearbeitet und dort vergleichbare Strukturen beobachtet. «Man befindet sich in einer Seilschaft, in der der Chef Gehorsam einfordert.» Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter fügten sich, weil die eigene Karriere davon abhängt. «Wird der Vorgesetzte befördert, dann wechseln die Mitarbeiter mit ihm.»

### ... schwaches Rektorat

An einer Hochschule kommen Faktoren dazu, die Rektorat und Präsidium allenfalls zögern lassen, gegen einen fehlbaren Professor vorzugehen und damit Machtmissbrauch zu stoppen: der internationale Wettbewerb und die Macht der Professoren. Dass fachliche Brillanz und hervorragende Führungskraft nicht unbedingt das gleiche sind, ist bekannt. Spitzenkräfte aber, selbst wenn sie menschlich schwierig sind, will man nicht verlieren.

Zudem destabilisiert jedes Einschreiten gegen einen Professor die in der Schweiz systembedingt schwache Position der Hochschulleitung. Die Professorenschaft solidarisiert sich oft mit dem betroffenen Kollegen. Exemplarisch dafür ist ein Fall an der Universität Zürich vor fünf Jahren. Im Zuge der Mörgeli-Affäre entliess der damalige Rektor eine vom Kollegium geschätzte Professorin. Der Protest war gewaltig. Der Rektor trat zurück.

Muss man Missbrauch und Führungsschwäche also einfach akzeptieren? Das gehe nur schon deshalb nicht, weil die Doktorierenden heute ein anderes Selbstverständnis hätten, sagt Antonio Loprieno, ehemaliger Rektor der Universität Basel. «Sie sind Kinder einer globalisierten Welt und lassen sich eine familienorientierte Herrschaft eines Doktorvaters weniger gefallen.»

Was also ist zu tun? Erstaunlicherweise spielt die Betreuungskompetenz bei Berufungen heute kaum eine Rolle. Erstaunlich deshalb, weil die Universitäten seit einiger Zeit die Lehrqualität jedes Dozierenden haargenau evaluieren lassen.

An eine Messung der Qualität bei der Doktoratsbetreuung hat man aber noch nicht gedacht. Dafür haben Hochschulen in den letzten Jahren zahlreiche Ombudsstellen und Anlaufstellen ins Leben gerufen. Doch sie greifen – wenn überhaupt – erst, nachdem der Machtmissbrauch bereits geschehen ist.

### Idee Doktoratsschulen

Vielleicht hilft ein Systemwechsel. Mit Doktoratsschulen, wie es sie auch in der Schweiz gibt, könnte man das Abhängigkeitsverhältnis brechen. Die Kandidierenden bewerben sich bei einer Schule und nicht bei einem Professor, betreut wird die

Dissertation von einem Mentor. «Doktoratsschulen könnten ein Mittel gegen den Machtmissbrauch sein», sagt Caspar Hirschi, Geschichtsprofessor an der Universität St. Gallen. «Faktisch sind sie es nicht.»

Bei der Einführung sei nämlich passiert, was in der Schweiz bei Reformen üblicherweise passiere: Man habe neue Strukturen aufgebaut, ohne die alten abzureissen. Denn anders als etwa in den USA oder Deutschland erhalten Doktorierende beim Eintritt in ein Programm nicht automatisch eine Finanzierung für die Dissertationsphase.

Sie müssen sich folglich als Assistent oder Projektmitarbeiterin bei einem Professor anstellen lassen – der dann als Betreuer, Gutachter und bei Publikationen oft auch als Co-Autor fungiert. So wird die alte Abhängigkeit wieder hergestellt. Lösen lasse sich dieses Problem nur, sagt Hirschi, wenn man eine Finanzierung zusichert und Betreuung und Begutachtung personell trenne.

Wirksamer wären aus seiner Sicht Doktorandenkomitees, wie sie im Ausland verbreitet sind. Doktorierende werden von einem Team von Professoren und Professorinnen betreut. Dieses System entspringt einer amerikanischen Universitätskultur mit einer starken obersten Leitung. Mit einer «Diktatur der Professoren» habe man in einem solchen System kaum Probleme, sagt Antonio Loprieno. «Die Mobbing-Affäre an der ETH wäre mit Komitees nicht passiert.»

Dieses System verlangt allerdings «ein hohes Mass an Steuerung und Regulierung», sagt Caspar Hirschi. Nur so könne man sicherstellen, dass sich die Professoren im Komitee wirklich für den Doktoranden oder die Doktorandin zuständig fühlen. In Skandinavien werde es erfolgreich praktiziert, für die Schweiz sei ein solches Regime aus kulturellen Gründen schwer durchsetzbar. Hirschi würde das englische Modell bevorzugen. Es sieht einen Betreuer und zwei Begutachter vor – einer intern, einer extern. «Ein schlankes Modell mit klaren Verantwortlichkeiten.»

So schnell wird aber auch dieses Modell nicht an Schweizer Hochschulen eingeführt. Loprieno beobachtet zwar gegenwärtig eine Phase des Übergangs. Doch die dauern in der Schweizer Bildungslandschaft in aller Regel ziemlich lange.

Michael Furger ist Ressortleiter Hintergrund bei der NZZ am Sonntag.

# Züchter der künstlichen Netzhaut

Der Neurobiologe Botond Roska versteht das Sehen zutiefst mathematisch und entwickelt neuartige Gentherapien für das Auge. Treffen mit einem Getriebenen. Von Simon Jäggi

**S**eine wissenschaftlichen Kollegen beschreiben Botond Roska in Superlativen: atemberaubend, einzigartig, brillant. Die Forschung des 48-jährigen Neurobiologen zur menschlichen Netzhaut sorgt weltweit für Aufsehen. In den vergangenen Monaten ist es ihm und seinem Team gelungen, im Reagenzglas eine künstliche und voll funktionsfähige Netzhaut zu züchten. Ein wissenschaftlicher Meilenstein.

Der freundliche Mann mit Brille und blauem Poloshirt am gut bewachten Eingang des Novartis-Campus in Basel stellt sich vor: «Hallo, ich bin Botond.» Der gebürtige Ungar führt vorbei an Bauten von internationalen Stararchitekten in den hinteren Teil des Areals. Dort hat das von ihm und dem Chefarzt der Augenklinik am Universitätsspital Basel im Dezember 2017 gegründete Institut für molekulare und klinische Augenheilkunde (IOB) vor wenigen Wochen provisorisch die Labors bezogen.

Mit dem Institut wird für Roska eine Vision zur Realität, die er seit mehreren Jahren verfolgt. «Wir wollen Grundlagenforschung und Medizin zusammenführen und so neuartige Behandlungsmethoden zur Anwendung bringen.»

Gemeinsam investieren die Universität Basel, das Universitätsspital sowie der Pharmakonzern Novartis jährlich rund 20 Millionen Franken in die Stiftung des Instituts. In den kommenden Jahren sollen über hundert Stellen und zehn neue Professuren entstehen.

Das grosse Interesse an Roskas Forschung hat handfeste Gründe. Mit der steigenden Lebenserwartung wird die Zahl der Menschen mit Augenerkrankungen in vielen Ländern exponentiell ansteigen. In der Augenheilkunde gab es in den vergangenen Jahrzehnten jedoch kaum medizinische Innovationen. Botond Roska will das ändern. «Ich möchte mit meiner Arbeit dazu beitragen, dass blinde Menschen ihre Sehkraft zurückgewinnen.» Im Kampf gegen Augenerkrankungen kombiniert der Spitzenwissenschaftler Nanotechnologie mit Mathematik und Neurowissenschaften.

## Zellen rechnen wie ein Supercomputer

Es war Roska, der erkannte, in welchen Zelltypen welche Krankheiten entstehen. «Wir sind heute in der Lage, Krankheiten zelltypspezifisch zu bekämpfen.» Dazu manipuliert er mit seinem Team Viren so, dass diese genetisch verändertes Material in die erkrankten Zellen transportieren. Mit diesem Ansatz sollen in Zukunft eine Vielzahl

von Seherkrankungen behandelt werden können, zum Beispiel die Stargardt-Krankheit und Retinitis pigmentosa - beides Netzhautdegenerationen.

Botond Roska setzt sich vor seinen Laptop und öffnet Bilder von der von ihm gezüchteten Netzhaut. Die Aufnahmen zeigen farbig markiert die verschiedenen Zelltypen, aus denen sie sich zusammensetzt. Rund 100 sind es. «Die Zellen sind wie unterschiedliche kleine Computer, die sich zu einem Supercomputer verbinden.» Roska spricht mit ansteckender Begeisterung über seine Forschung. Die Netzhaut, sagt er, sei ein Bildprozessor, der sich mathematisch vollständig erfassen lasse. «Mein Verständnis ist zutiefst mathematisch. Ich liebe die Klarheit dieser Sprache.» Was die Wissenschaft heute über die Funktionsweise der Netzhaut weiss, verdankt sie zu einem grossen Teil seiner Arbeit.

«Am Morgen denke ich nach, am Nachmittag spreche ich mit Menschen.»

Der Sohn einer Musikerin und eines Computerwissenschaftlers wuchs in Budapest auf. Roskas Leidenschaft galt der Musik. Er studierte Cello, bis eine Handverletzung seine Karriere vorzeitig beendete. Roska musste sich neu orientieren und begann ein Studium in Medizin und Mathematik. Nach dem Abschluss fühlte er sich jedoch nicht in der Lage, als Arzt zu arbeiten. «Ich wusste noch zu wenig über den menschlichen Organismus.»

Ein Bekannter seines Vaters weckte bei einem Abendessen sein Interesse an der Netzhaut. Um diese zu verstehen, studierte und forschte er in den USA Neurowissenschaften, nahm eine Stelle als Teamleiter beim privaten Friedrich Miescher Institute an. Vor fünf Jahren setzte er sich ein neues Ziel: «Ich sagte mir, ich möchte erreichen, dass mindestens eine meiner Entdeckungen die Medizin wesentlich voranbringt.»

Sich selber beschreibt Roska als Getriebenen. «Wenn ich wach bin, dann denke ich.» Einen grossen Teil seiner Zeit ist er auf Reisen. Allein in den vergangenen vier Wochen war er in Barcelona, Paris, Honolulu, Boston und Stanford. Fast jede zweite Woche spricht er auf einer Konferenz. «Der Austausch mit anderen Wissenschaftlern ist eine Voraussetzung für meine eigene Forschung», sagt er.

Ist Roska gerade nicht unterwegs, folgt sein Tagesablauf einer strengen Struktur. «Am Morgen denke ich nach, am Nachmittag spreche ich mit Menschen.» Nach dem Aufstehen löst er eine Stunde lang mathematische Probleme, Hirntraining nennt er das. Dann setzt er sich an den Tisch und denkt über seine Forschung nach - meistens in seiner Wohnung in Oberwil, etwas ausserhalb von Basel. Am Mittag setzt er sich auf sein Fahrrad und fährt in die Stadt.

Am Institut trifft er sich mit seinem Team, externen Forschenden, am häufigsten aber mit Hendrik Scholl. Die beiden sprechen jeden Tag miteinander, auch am Wochenende. «Wir stehen in ständigem Austausch. Nur so können wir die unterschiedlichen Kulturen aus Forschungslabor und Spitalmedizin miteinander vereinen.»

Freizeit gibt es im Leben von Botond Roska so gut wie keine. Nachdenken falle ihm leicht, sagt er lachend. «Was mir mehr Mühe bereitet, ist, sozial zu sein.» Unter grösseren Menschengruppen fühlt er sich leicht unwohl. Eine Pause von seiner Arbeit macht er manchmal und ausschliesslich am Sonntag. Dann spielt er Cello, hört Bach oder verbringt Zeit mit seiner Frau.

Basel, sagt Roska, sei für einen Biomediziner wie ihn der beste Forschungsplatz der Welt. Hier gebe es ausreichend finanzielle Mittel für seine Forschung, er liebe die Ruhe der Stadt und die Bescheidenheit der Menschen. «Ich denke, das ist der Weg zu einem erfüllten Leben: Arbeite, liebe, was du tust, und bleibe dabei bescheiden.» Dann muss er weiter zur nächsten Besprechung mit einem Forscherkollegen, es ist kurz vor 18 Uhr. Feierabend macht Botond Roska auch an diesem Tag noch lange nicht.

Simon Jäggi ist Journalist in Basel.

## Vom Cello zum Auge

Botond Roska, geboren 1969, studierte zuerst Cello, dann Mathematik und schliesslich Medizin in Budapest. Er promovierte in Neurowissenschaften an der University of California in Berkeley, forschte an der Harvard Medical School in Boston und kehrte nach Europa zurück als Gruppenleiter am Friedrich Miescher Institut in Basel. Dort gründete er auch das Institut für molekulare und klinische Augenheilkunde (IOB). Roska lebt mit seiner Frau und zwei von drei Kindern in Oberwil (BL).





# DNA-Jäger im Dienste des Artenschutzes

Einheimische Frösche und Molche werden von invasiven Arten und zerstückelten Lebensräumen bedroht. Genetische Methoden helfen, ihre Situation besser zu verstehen.

Von *Atlant Bieri*

**N**aturschutz ist eine Knochenarbeit. Forschende müssen ins Feld, um dort in trüben Tümpeln, irgendwo zwischen den Wasserpflanzen zum Beispiel einen Kammmolch zu finden. «Derart scheue Arten lassen sich mit reiner Feldbegehung nur schwer auffindig machen», sagt Benedikt Schmidt, Experte bei der Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz. Aus den spärlichen Sichtungen solcher Feldbegehungen müssen er und seine Kollegen Rückschlüsse über Verbreitung oder Wanderungen von Tieren ziehen.

Nun soll diese Arbeit dank den Methoden aus der molekularen Genetik um einiges leichter und zuverlässiger zu werden. Sie machen das Unsichtbare sichtbar und das Unzählbare zählbar. Vor allem bei den Amphibien werden verschiedene genetische Verfahren bereits eingesetzt.

Um die Vielfalt der Amphibien in einem Gewässer zu bestimmen, wird fortan nichts weiter als eine Wasserprobe benötigt. Frösche oder Molche geben über ihre Haut ständig Zellen oder Sekrete ab. Diese enthalten

«Besonders bei kleinen, fragmentierten Populationen gibt es irgendwann Inzucht und genetische Verarmung, was bis zu deren Aussterben führen kann.»

Janine Bolliger

Fragmente des Erbguts. Diese Umwelt-DNA (englisch: eDNA) lässt sich inzwischen zuverlässig im Wasser nachweisen.

Die Menge des Erbguts ist dabei unvorstellbar klein. «Am Ende nimmt man weniger als ein Schnapsglas voll mit ins Labor. Da ist natürlich nicht sehr viel DNA drin. Das heisst, man muss im Labor besonders sauber arbeiten», sagt Schmidt, der auch an der Universität Zürich forscht. Die Arbeit lohnt sich: Mit den genetischen Methoden kann die Artenvielfalt in den Schweizer Weihern zuverlässiger erfasst werden.

## Fremde Frösche finden

Die Einsatzmöglichkeiten erstrecken sich weit über blosser Bestandesaufnahmen hinaus. Bei der Überwachung des Vorrückens invasiver Arten brachte die Naturschutzgenetik Klarheit. Zum Beispiel bei der Gattung der Wasserfrösche. Viele Populationen der Schweiz sind nicht mehr rein, sondern bestehen aus Hybriden zwischen heimischen und eingeschleppten Arten. Manchmal befinden sich gar nur noch eingeschleppte Individuen in einem Gewässer. Sie ähneln einander jedoch so sehr, dass sie von blosserem Auge nicht auseinandergehalten werden können.

«Es handelt sich um eine schleichende Einwanderung, von der wir zwar schon lange wussten, deren Ausmass uns aber nicht bekannt war. Untersuchungen der eDNA zeigen, dass nur noch in einem Drittel aller Schweizer Gewässer rein einheimische Bestände leben», sagt Schmidt. Jetzt können Behörden ihre Schutzmassnahmen dort konzentrieren, wo sie den heimischen

Arten etwas bringen, anstatt ungewollt die Ausbreitung von invasiven Arten fördern.

Mit Naturschutzgenetik lassen sich nun auch zuverlässigere Aussagen darüber machen, wie stark sich Tiere in ihrem Lebensraum bewegen. «Beim Artenschutz ist es wichtig zu wissen, wie gut die einzelnen Populationen miteinander vernetzt sind», sagt Janine Bolliger, Landschaftsökologin an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Je mehr die Individuen einander begegnen, desto durchmischter sind auch ihre Gene. «Besonders bei kleinen, fragmentierten Populationen gibt es irgendwann Inzucht und genetische Verarmung, was bis zu deren Aussterben führen kann», so Bolliger.

## Bergmolch überwindet Autobahn

Um die Vernetzung zu erfassen, braucht es jedoch mehr als nur eine Gewässerprobe, sagt Rolf Holderegger. Er ist Leiter der Forschungseinheit Biodiversität und Naturschutzbiologie an der WSL. Dort arbeitet er seit über zwanzig Jahren mit Naturschutzgenetik. «Man nimmt dazu etwa einen Abstrich aus der Mundschleimhaut eines Froschs. Danach werden zwischen 10 und 15 Stellen auf der DNA untersucht», sagt Holderegger.

Solche Untersuchungen legen erstmals offen, wie gross der Austausch zwischen Populationen ist. «Wir können herausfinden, wer wohin gewandert ist», sagt die Landschaftsökologin Bolliger. Wenn ein Molch oder ein Frosch auf Wanderschaft geht, zeugt er unterwegs Nachkommen. Auf diese Weise hinterlässt er eine

**Das Erbgut aus der Mundschleimhaut von Bergmolchen zeigte: Für diese Art sind Strassen keine unüberwindbaren Hindernisse.**

Bild: S. Brodbeck/WSL



Art genetische Schleimspur, die sich quer durch die Landschaft zieht.

So lässt sich beispielsweise untersuchen, ob Strassen für Amphibien unüberwindbare Hindernisse sind und sie die Überlebenschance der Populationen verschlechtern. In einer Studie in der Umgebung von Aarau haben Bolliger und ihre Kollegen Abstriche von 2000 Bergmolchen in über 100 Tümpeln genommen.

Erstaunlicherweise gaben die genetischen Analysen in diesem Fall Entwarnung. «Zwar waren die Tiere, die in der Stadt lebten, genetisch klar verschieden von denen ausserhalb der Stadt, doch es gab zwischen beiden einen fließenden Übergang», sagt Bolliger. Das heisst, Bergmolche bewegen sich erfolgreich von einer zur anderen Seite der Autobahn, vermutlich durch kleine Durchlässe oder Unterführungen.

#### **Genetikset für Umweltbüros**

Trotz der neuen Möglichkeiten scheuten sich bis anhin viele Umweltbüros und kantonale Naturschutzämter vor der

Genetik – sei es, weil die Verfahren bis vor wenigen Jahren noch nicht serienreif waren oder weil die Mitarbeitenden einfach noch nie mit Genetik zu tun hatten. Robert Meier vom Ostschweizer Umweltbüro Arnal will die Berührungängste abbauen. Dazu hat er zusammen mit Bund und einigen Kantonen ein Werkzeugset entwickelt, das die nötigen Materialien enthält und Neueinsteigern erklärt, wie man genetische Proben nimmt. Die Tests und die Auswertung macht anschliessend ein spezialisiertes Labor.

In diesem Jahr werden zwischen 50 und 100 Sets verkauft. Die Kosten für eine Analyse belaufen sich auf rund 250 Franken. Das macht pro Teich weniger als 800 Franken. «Wenn man die Artenvielfalt allein mit Feldarbeit bestimmen wollte, ist man bei den Ausgaben für die Arbeitsstunden schnell im selben Bereich», sagt Meier.

Die traditionelle Feldbegehung wird von der Naturschutzgenetik vorerst jedoch nicht abgelöst. Holderegger von der WSL sieht sie mehr als Ergänzung, denn im

Feld schaut sich der Biologe auch den allgemeinen Zustand eines Gewässers an oder Umweltveränderungen, die einen Einfluss auf die Artenvielfalt haben könnten. Arten, die wie beispielsweise der Laubfrosch auf Sträuchern und Bäumen leben, fallen durchs Netz der «DNA-Jäger». «Eine Wasserprobe bringt da nicht viel», so Holderegger.

Atlant Bieri ist freier Wissenschaftsjournalist in Pfäffikon (ZH).

#### **DNA-Strichcode**

Um Arten zu bestimmen, suchen Naturschutzgenetiker nach einer ganz bestimmten, kurzen Sequenz in den Fragmenten der DNA. Diese ist bei jeder Art vorhanden, unterscheidet sich aber an spezifischen Stellen. Vergleichbar mit dem Strichcode auf einer Verpackung im Verkauf kann mit dem sogenannten «DNA-Barcode» eine Art schnell und zuverlässig bestimmt werden.

# Daten anhäufen gegen Ernteverluste

Trockenheit und Hitze fügen der Landwirtschaft grosse Schäden zu. Damit die Bauern künftig die richtigen Pflanzen zum richtigen Zeitpunkt einsetzen, entwickeln Forschende Prognosemodelle.

Von Florian Fisch

**W**eniger Schnee im Winter, längere Trockenperioden im Sommer: Das Wasser wird knapper. Das Szenario verheisst nichts Gutes für Bäuerinnen und Bauern. Beispielsweise wurde in diesem Juli im Thurgau die Wasserentnahme in Bächen, Flüssen und Weihern verboten.

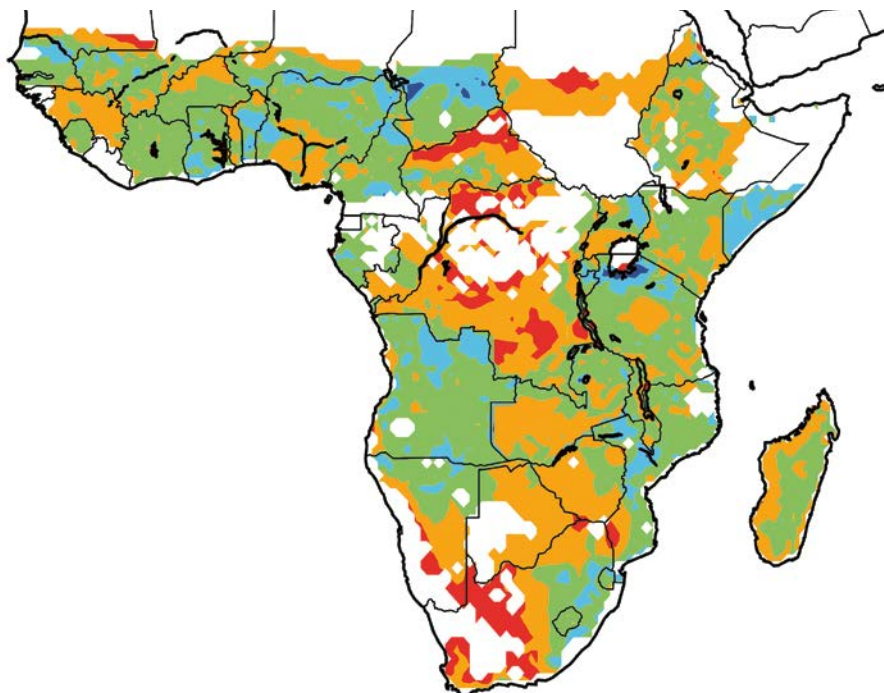
Das Bundesamt für Umwelt (Bafu) und die Kantone haben deshalb mehrere Pilotprojekte gestartet, um die Wassernutzung zu koordinieren und die Landwirtschaft an die sich verändernden Bedingungen anzupassen – etwa mit Hilfe von Karten zu Risikogebieten für Wasserknappheit und Zehntagesprognosen zur Optimierung der Bewässerung.

Noch schwieriger ist die Situation in Afrika: «Durch den Klimawandel und die dadurch häufiger werdenden extremen Wetterereignisse wird sich die Situation in den meisten afrikanischen Ländern wahrscheinlich verschlechtern», sagt Hong Yang vom Wasserforschungsinstitut Eawag in Dübendorf. Yang entwickelte deshalb zusammen mit Forschenden aus mehreren Schweizer Hochschulen ein Modell, mit dessen Hilfe die Trockenheitsgefährdung in einer Region mit der Anfälligkeit der jeweiligen landwirtschaftlichen Kulturen verknüpft werden kann.

Als Fallbeispiel haben die Forschenden den in Afrika verbreiteten Mais gewählt. In ihr Modell fliessen viele unterschiedliche Daten ein, zum Beispiel zur landwirtschaftlichen Praxis, etwa wann gepflanzt und geerntet und ob gedüngt wird. Dazu kommen auch geografische Daten wie Sonneneinstrahlung und Hanglage sowie solche über die Bodenbeschaffenheit und das tägliche Wetter. Quellen dafür sind die Welternährungsorganisation und die Weltorganisation für Meteorologie.

«Vielleicht erhalten Bauern zwar eine Frühwarnung, passen aber das Pflanzdatum trotzdem nicht an, weil sie der Information nicht trauen.»

Chinwe Ifejika Speranza



In den rot markierten Regionen ist die Maisernte am meisten gefährdet. In der Sahelzone und im Süden des Kontinents ist es zu trocken, in Zentralafrika zu heiss. Bild: Bahareh Kamali/Eawag

Auf diese Weise konnten die Forschenden den gesamten afrikanischen Kontinent südlich der Sahara in kleine Regionen von zirka 50 mal 50 Kilometern unterteilen und erkennen, wo welche Faktoren die Ernte am meisten bedrohen. So regnet es in der Sahelzone und im südlichen Teil des Kontinents eher zu wenig, während in Zentralafrika eher die hohen Temperaturen das Problem sind, weil dann mehr Wasser durch die Blätter der Pflanzen verdunstet.

«Diese Arbeit ist sehr theoretisch und kompliziert», gibt Yang unumwunden zu. Trotzdem sei sie nützlich: «Zwar wird viel darüber diskutiert, wie anfällig Nutzpflanzen auf Trockenheit sind, aber kaum jemand misst das. Wir wollen diese Grösse auf eine konsistente Art quantifizieren.»

## Es braucht Beratungsstellen

Doch kann von diesen Modellresultaten wirklich jemand profitieren? Für Chinwe Ifejika Speranza, Professorin für Geografie an der Universität Bern, ist die Antwort klar: Ja. Sie präzisiert aber: «Nicht auf lokaler Ebene, sondern bei nationalen Planungen. Einzelne Landwirtschaftsbetriebe bräuchten detailliertere und auf ihre Situation zugeschnittene Informationen.» Meistens seien in Entwicklungsländern sowieso die sozialen und ökonomischen Bedingungen der Bäuerinnen und Bauern massgebend. «Vielleicht erhalten sie zwar eine Frühwarnung, passen das Pflanzdatum aber trotzdem nicht an, weil sie der

Information nicht trauen oder kein Geld haben, um das richtige Saatgut zu kaufen.»

Damit die Landwirte das neu gewonnene Wissen in ihren Alltag integrieren, bräuchten sie den Austausch mit lokalen und anwendungsorientierten Forschenden und Landwirtschaftsberaterinnen sowie den Theoretikern hinter solchen Simulationen. Gerade deshalb findet Pierluigi Calanca von der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Agroscope die Arbeit von Hong Yang interessant. Weil sie die Trockenheitsgefährdung mit der Anfälligkeit der Kulturen verbinde, sei «die Idee für den Austausch mit Anspruchsgruppen geeignet, denn sie erlaubt zu trennen, welchen Einfluss das Klima und welchen die Bewirtschaftung auf die Verwundbarkeit der Produktion haben.»

Dies wiederum funktioniert auch in der Schweiz. Calanca war an einigen Pilotprojekten des Bafu beteiligt. Für ihn sind landwirtschaftliche Beratungsstellen – kantonale oder private – der richtige Ort, um Anbaustrategien zwischen Forschenden, Beratern und Bäuerinnen auszutauschen. «Schliesslich braucht es die persönlichen Kontakte.»

Florian Fisch ist Wissenschaftsredaktor beim SNF.

B. Kamali et al.: Spatial assessment of maize physical drought vulnerability in sub-Saharan Africa: Linking drought exposure with crop failure. Environmental Research Letters (2018)



Regelmässiger Kaffeekonsum macht schläfrig – beim Entzug.

### Kein Koffein-Kick bei Dauerkonsum

**D**ie akuten Effekte einer einmaligen Dosis Koffein, des wachmachenden Wirkstoffs im Kaffee oder Energy-Drink, sind gut erforscht. Doch wie sich regelmässiger Konsum auswirkt, war bisher weitgehend unbekannt. Nun legt eine Studie vom Zentrum für Chronobiologie der Universität Basel nahe, dass die stimulierende Wirkung bei einer Dauerzufuhr der psychoaktiven Substanz ausbleibt.

Zwanzig gesunde männliche Kaffeeliebhaber haben an der Studie teilgenommen. Sie hatten einen durchschnittlichen täglichen Kaffeekonsum von 470 Milligramm – eine Menge, die etwa in fünf Tassen Kaffee enthalten ist. Jeder Proband erhielt drei verschiedene Döschen mit Pillen für je elf Tage. Eine Packung enthielt nur Koffeinpillen, in einer andern waren alles Placebopillen. Das dritte Döschen setzte die Teilnehmer auf Entzug: Sie konsumierten neun Tage lang Koffein und dann zwei Tage lang Placebopillen. Nach jedem Döschen kamen die Probanden jeweils ins Schlaflabor.

Interessanterweise fanden die Forschenden keine Unterschiede, wenn die Probanden entweder nur die aktiven oder nur die inaktiven Pillen schluckten. Das zeigt: Ist das Stimulans ständig verfügbar, entwickeln die Probanden offenbar eine Toleranz. «Dass sich der Mensch so stark an eine Dauerzufuhr von Koffein anpasst, hat uns erstaunt», sagt Carolin Reichert, die Studienleiterin.

Der Effekt von Koffein zeigte sich trotzdem: Waren die Probanden seit zwei Tagen auf Entzug, fühlten sich nach einem stündigen Nickerchen im Schnitt schläfriger und waren weniger aufmerksam, als wenn sie in den Tagen zuvor nur Koffein oder nur Placebo zu sich genommen hatten. Der Entzug hat also kurzfristig eine Wirkung. *Ori Schipper*

J. Weibel et al.: 0180 Influence of Long-Term Caffeine Consumption and Its Withdrawal on Subjective Sleepiness, Vigilance, and Melatonin. Sleep (2018)

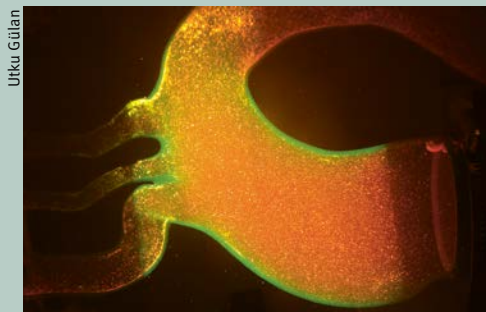
### Bedrohliche Wirbel in ausgebeulter Aorta

**A**b wann ist ein Aneurysma bedrohlich und muss operiert werden? Könnten Ärztinnen und Ärzte dies besser vorhersagen, könnten Menschenleben gerettet werden. Denn reissen die ballonartigen Ausbuchtungen der Körperschlagader ein oder platzen ganz auf, besteht akute Gefahr. Besonders gross ist diese, wenn sich die Aussackung in der *Aorta ascendens* befindet, dem herznahen Ast der Körperschlagader. Allerdings kann auch die Operation solcher Aneurysmen schwerwiegende Komplikationen hervorrufen.

Forschende um Markus Holzner, Professor für Umweltströmungsmechanik an der ETH Zürich, haben sich auf die Suche nach Parametern gemacht, die eine Vorhersage ermöglichen, wie dringlich eine Operation bei Aneurysmen im Einzelfall ist. Dazu haben sie den Blutstrom genauer unter die Lupe genommen. Bei ihren Tests stützten sie sich auf ein Silikongefäss, das bis ins Detail der ausgebeulten *Aorta ascendens* eines echten Patienten entsprach. Wären Computersimulationen nicht einfacher? «Theoretisch schon», sagt Holzner, «da der Blutstrom jedoch pulsiert, ändert die Aorta beständig ihre Geometrie. Diesen Wandel rechnerisch zu erfassen ist extrem aufwendig.»

Wie die Forschenden entdeckten, bildet das Blut im krankhaft ausgebeulten Aortenabschnitt starke Turbulenzen und Wirbel. Auch kommt es darin zu einem Abfall des Blutdrucks und einem Verlust an Bewegungsenergie. «In weiteren Studien wollen wir nun klären, ob einer oder alle Parameter zuverlässige Hinweise auf die Bedrohlichkeit von Aortenaneurysmen liefern», erklärt Markus Holzner, denn diese liessen sich mit dem MRI messen und könnten deswegen diagnostisch von erheblichem Nutzen sein. *Nicola von Lutterotti*

U. Gülan et al.: Blood flow patterns and pressure loss in the ascending aorta: a comparative study on physiological and aneurysmal conditions. *Journal of Biomechanics* (2018)



Ein Blutgefäss aus Silikon simuliert ein Aneurysma.



Seit der Rattenfloh zum Vehikel des Pesterregers wurde, leben die Menschen gefährlicher.

### Schwarzer Tod schon in der Bronzezeit

**Y***ersinia pestis* hat in der Geschichte der Menschheit viel Unheil angerichtet. Im 14. Jahrhundert starb rund ein Drittel der Bevölkerung Europas am schwarzen Tod. Bisher ging man davon aus, dass das Pestbakterium seine Fähigkeit, auf den Menschen überzuspringen, vor rund 2800 Jahren erworben hatte. Eine neue Studie, an der auch die Universität Zürich beteiligt war, zeigt nun jedoch, dass sich Menschen schon vor 3800 Jahren mit dem Beulenpesterreger anstecken konnten.

Ein Forscherteam des Max-Planck-Instituts für Menschheitsgeschichte in Jena untersuchte für die Studie Proben zweier Skelette aus der Bronzezeit, die man in der Region Samara in Russland gefunden hatte. Die beiden Toten lagen gemeinsam im Grab und trugen beide den Beulenpesterreger in sich. Die Forschenden rekonstruierten das Erbgut des Bakteriums und entdeckten ein Stück DNA, das die Übertragung der Pest durch Flöhe ermöglicht.

Dass die Pesterreger schon in der frühen Bronzezeit auftraten, ist bekannt. Man ging aber bisher davon aus, dass sie damals noch nicht durch Flöhe übertragbar waren. Erst diese vermutlich zufällige Mutation machte den Erreger für den Menschen so gefährlich. «Das rekonstruierte Genom haben wir mit bereits bekannten Proben verglichen, um herauszufinden wo es im phylogenetischen Baum liegt», erklärt Mathematikerin Denise Kühnert, die an der Universität Zürich forschte und an der Studie beteiligt war. Die in der DNA der Bakterien von Samara entdeckte Mutation gab dem virulenten Erreger einen evolutionären Vorteil gegenüber anderen Formen, die nicht von Flöhen auf Menschen und Säugetiere springen konnten. Die tödliche Variante setzte sich besser durch und führte zu den bekannten verheerenden Epidemien. *Alexandra Böhm*

M. A. Spyrou et al.: Analysis of 3800-year-old *Yersinia pestis* genomes suggests Bronze Age origin for bubonic plague. *Nature Communications* (2018)

# Krebsstation in Ouagadougou

Ein Jahr lang beobachtete Marie-Cécile Frieden den Alltag eines Spitals in Burkina Faso. Sie untersuchte, wie Ärzteschaft, Patientinnen und Angehörige die Behandlung von Gebärmutterhalskrebs erleben.

«Von meiner bescheidenen Bleibe in Ouagadougou, die oft von Wasser- und Stromunterbrüchen betroffen war, machte ich mich jeden Morgen mit dem Motorrad auf meinen fast einstündigen Arbeitsweg, durch manchmal chaotischen Verkehr. Beim Eintreffen im Spital war ich immer wieder überwältigt vom Geruch nach Urin und Tod. Doch das galt es irgendwie zu ertragen. Schliesslich besuchte ich täglich Frauen, deren schweres Leiden kaum gelindert werden konnte. Krebs fordert in Afrika mehr Todesopfer als Aids, Tuberkulose und Malaria zusammen, und dennoch gibt es in Burkina Faso für eine Bevölkerung von 18 Millionen Menschen gerade einmal vier Onkologen.

Ich schreibe meine Dissertation in Ethnologie über Gebärmutterhalskrebs. Insbesondere möchte ich herausfinden, wie die offiziellen Leitlinien von nationalen oder internationalen Institutionen zur Behandlung der Krankheit in der Praxis umgesetzt werden. Dabei habe ich mich hauptsächlich auf das Universitätsspital Ouagadougou konzentriert, wo ich das Pflegepersonal der Gynäkologieabteilung begleiten durfte. Ich trug ebenfalls einen weissen Kittel, weil ich aber keine medizinische Ausbildung habe, erledigte ich andere kleinere Arbeiten. So konnte ich auch meine Anwesenheit begründen. Insgesamt war ich bei über 400 Konsultationen anwesend, zudem beobachtete ich die Behandlungen und führte zahlreiche Gespräche mit Patientinnen und Personal.

## Von Norm und Improvisation

Ich habe festgestellt, dass die medizinischen Teams den behördlichen Anordnungen und neuen Techniken im Allgemeinen sehr positiv gegenüberstehen. Häufig fehlt es ihnen aber an Schulungsmöglichkeiten und Ressourcen, weshalb sie selber Lösungen «basteln» müssen. Beispielsweise sollten die bei Screenings gesammelten präkanzerösen Läsionen (verändertes Gewebe, das auf Krebs hinweisen könnte, Anm. d. Red.) in einem speziellen medizinischen Einwegbehälter an das Labor geschickt werden. Da die Patientinnen diese Behälter aber selbst kaufen müssen



und ihnen oft die Mittel dazu fehlen, verwenden die Pflegepersonen stattdessen Injektionsfläschchen. Sie verschliessen diese dann und legen sie in einen Latexhandschuh, um möglichst sterile Bedingungen zu schaffen.

Die Patientinnen wiederum wissen häufig kaum etwas über Gebärmutterhalskrebs und verstehen nicht, was mit ihnen geschieht. In 80 Prozent der Fälle wird der Krebs in einem fortgeschrittenen Stadium entdeckt, in dem es kaum noch Hilfe gibt. Die Ärzte erklären den Patientinnen selten direkt, wie ernst ihr Zustand ist, sondern sprechen mit den Angehörigen und überlassen es diesen, ob sie die betroffenen Frauen informieren oder nicht. Offiziell begründen sie dies damit, dass die Patientin sonst aufgibt. Doch häufig ist einfach gar keine Behandlung verfügbar.

## Gefühlspanzer wegen Machtlosigkeit

In den 1990er- und 2000er-Jahren tauchte in mehreren Studien der Vorwurf auf, dass medizinische Teams in Afrika Kranke misshandelt hätten. Auch ich habe beleidigende Verhaltensweisen mitbekommen, verbale wie physische. Dabei geht es jedoch vor allem um Selbstschutz. Die medizinischen Teams empfinden die fehlenden Möglichkeiten zur Früherkennung der Krankheiten und zur Behandlung der Patientinnen als eine Form von Gewalt. Gegen diese Gefühle der Frustration und

der Machtlosigkeit legen sie sich einen Panzer zu.

Ich selber habe manchmal gegenüber den Patientinnen ebenfalls den autoritären Ton des übrigen Teams angeschlagen. Wenn ich daran zurückdenke, schäme ich mich etwas dafür, aber es ging darum, einen Platz in diesem Kreis zu finden, mir Gehör und Akzeptanz zu verschaffen, sowohl als Person als auch als Wissenschaftlerin.

Ich musste auch akzeptieren, dass ich nicht immer alles Erlebte mit meinen theoretischen Kenntnissen vereinbaren konnte. Im Gegenteil: Gerade dieses Wissen machte mich manchmal ratlos. Ursprünglich dachte ich, dass ich dank dieser Forschungsarbeit den Frauen, die kaum oder gar keine Betreuung erhalten, eine Stimme geben könnte. Doch am Schluss wurde ich eher zur Sprecherin des Pflegepersonals. Nach Abschluss meiner Dissertation möchte ich meine Ergebnisse den Ärztinnen und Ärzten, die ich begleitet habe, den offiziellen Einrichtungen und verschiedenen Vereinigungen mitteilen. Ich hoffe, dass ich damit ein gewisses Bewusstsein für die Situation schaffen und Denkanstösse zu verbesserungswürdigen Praktiken geben kann - trotz beschränkter Mittel in der Praxis.»

Aufgezeichnet von Martine Brocard.





### Stets die Gesundheit im Blick

Marie-Cécile Frieden ist Ethnologie-Doktorandin an der Universität Neuenburg. Zwischen Lizentiat und Dissertation lebte sie drei Jahre in Burkina Faso. Dort führte sie unter anderem ein Forschungsprojekt mit HIV-positiven Frauen durch und arbeitete für eine Nichtregierungsorganisation, die sich für die Gesundheitsförderung mit Hilfe von Medizinalpflanzen engagierte.



**Zimmer für gynäkologische Konsultationen (oben) im Universitätsspital Ouagadougou (rechts). Es frustriert Ärzteschaft und Pflegepersonal, dass sie Krankheiten oft wegen mangelnder Mittel nicht behandeln können.**

Bilder: Marie-Cécile Frieden



Der Pflegeroboter Twendy-One von der Waseda-Universität in Tokio demonstriert Sicherheit, indem er einem Studenten vom Bett in den Rollstuhl hilft. Bild: Keystone/AP Photo/Koji Sasahara

## Kann dieser Roboter schuld sein?

Künstliche Intelligenz ermöglicht, dass Roboter immer selbstständiger handeln. Aber wer haftet, wenn eine autonome Maschine eine Straftat begeht, ist bisher unklar.

*Von Claudia Hoffmann*



## «Den meisten Menschen erscheint es absurd, einen Roboter zu bestrafen.»

Nora Markwalder

**K**ooperative Maschinen arbeiten Seite an Seite mit Menschen in der Fabrikhalle, Roboter pflegen Patienten im Altersheim und jäten für die Landwirtin Unkraut: Künstliche Intelligenz tritt zunehmend in direkten Kontakt mit Menschen. Dabei kommt es immer wieder zu Unfällen: Beispielsweise erdrückte 2015 ein Roboter in einem deutschen VW-Werk einen Arbeiter. Und bei Crashes mit selbstfahrenden Autos starben bereits mehrere Menschen. «Das ist erst der Anfang», sagt Nora Markwalder, Assistenzprofessorin an der Rechtswissenschaftlichen Fakultät der Universität St. Gallen, die zu neuen Technologien und Strafrecht forscht. Denn autonome Systeme werden selbstständiger und dringen in immer mehr Lebensbereiche ein. Das wirft rechtliche Fragen auf: Wer ist schuld, wenn der Pflegeroboter einen alten Menschen fallen lässt, der Polizeiroboter einen Passanten krankenhaureif schlägt oder der Chatbot zu Mord anstiftet?

### Höchststrafe: Verschrotten

«Bisher ist nicht geklärt, wer die Verantwortung trägt, wenn ein Roboter eine Straftat begeht», sagt Markwalder. Gemeinsam mit der Rechtswissenschaftlerin Monika Simmler hat sie sich mit der strafrechtlichen Verantwortlichkeit von Robotern und künstlicher Intelligenz beschäftigt. «Den meisten Menschen erscheint es absurd, einen Roboter zu bestrafen», sagt Markwalder. Im Moment wäre dies rechtlich noch nicht möglich: Die schlauen Maschinen gelten als Sachen und sind deshalb laut Schweizer Gesetz nicht straffähig. Zudem ist künstliche Intelligenz noch nicht so weit entwickelt, dass sie frei entscheidungsfähig ist und für ihr Handeln verantwortlich gemacht werden kann.

«Wenn das in Zukunft der Fall ist, wäre es durchaus sinnvoll, einen Roboter strafrechtlich zur Verantwortung zu ziehen», sagt Markwalder. Nicht unbedingt mit dem Ziel, dass die Maschine sich bessern möge. Aus ihrer Sicht hätte eine Strafe eher den Zweck, die geltenden Normen zu stabilisieren, indem man der Gesellschaft zeigt: Niemand darf ungeahndet töten, auch nicht ein Roboter.

Auch zur Art der Strafe haben sich Markwalder und Simmler Gedanken gemacht: Es müsste etwas sein, das der Maschine wehtut. «Das sind natürlich nicht dieselben Dinge wie bei Menschen», sagt Markwalder. Statt den Roboter ins Gefängnis zu

stecken, könnte man zum Beispiel seine Rechenkapazität drosseln. Oder ihn verschrotten, als eine Art Todesstrafe. «Das ist alles noch Science-Fiction», sagt Markwalder. Trotzdem findet sie es wichtig, sich rechtzeitig mit Schwierigkeiten auseinanderzusetzen, die früher oder später eintreten könnten.

### Zu komplex für Schuld und Sühne

Für die Basler Strafrechtsprofessorin Sabine Gless gibt es momentan allerdings dringendere Fragen. Sie forscht im Nationalen Forschungsprogramm «Big Data» (NFP 75) zur Datensicherheit bei selbstfahrenden Autos. Es gelte zunächst, sich den aktuellen Problemen rund um autonome Fahrzeuge und Industrieroboter zu stellen. Dazu gehören etwa Datenschutz und Haftungsfragen. Und trotzdem: Zwar ist klar, dass heute bei einem Unfall mit einem autonomen System nicht die Maschinen, sondern immer noch Menschen zur Rechenschaft gezogen werden: der Programmierer, der beim Code unsorgfältig gearbeitet hat, die Herstellerin, die einen Materialfehler übersehen hat, oder vielleicht die Benutzerin, weil sie die Maschine nicht sachgemäss bedient hat. Ein Gericht muss in jedem Einzelfall entscheiden, ob jemand fahrlässig gehandelt hat. Doch das wird umso schwieriger, je komplexer die Systeme werden. «Selbst bei genauer Untersuchung ist es heute schon teils nicht mehr möglich, den Fehler zu finden», sagt Gless. So kann es sein, dass man keine Schuldigen ausmachen kann und deshalb auch niemand bestraft wird.

Strafrechtlerin Monika Simmler ist gleicher Meinung. Um herauszufinden, wie die Gesellschaft damit umgehen würde, führt sie derzeit an der Universität St. Gallen eine Studie durch. Darin sollen Probanden ohne juristisches Fachwissen in verschiedenen Fallbeispielen entscheiden, wer schuld ist: Mensch, autonomes System oder beide. Zum Beispiel, wenn ein Zug entgleist, während der Lokführer den Autopiloten eingeschaltet hatte. Dabei variiert der Autonomiegrad des Systems in fünf Stufen, von leicht unterstützend bis hin zur vollen Übernahme der Kontrolle, ohne dass der Mensch noch eingreifen kann. Simmler erwartet, dass die Probanden den Menschen umso milder bestrafen werden, je stärker das System eingegriffen hat.

Dass bei Unfällen mit autonomen Maschinen möglicherweise niemand bestraft wird, ist kein Problem für Straf-

rechtsprofessorin Susanne Beck von der Universität Hannover. Das sei bei anderen Technologien ähnlich, zum Beispiel beim Strassenverkehr oder bei Atomkraftwerken. Diese werden als so nützlich empfunden, dass man die potenziellen Gefahren in Kauf nimmt. Statt im Fall von Robotern über Strafen nachzudenken, müsse es zuerst einen gesellschaftlichen Diskurs darüber geben, ob und wo man künstliche Intelligenz überhaupt einsetzen will. «Wenn man sich aber dafür entscheidet, muss man auch damit leben, dass etwas schiefgehen kann.»

Was aber nicht bedeutet, dass Geschädigte leer ausgehen sollen: Damit diese nach einem Zwischenfall mit einem Roboter Schadensersatz oder Schmerzensgeld erhalten, muss die zivilrechtliche Haftung klar geregelt sein, findet Beck. Deswegen haben sie und weitere Forschende darüber diskutiert, einen eigenen rechtlichen Status für Roboter zu schaffen: die sogenannte elektronische Person oder ePerson, über die bereits das EU-Parlament beraten hat. Diese wäre vergleichbar mit der juristischen Person. Wie das Konstrukt aussehen würde, ist noch nicht klar. Eine Möglichkeit wäre, dass Hersteller, aber auch Besitzerin und Betreiberin eines Roboters verpflichtet werden, gemeinsam eine Geldsumme zu hinterlegen, mit der im Schadensfall gehaftet wird. Gegen die Einführung einer ePerson haben sich jedoch Robotikforschende in einem offenen Brief an die EU ausgesprochen. Beim heutigen Stand von künstlicher Intelligenz sei das voreilig, deren Fähigkeiten würden überschätzt. Sie fürchten aber wohl auch, dass durch eine derartige gesetzliche Vorgabe Innovationen gebremst werden könnten.

Claudia Hoffmann ist freie Wissenschaftsjournalistin und arbeitet für die WSL in Davos.

—  
N. Markwalder and M. Simmler: Roboterstrafrecht: Zur strafrechtlichen Verantwortlichkeit von Robotern und künstlicher Intelligenz. Aktuelle juristische Praxis (2017)

# Dem Ekel den Garaus machen

Es kann uns retten, wenn wir etwas eklig finden. Aber auch im Weg stehen. Forschende untersuchen, welches Essen uns am meisten abstösst und wie wir dieses Gefühl der Umwelt zuliebe überwinden könnten.

Von Susanne Wenger

**E**ine weiche alte Gurke, Maissalat mit Raupen, ein Koch mit offener Schnittwunde: Appetitlich sind sie nicht gerade, die Themen, mit denen ETH-Ernährungswissenschaftlerin Christina Hartmann das Ekel-Empfinden bei Konsumentinnen und Konsumenten misst. Zwar ist auf den Fragebögen alles sachlich-neutral beschrieben, doch die Vorstellungskraft der Probanden besorgt den Rest. Bilder von fremdem Speichel und Blut steigen vor dem inneren Auge auf, Ungeziefer, das durch Nahrung kriecht. Man riecht das Faulige, schmeckt das Schleimige.

«Wir sind in der Regel von Dingen angeekelt, von denen wir glauben, dass sie uns krank machen können.»

Christina Hartmann

Wer da angewidert das Gesicht verzieht oder gar Brechreiz verspürt, reagiert normal. «Die Fähigkeit, sich zu ekeln, ist angeboren», sagt Hartmann. Ekel sei eine der Grundemotionen des Menschen, ein starkes, universelles Gefühl. Er dient dem Schutz vor Infektionen: «Wir sind in der Regel von Dingen angeekelt, von denen wir glauben, dass sie uns krank machen können, wie eben verdorbene und kontaminierte Lebensmittel.» Doch Ekel ist nicht starr, sondern gesellschaftlich-kulturell geprägt. Ekelreaktionen auf bestimmte Auslöser werden uns in der Kindheit und Jugend aneignet, sie können ändern: «Häufige Kontakte mit Lebensmitteln, die man abstossend fand, können die Ekelreaktion abschwächen.»

## Frauen ekeln sich schneller

Mit einer Reihe von Studien untersuchen die Forschenden um Hartmann derzeit, wie Ekel das Essverhalten beeinflusst. Denn was wir auf dem Teller verschmähen oder mögen, hat weitreichende Konsequenzen – etwa für die Umwelt. Hartmann entwickelte zwei Ekel-Messinstrumente, eines mit und eines ohne Fotos. Über tausend Personen aus der Schweiz füllten die Fragebögen



**Wie unappetitlich finden Sie das? Teilnehmende einer ETH-Studie fanden den Mais mit den Insektenlarven am ekligsten, gefolgt von den vergammelten Tomaten. Die Zubereitung des leicht angegrauten Fleisches dagegen kam auf den letzten Platz der Ekel-Skala, obwohl hier mit blossen Händen und Fingerringen – beides mögliche Keimträger – hantiert wird.**

Bilder: Fleisch – Pixabay.com/yaron86; Tomaten und Mais – Jeanine Ammann

aus. Zusätzlich liessen sich hundert Personen in einem Experiment beobachten: Sie bekamen unter anderem mit getrockneten Mehlwürmern garnierte Schokolade vorgesetzt – ein auf dem Markt erhältliches Produkt. Mehlwürmer sind in der Schweiz seit 2017 als Lebensmittel zugelassen, genauso wie Grillen und Heuschrecken.

Die Erkenntnisse bestätigen Befunde, wonach Frauen sich mehr ekeln als Männer. Mögliche Erklärung laut Hartmann: «Weil Frauen schwanger werden können, ist es für sie ein Vorteil, ekelsensitiv zu sein.» Denn der Ekel bedeute auch grössere Vorsicht vor möglichen Infektionsherden. Aufs Alter hin verringert sich das Ekelempfinden bei Frauen und Männern, im hohen Alter dagegen steigt es wieder. Weil Betagte besonders krankheitsanfällig sind? Das sei noch unklar, sagt Hartmann. Einen deutlichen Zusammenhang fanden die Forscher dafür zwischen erhöhtem Ekelempfinden und der Ablehnung neuer Lebensmittel, ja generell sehr selektivem Essverhalten. Auch graust es Ekelsensitive eher vor gallertartigen und weichen Texturen: «Selbst dann, wenn die Lebensmittel ungefährlich sind, wie alternde Früchte und Gemüse.»

## Hygiene nicht entscheidend

Auffallend wenig Ekel erzeugen Situationen mangelnder Hygiene. So landete eine Abbildung blosser Hände mit Schmuck an den Fingern, die Hackfleisch kneten,

zuhinterst auf der Skala. Da werde das Gesundheitsrisiko wohl unterschätzt, so die Forscherin. Ihre Studien zeigen auf: Ekel kann uns vital nützen, aber auch im Weg stehen. Um umweltfreundliches Verhalten zu fördern, sollten Ekel-Auslöser vermieden werden, schliesst Hartmann nämlich aus ihren Befunden. Wenn überreife Früchte und Gemüse so verarbeitet würden, dass braune Stellen oder schrumpelige Oberflächen nicht mehr zu sehen wären, könnte Lebensmittelverschwendung reduziert werden. Auch um den Leuten neue Lebensmittel wie Insekten als klimafreundlichen Fleischersatz schmackhaft zu machen, gelte es Ekelreize zu vermeiden.

Das fange schon bei den Bezeichnungen an: «Insekten und Wurm tönen wenig verlockend. Beim Fleisch reden wir ja auch vom Schnitzel und nicht von der Tiergattung.» Zudem werde neues Essen eher akzeptiert, wenn es positiv bis trendy besetzt sei und in Gemeinschaft konsumiert werde. Das Paradebeispiel sind Sushi-Bars. Aus dem für unsere Breitengrade tendenziell ekligsten rohen Fisch ist angesagter Food geworden. Als nächstes untersucht Hartmann das Ekelempfinden in anderen Ländern, von Frankreich über Schweden und China bis nach Südafrika und Australien. Wie man hört, gelten frittierte Maden auf asiatischen Strassenmärkten schliesslich als besondere Leckerbissen.

Susanne Wenger ist freie Journalistin in Bern.

## 20 000 Knochen und Zähne in den Alpen

Vor mehr als 7000 Jahren siedelten sich in den Alpen die ersten Gemeinschaften an, die Land- und Weidewirtschaft betrieben. Sie brachten die neolithische Kultur mit: domestizierte Tiere, Töpfe, geschliffene Steine. Um die Entwicklung der Viehzucht nachzuvollziehen, hat Patricia Chiquet vom Naturhistorischen Museum Genf mehr als 20 000 Tierknochen und -zähne untersucht, die in der Nähe von Sion (Wallis) und Isère in Savoyen (Frankreich) gefunden wurden.

Zu ihren Entdeckungen gehört eine vermutlich als Ruffinstrument verwendete Flöte aus dem Schienbeinknochen eines Tieres der Ziegenartigen (Unterfamilie der Ziegen, Schafe und Gämsen). Die Archäozoologin konnte nachweisen, dass sich die Viehzucht nach und nach diversifizierte: «Zu Beginn wurden vor allem Schafe für die Fleisch- und Milchproduktion gehalten», fasst sie zusammen. «Gegen Ende des Neolithikums zwischen 3500 und 2200 v. Chr. gewann dann die Haltung von Ziegen, Rindern und Schweinen immer mehr an Bedeutung.» Die Viehzüchter entdeckten die Vorteile der Haltung verschiedener Arten. Chiquet führt aus: «Schafe und Ziegen ergänzen sich. Schafe mögen Grasflächen, die nicht allzu felsig und verbuscht sind. Es ist deshalb sinnvoll, Ziegen einzusetzen, um felsiges Gelände zu nutzen und die Verbuschung zu verhindern.»

Wurde in der Jungsteinzeit bereits Alpwirtschaft betrieben? «Da die Vorfahren unserer Schafe und Ziegen aus dem Nahen Osten stammen, mussten die Herden notgedrungen auch Berggebiete überwinden, um das Wallis zu erreichen. Wir wissen allerdings nicht mit Sicherheit, ob das im Sommer in den Höhen verfügbare frische Gras auch gezielt genutzt wurde», erklärt Chiquet. Die Ergebnisse der gegenwärtig noch laufenden Analyse der Zähne werden im Herbst erwartet. *Benjamin Keller*

P. Chiquet: *Economie animale et territoire au Néolithique dans les Alpes occidentales: un même son de cloche?* Actes du congrès Comité des travaux historiques et scientifiques, Pau (to be published).

Cyril Bernard, AV/DPA



Die Tonscherben kleiner Abtropfbehälter zeugen von steinzeitlicher Käseproduktion in Savoyen.

Fotolia/Jacob Lund



Fehler vermeiden: Vorgesetzte sollten die Mitarbeitenden um ihre Meinung fragen.

## Widerspruch rettet Leben

Der 20-jährige Patient in der Notaufnahme ist nach einem Autounfall schwer verletzt. Die Chirurgen will sofort ein Computertomogramm anfertigen lassen. Das allerdings könnte dem Patienten schwer schaden, da Atmung und Kreislauf nicht stabil sind. Die anwesenden Assistenzärzte und Pflegekräfte müssen also der Chirurgen widersprechen. Werden sie es tun? Das war die entscheidende Frage für die promovierte Psychologin Mona Weiss von der Universität Leipzig. Glücklicherweise war der Patient nur eine Puppe. Und Mona Weiss hatte die Mitarbeitenden vor der Simulation darin geschult, im Notfall Einspruch zu erheben, was diese nach dem Training auch tatsächlich häufiger taten als davor.

Widerspruch kann einem Patienten das Leben retten oder eine Firma vor Fehlentscheidungen bewahren. Aber viele Mitarbeitende trauen sich nicht. Dabei kann konstruktive Kritik dazu führen, dass man eher wertgeschätzt wird, wie die Forscherin in mehreren Studien herausgefunden hat. So instruierte sie vor einem Rollenspiel das jüngste Teammitglied, bei einer Besprechung eine andere Werbestrategie zu verfechten als die Altgedienten. «Assistierenden, die ihre Meinung sagten, wurde mehr Respekt entgegengebracht, sie wurden als leistungsstärker eingeschätzt, und die anderen wollten lieber mit ihnen zusammenarbeiten als mit solchen, die ihre Kritik und Ideen nicht äusserten.»

Ausserdem haben Vorgesetzte einen grossen Einfluss auf ihre Angestellten. «Die Art und Weise, wie sie kommunizieren, prägt die gesamte Organisationskultur», sagt Weiss. Wenn Führungskräfte nach der Meinung ihrer Mitarbeitenden fragen und eher «wir» als «ich» sagen, werden diese eher Ideen einbringen und Fehler ansprechen». *Jochen Paulus*

M. Weiss et al.: *We can do it! Inclusive leader language promotes voice behavior in multi-professional teams.* The Leadership Quarterly (2018)

## Ist alt wirklich das neue Jung?

Fitte Seniorinnen und Senioren reisen durch die Welt, halten sich mit Tänzen beweglich, hüten Grosskinder und engagieren sich freiwillig. Würde Älterwerden früher mit geistigem und physischem Abbau gleichgesetzt, soll heute aktiv gealtert werden. Die Vorstellungen über das Alter haben sich mit dem demografischen Wandel und der steigenden Lebenserwartung verändert. Ein zivilisatorischer Fortschritt, bei dem gewisse Gruppen von Älteren aus dem Blick geraten und sich zunehmend abgehängt fühlen. Dies zeigt eine Untersuchung der Zürcher Ethnologin Francesca Rickli bei älteren Menschen mit Mobilitätsbehinderung.

Die an der Studie beteiligten 35 Personen über 64 aus der Deutschschweiz konnten gar nicht oder nur wenige Meter selbstständig gehen. Einige lebten schon vor dem Rentenalter mit der Behinderung, bei anderen war sie altersbedingt. Die Forscherin besuchte die Frauen und Männer über Monate bei ihren Alltagsroutinen. Die meisten haderten damit, dem Anspruch eines gelingenden Alterns nicht oder nicht mehr zu genügen. «Denn Behinderung, Gebrechlichkeit und Abhängigkeit sind in diesem Bild nicht vorgesehen», sagt Rickli. Das führte bei den altersbedingt Mobilitätsbehinderten dazu, dass sie Rollatoren und Rollstühle ablehnten, obwohl diese Hilfsmittel ihnen mehr Bewegungsfreiheit verschafft hätten und mehr Möglichkeiten, am gesellschaftlichen Leben teilzunehmen.

Aufhorchen lässt auch Ricklis Befund, wonach sich einige Studienteilnehmende von der öffentlichen Debatte über erleichterten Alterssuizid unter Druck gesetzt fühlten. Ältere dagegen, die schon länger mit Behinderung leben, bräuchten besseren Zugang zu Unterstützung, stellt die Forscherin fest. Doch dazu wären auch Anpassungen im Schweizer Sozialversicherungssystem nötig. *Susanne Wenger*

F. Rickli: *Old, disabled, successful? Transfigurations of aging with disabilities in Switzerland.* In: *Medical Anthropology Theory* (in preparation).



Fotolia/Weithofer Designs

Manche Senioren lehnen den Rollator ab, weil sie dem Bild der fitten Alten entsprechen wollen.



# Das Universum der Moleküle

Um ein neues Medikament  
in der astronomischen Zahl  
möglicher Moleküle zu  
finden, haben Chemiker neue  
Navigationssysteme entwickelt.  
*Von Hubert Filser*

**W**ie viele Moleküle können überhaupt existieren? Anfangs habe ihn die rein akademische Frage interessiert, erzählt Jean-Louis Reymond von der Universität Bern. Der Chemiker wollte wissen, wie viele Moleküle bekannt sind und wie viele neue, unbekanntes es noch geben könnte. Im Jahr 2001 begann er mit seinem Team Moleküle zu zählen und in gigantischen Datenbanken systematisch zu sammeln. Er wollte neue Wirkstoffe finden, mit denen sich schwere Krankheiten heilen lassen.

So entwickelte Reymond numerische Methoden, um praktisch alle theoretisch möglichen Moleküle bis zu einer gewissen Grösse zu berechnen und deren Eigenschaften vorauszusagen. Der Computer setze die Atome zusammen wie Legosteine, erklärt der Berner Forscher. Er erzählt gern, wie er auf diesem Weg ein erstes «schönes Molekül» aus drei ineinander verschachtelten, ringförmigen Norbornanen entdeckte – einer Stoffklasse bestehend aus nur zwei Sorten von Atomen. Zu dieser gehört etwa das in Erkältungssalben verwendete Kampher.

Der Aufbau der Datenbanken dauerte Jahre. Die verfügbaren Rechnerkapazitäten beschränkten die maximale Molekülgrösse auf zunächst 11 Atome. In der zweiten Datenbank lag die Grenze bei 13 und zuletzt bei 17 Atomen. Zugelassen waren dabei nur Elemente wie Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Fluor. Die Moleküle mussten ausserdem einfache Grundregeln der chemischen Stabilität einhalten: Vorgegeben sind Arten der Bindungen und gewisse Winkel zwischen den Bindungen.

### KI sucht Kristalle

Trotz dieser Beschränkungen schwoll die Zahl der Moleküle auf unvorstellbare Grösse an. Das Legospiel des Computers führte schnell in die unendlichen Weiten des chemischen Raums. Reymond sah bald, dass es deutlich mehr unbekanntes als bekannte Moleküle gab.

Die Generated Data Base GDB-11 zählte 26,4 Millionen Moleküle, GDB-17 ist mit 166 Milliarden Einträgen erwartungsgemäss die grösste Datenbank für kleine Moleküle weltweit. Allein um die Namen der enthaltenen Komponenten aufzulisten, braucht ein Rechner mehr als zehn Stunden. «Man darf sich nicht von der Menge der Moleküle blenden lassen», sagt Reymond. «Unsere Aufgabe ist es nicht, immer grössere Datenbanken zu bauen, sondern sie so zu

gestalten, dass man darin suchen kann. Wir müssen die wenigen neuen Substanzen darin finden, die zu tatsächlich nutzbaren Strukturen führen. Es ist, als schürften wir nach Gold, und davon gibt es nicht endlos viel.»

Anatole von Lilienfeld von der Universität Basel durchforstet den chemischen Raum ebenfalls nach neuen, spannenden Verbindungen. Er sucht Elemente, die aus vier verschiedenen Elpasolith-Kristallen bestehen. Diese sind aufgrund ihrer Struktur komplexer als viele der üblichen Kristalle, die jeweils nur aus zwei oder drei Komponenten bestehen wie etwa das Kochsalz. «Elpasolithe haben interessante Materialeigenschaften, die sie zu Szintillatorkandidaten machen», sagt von Lilienfeld. Szintillatoren lassen sich anregen und leuchten dann in einem bestimmten Farbton.

«Es ist, als schürften wir nach Gold, und davon gibt es nicht endlos viel.»

Jean-Louis Reymond

Mit von künstlicher Intelligenz gestützten Verfahren entdeckte sein Team bislang 90 unbekannte Kristalle. Die Forschenden nutzten einen quantenmechanisch errechneten Datensatz von 10 000 Kristallen, um mit dem Modell die Eigenschaften von zwei Millionen weiteren Kristallen vorherzusagen. «Dank der künstlichen Intelligenz sparen wir zwei Millionen Franken an Rechenzeit», sagt Lilienfeld. Die Herstellung der Elpasolithe übernehmen Partner wie IBM Zürich oder das Swiss Nanoscience Institute in Basel.

Dank höherer Rechenleistungen und besserer Algorithmen können Chemikerinnen und Chemiker inzwischen mit Big-Data-Suchwerkzeugen und selbstlernenden Systemen die Schätze unter den Milliarden Verbindungen finden. Dadurch soll auch die Medikamentenentwicklung beschleunigt werden. Forschende können damit nämlich mögliche biochemische Prozesse komplett simulieren. Vor allem kleine Moleküle stehen im Fokus. Algorithmen erkennen, ob sie an bestimmte Proteine andocken und so aktiv werden können. Damit können sie die Datenbanken nach passenden Wirkstoffen durchforsten.

Ein Chemikerteam um Brian Shoichet von der University of California in San Francisco fahndete auf diese Weise in mehr als drei Millionen Substanzen nach einem neuen Schmerzmittel. Das Molekül sollte einen speziellen Opioid-Rezeptor aktivieren und somit Schmerz lindern, ohne dabei die üblichen Nebenwirkungen wie verringerte Atemfrequenz oder Verstopfung

auszulösen. Der Algorithmus fand 23 Kandidaten, wovon sieben in ersten Labortests die gewünschte Wirkung zeigten. Derzeit versucht das von Shoichet gegründete Pharma-Start-up Epiodyne, daraus ein sicheres Medikament zu entwickeln.

### Den chemischen Raum betreten

Zentral für solche erfolgreichen Wirkstofffahndungen sind verbesserte Werkzeuge, die es den Forschenden erlauben, sich in der wachsenden Datenwelt zurechtzufinden: Pubchem, eine Datenbank der amerikanischen National Institutes of Health, sammelt beispielsweise alle verfügbaren Informationen über mehr als 96 Millionen Moleküle. Surechembl verzeichnet rund 17 Millionen patentierte Verbindungen. In den vergangenen Jahren sind neben den drei GDBs von Jean-Louis Reymond zahlreiche solcher spezialisierten Verzeichnisse entstanden.

Reymond hatte sich eine Art Koordinatensystem des chemischen Raums ausgedacht. «Wir überlegten, welche einfachen Eigenschaften für das Verhalten eines Moleküls wichtig sind, und kamen nach einigem Herumprobieren mit dem System auf 42», erzählt der Chemiker. Jedes Molekül habe zählbare Eigenschaften wie die Zahl beteiligter Bindungen, der Ringstrukturen oder die Zahl und Art seiner Atome. Zusammen legen sie die Identität jedes Moleküls fest. «Ich bin selbst überrascht, dass das einfache System der 42 Dimensionen bis heute so schöne Ergebnisse liefert», sagt Reymond.

Jüngst publizierte Reymond mit seinem Doktoranden Daniel Probst eine neue Methode, um den 42-dimensionalen chemischen Raum kleiner Moleküle in 2D- und 3D-Karten darzustellen, in denen man dann mit Virtual-Reality-Headsets herumwandern und die Strukturen erforschen kann. Diese Karten verdichten die wesentlichen Informationen über die Moleküle und stellen Unterschiede in ihren Wirkstoffkomponenten visuell dar.

Die Chemiker organisierten zunächst die Moleküle der Wirkstoffdatenbank Drugbank nach Grösse und Struktureigenschaften wie Steifigkeit oder elektrischer Polarität. «So entsteht eine Art Schattenspiel, bei dem ähnliche Moleküle in Clustern zusammenfasst sind», sagt Probst. Von bewährten Wirkstoffen aus kann man so nach ähnlichen Nachbarn suchen und per Mausclick visualisieren lassen. «Es geht darum, neue Ideen für Moleküle zu entwickeln», sagt Reymond. Gelingt das, haben die Chemiker im unendlichen Universum der Moleküle tatsächlich eine Goldader gefunden.

Hubert Filser arbeitet regelmässig für die Fernsehproduktion Quarks & Co und wohnt in München.

**Die Zahl der theoretisch möglichen Moleküle ist grösser als die Zahl aller Atome im Kosmos. Auf dem Bild ist ein Bruchteil davon sichtbar.**

Bild: 2. stock süd

# Den Urknall abhören

Die erste Beobachtung von Gravitationswellen im Jahr 2015 war die Geburtsstunde einer neuen Art von Astronomie. Ein Forschungsteam bereitet mögliche neue Beobachtungen vor und träumt von der Rückkehr zum Ursprung: zur allerersten Sekunde unseres Universums.

Von *Lionel Pousaz*

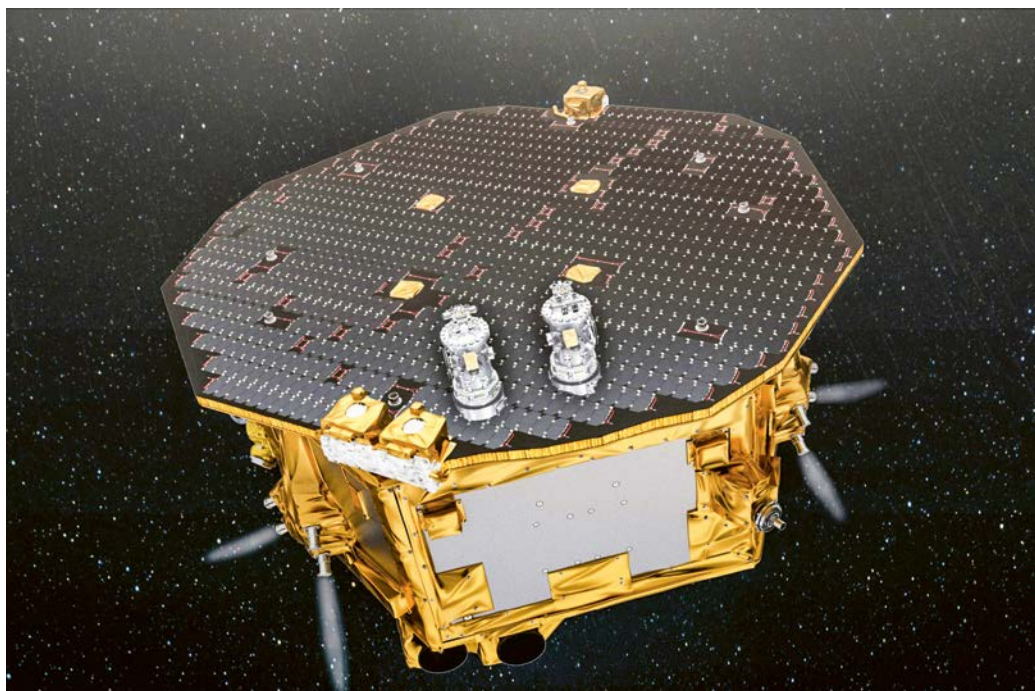
Im Februar 2016 ging eine Meldung um die Welt: Dem amerikanischen Gravitationswellen-Observatorium LIGO war es gelungen, Gravitationswellen nachzuweisen, die bei der Fusion zweier schwarzer Löcher in einer Entfernung von mehr als einer Milliarde Lichtjahren erzeugt worden waren. Seither waren fünf ähnliche Messungen erfolgreich, die bestätigten, dass sich dieses Phänomen mit extrem empfindlichen Instrumenten beobachten lässt. Eine neue Disziplin war geboren: die Gravitationswellenastronomie.

Daniel Figueroa von der EPFL möchte nun prüfen, ob sich mit diesem Ansatz Antworten zu einer grundlegenden Frage finden lassen: Was geschah in den ersten Momenten nach dem Urknall? «Da sich Gravitationswellen nicht durch Materie behindern lassen, konnten sie sich seit der Geburt des Universums ausbreiten», erklärt der Physiker. Sie bilden also heute eine Art gleichförmigen Hintergrund, der für alle Beobachter unabhängig von ihrem Standort im Universum genau gleich ist.

## Ultraschallbild des Kosmos

Grundsätzlich entstehen Gravitationswellen bei der Beschleunigung von supermassereichen Sternen oder schwarzen Löchern. Obwohl es unmittelbar nach dem Urknall keine massereichen Objekte gab, könnten diese Oszillationen der Krümmung der Raumzeit zu diesem Zeitpunkt durch die schnelle Expansion gigantischer Teilchenmassen entstanden sein. Für Figueroa sind es jedenfalls «die einzigen beobachtbaren Phänomene, die direkt von den ersten Augenblicken des Universums zeugen».

Nach Ansicht von Rainer Weiss, Forscher am Massachusetts Institute of Technology (MIT), der 2017 für seine Arbeiten mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet worden war, beruht diese Hypothese auf soliden Grundlagen. Sie gelte insbesondere für den kurzen Zeitraum der sogenannten Inflation, als sich das Universum am schnellsten ausdehnte. «Zwar haben mehrere angesehene Kosmologen Modelle einer Inflation ohne Gravitationswellen entworfen», räumt er ein, aber: «Das macht die Frage nicht weniger interessant, im



**Machbarkeitsstudie:** Der Satellit LISA Pathfinder überprüft 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, ob Gravitationswellen im All genau genug gemessen werden können. Bild: ESA/ATG medialab

Gegenteil.» Die Physik teilt die erste Mikrosekunde des Universums in fünf verschiedene Zeiträume ein. Aus der Sicht eines Astrophysikers ist dieser erste Moment ereignisreicher als die nachfolgenden Millionen Jahre.

Letztlich bleiben dies aber theoretische Modelle, wenn sie nicht durch Beobachtungen bestätigt oder verworfen werden. Die Fachleute warten deswegen bereits ungeduldig auf das neue und einzigartige Gravitationswellen-Observatorium LISA, dessen Inbetriebnahme für 2034 vorgesehen ist. Der Detektor soll aus drei Satelliten im Abstand von 2,5 Millionen Kilometern bestehen, die über Laserstrahlen miteinander in Kontakt treten. Mit dieser Vorrichtung sollen sich winzigste Abweichungen der Distanz (ein Dutzend Pikometer, also etwa der Durchmesser eines Atoms) messen und damit andere Gravitationswellen als die bisher nachgewiesenen aufspüren lassen.

Daniel Figueroa und seine internationalen Forschungskollegen versuchen nun die ursprünglichen Signale zu datieren, die LISA nachweisen soll. Erste Möglichkeit: Die Signale folgen wie Standard-Gravitationswellen und die meisten zufälligen natürlichen Phänomene einer sogenannten Normalverteilung. «Dies würde zweifellos bedeuten, dass sie auf den Zeitpunkt zurückgehen, als sich Quarks zu Materie organisierten, das heisst etwa auf 0,000000001 Sekunden nach dem Urknall», erklärt der Forscher. Wenn die Wellen dagegen nicht

normalverteilt sind, könnte dies auf einen Entstehungszeitpunkt deuten, als das Universum erst  $10^{-36}$  Sekunden alt war. Das war am Anfang der Inflation, einer kurzen Phase extremer Expansion, als die gewohnten Gesetze der Physik noch nicht vollständig galten.

Nach der Vorhersage zahlreicher theoretischer Modelle könnten die beim Urknall entstandenen Gravitationswellen allerdings auch zu schwach sein, um mit LISA nachgewiesen zu werden, schränkt Rainer Weiss vom MIT ein: «Viele von uns denken, dass wir für einen direkten Nachweis auf ein empfindlicheres Instrument warten müssen. Es sind aber Ideen im Umlauf, dass die Energiedichten am Ende des Zeitraums der Inflation höher sind und für eine Beobachtung mit LISA gerade ausreichen könnten. Ob der Nachweis gelingt oder nicht: Unsere Überlegungen bezüglich einer Vereinigung der Quanten- und der Gravitationstheorie – eine der grössten offenen Fragen der Physik – dürften dadurch grundlegend beeinflusst werden.» Eine weitere Etappe also auf der Zeitreise zurück zu unseren Wurzeln vor 13,8 Milliarden Jahren.

Der Schweizer Journalist Lionel Pousaz lebt in Boston.

— N. Bartolo et al.: Probing non-Gaussian Stochastic Gravitational Wave Backgrounds with LISA. Arxiv (2018)





Wenn die Flutwelle kommt: Hält das Gebäude, das hier durch den Würfel simuliert wird, stand?

## Tsunami im Labor

**T**sunamis entstehen meistens durch starke Erdbeben im Ozean. Aber auch Hangrutsche in Stauseen können Flutwellen auslösen. Das ist zum Beispiel 1963 im Vajonttal im italienischen Friaul passiert. Damals schwappte eine Riesenwelle über die 260 Meter hohe Staumauer und riss rund 1900 Menschen in den Tod. Die aktuelle Gletscherschmelze wird voraussichtlich zu weiteren Hangrutschen in Stauseegebietern führen.

«Wie tsunamiartige Wellen entstehen und welche Schäden sie anrichten, ist wissenschaftlich noch relativ schlecht untersucht», erklärt Davide Wüthrich, Doktorand am Wasserbaulabor der EPFL. Um herauszufinden, wie die Gebäudearchitektur die Zerstörungskraft eines Tsunamis beeinflusst, entwickelte er einen Simulator: einen 14 Meter langen Wasserkanal, der mit einem 7 Kubikmeter fassenden Wasserbehälter verbunden ist. Wird dieser in ein tiefer gelegenes Auffangbecken entleert, schwappt das Wasser in den Kanal, wodurch Hochwellen entstehen.

Um verschiedene Gebäudetypen zu simulieren, hat der Forscher im Kanal Würfel mit unterschiedlich grossen Öffnungen auf einer Plattform mit integrierter Kräfte- und Momentenmessung installiert und geflutet. «Überraschend war, dass die Kraft der Welle auf den Würfel fast exakt proportional zur Fläche der Öffnungen abnimmt.» In der Realität bedeutet dies: Je mehr Türen und Fenster die Gebäude in gefährdeten Gebieten haben, umso effektiver kann der Druck einer Welle auf ein Gebäude gesenkt werden und desto kleiner ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieses zusammenbricht. Bewohner auf dem Dach wären also sicher.

Doch lassen sich reale Katastrophen überhaupt im Labor simulieren? Die japanischen Behörden scheinen jedenfalls beeindruckt: Sie arbeiten derzeit mit dem EPFL-Wasserbaulabor zusammen, um eines ihrer eigenen Tsunamimodelle zu prüfen. *Samuel Schläfli*

D. Wüthrich et al.: Experimental study on forces exerted on buildings with openings due to extreme hydrodynamic events. Coastal Engineering (2018)

## Resistenteres Polyestergewebe

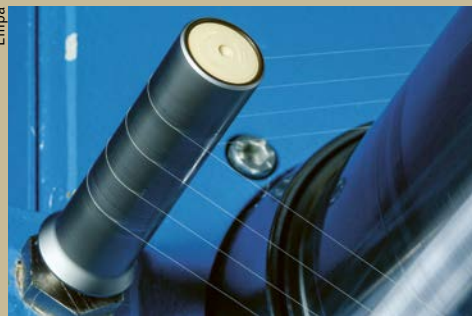
**E**in Team am Forschungsinstitut Empa in St. Gallen hat einen neuen Zusatzstoff zur Herstellung von Polymeren für Polyestergewebe entwickelt. Dieser soll den Prozess optimieren, bei dem die Polymere auf mehr als 280 Grad erhitzt und - wenn die gewünschte Fließfähigkeit erreicht ist - durch einen sogenannten Extruder zu langen Fasern gezogen werden, die wiederum zu Gewebe verarbeitet oder mit anderen Materialien wie Baumwolle kombiniert werden.

«Diese Erhitzung beeinflusst normalerweise die molekulare Anordnung der Fasern und beeinträchtigt die Widerstandsfähigkeit der Textilien», erklärt Manfred Heuberger von der Empa. Er suchte deshalb mit seinem Team nach einem Fluidisierungsmittel für das Schmelzspinnen von Polyester bei tieferen Temperaturen mit dem Ziel, robustere Textilien herzustellen und gleichzeitig den Energieverbrauch für die Herstellung zu senken.

Die Forschenden entwickelten und patentierten ein Fluidisierungsmittel, das dem geschmolzenen Polymer zugegeben wird. Dadurch lässt sich die Temperatur bei der Herstellung um einige Grad senken, und die Textilien werden feuerbeständig. Der Fasern-Prototyp weist eine mechanische Resistenz auf, die rund 40 Prozent über einem feuerfesten Referenz-Polyester liegt.

Die Forschenden untersuchten die fluidisierenden Eigenschaften des Zusatzstoffes in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Tersuisse. Die feuerbeständigen und besonders widerstandsfähigen Fasern sollen hauptsächlich im architektonischen Bereich Anwendung finden, zum Beispiel in Storen. «Das Verfahren hat sich im Labor zwar bewährt, die industrielle Entwicklung steht aber erst am Anfang», erklärt Niklaus Zemp, CEO von Tersuisse. «Zuerst müssen wir unsere Tests erfolgreich abschliessen und vor allem abklären, ob der Zusatzstoff in ausreichenden Mengen und zu wirtschaftlichen Preisen hergestellt werden kann.» *Lionel Pousaz*

Pressurized-fluid assisted polymer processing and melt-spinning with continuous foaming suppression, SNSF Project 155654



Künstliche Fasern können mit Zusatzstoffen widerstandsfähiger gemacht werden.



Arbaz im Wallis: Ein neues Radargerät durchschaut künstliche Staublawinen.

## Lawinengefahr besser einschätzen

**S**chneebretter, Nassschnee- und Staublawinen lassen sich gut einteilen, sobald sie einmal den Hang heruntergerutscht sind. Was allerdings während des Naturereignisses passiert, stellte die Forschenden bisher noch vor ein grosses Rätsel. Dafür müssen sie mit einem Radar durch den aufgewirbelten Schneestaub hindurch gucken. Nun haben Anselm Köhler und Betty Sovilla vom Institut für Schnee- und Lawinenforschung in Davos Messungen mit einem eigens dafür entwickelten Gerät durchgeführt und damit eine neue Klassifikation erstellt.

In den Wintern zwischen 2009 und 2015 beobachteten sie im Vallée de la Sionne bei Arbaz im Wallis 77 Lawinen teils natürlichen, teils künstlichen Ursprungs. Das Radargerät Geodar registriert Schneeklumpchen ab einer Grösse von zwei bis zehn Zentimetern. Das neue Instrument erkennt zudem Strukturen und verfolgt deren Veränderungen in den Lawinen. Die Lawinen wurden zusätzlich mit Kameras und Sensoren für Fließgeschwindigkeit, Schneedichte, Temperatur, Druck und Erschütterungen beobachtet.

Dank den Messungen entwickelten die Forschenden eine neue Klassifikation mit sieben «Fließregimen» - also detaillierter als bisher. Zum Beispiel weisen die Forschenden nach, dass verschiedene Regime bei grossen Lawinen manchmal ineinander übergehen. Und sie zeigen, von welchen externen Faktoren - wie Temperatur oder Steigung - das abhängen könnte.

Dank ihrer Studie und den öffentlich zugänglichen Messdaten werden sich bessere physikalische Modelle von Lawinen entwickeln lassen, hofft Sovilla. Damit könnte künftig das Lawinenrisiko genauer eingeschätzt werden. Und so eine Einschätzung wiederum hätte vielleicht ein paar der 26 Todesfälle verhindern können, zu denen es im Winter 2017/2018 in den Schweizer Alpen kam. *Sven Titz*

A. Köhler et al.: GEODAR Data and the Flow Regimes of Snow Avalanches. Journal of Geophysical Research: Earth (2018)



# Stärkendes Pulver für alte Muskeln

Muskulösere Senioren dank des Nahrungszusatzes Leuzin – das ist die Vision eines Start-ups aus Baar. Ob dies im Alltag funktioniert, prüft eine klinische Studie.

Text: Florian Fisch

Illustration: ikonaut

## 1. FACHARTIKEL (2014)

### Leuzin macht Muskeln

Eine Vermutung wird bestätigt: Eine kanadische Forschungsgruppe findet bei 40 jungen Männern heraus, dass der Zusatz der Aminosäure Leuzin in der Nahrung das Muskelwachstum anregt. Bei der Lektüre des Fachartikels denkt Piero Fontana, Nahrungsmittelentwickler bei einem Schweizer Hersteller für Nahrungsmittelzusätze, aber nicht an Bodybuilder, sondern an alte Menschen. Deren Muskeln reagieren nicht mehr so stark auf Wachstumssignale und bilden sich langsam zurück. Die Folge sind mehr Stürze und Knochenbrüche.

## 2. PATENTIERUNG (2015)

### Geschmack verbessern

Reines Leuzin schmeckt aber furchtbar. Damit die notwendige Menge dieser Aminosäure trotzdem mundet, versteckt sie Piero Fontana in Nahrungsmitteln. Er mischt sie mit Molkenprotein aus der Käseproduktion. Das Resultat sind Shakes und Drinks in Geschmacksvarianten von Cappuccino bis Clementine, die er über seine Firma Omanda in Baar (ZG) an geriatrische Kliniken verkauft. Er entwickelt auch Zubereitungen für Würste und Kekse mit viel Leuzin und meldet insgesamt sieben Patente an.

## 3. KLINISCHE STUDIE (2018)

### Funktioniert's wirklich?

Die neuen Proteinshakes wurden von der Leitung einer klinischen Studie gegen den altersbedingten Muskelschwund am Universitätsspital Zürich entdeckt. Die Hälfte von 800 über 74-Jährigen erhält nach einem Sturz oder einer Verletzung eine Kur mit dem Cocktail aus Leuzin und Molkenprotein. Die andere Hälfte erhält ein Placebo: ein für die Studie entwickeltes Getränk ohne Proteine, aber mit gleich vielen Kalorien. Parallel dazu wird der Effekt eines Krafttrainings getestet. Nach 12 Monaten wird sich zeigen, ob der Shake im Alltag tatsächlich nützt.

# Die Gefahren des simulierten Wissens

Von Antonio Loprieno

Was haben Fake News, Peter Stammers «Sanfte Gleichgültigkeit der Welt» und das geologische 3D-Modell auf Seite 19 dieses Heftes miteinander zu tun? Mehr, als man denken würde: Wissens-einheiten werden in Fragmente zerlegt, um sie emotional in den Griff zu bekommen. Im Fall



Andri Pol

von Fake News bedeutet dies, jene Merkmale einer Information zu selektieren, die den Algorithmen ihrer Akzeptanz entsprechen. In Peter Stammers Fiktion begegnet ein Mann seinem von ihm dissoziierten künftigen und vergangenen Selbst. Im 3D-Modell ermöglicht die Kombination eines breiten Spektrums an Daten die Visualisierung von Welt-zusammenhängen, die die unmittelbare Wahrnehmung transzendieren. Durch ihre

Verbildlichung werden Sachverhalte so modelliert, dass ihre Details de- und rekonstruiert werden.

Die ursprünglich technologische, nun auch gesellschaftlich relevante Innovation, die wir «Digital Turn» nennen, hat auch einen neuen Zugang zum Wissen eröffnet, der sowohl unerhörte wissenschaftliche Potenziale als auch besorgniserregende gesellschaftliche Gefahren birgt: die Simulation. Durch die bildliche Wiedergabe von Sachverhalten werden auch Emotionen geweckt, Bildung wird durch Einbildung ergänzt. Die Grenzen zwischen Simulation als wissenschaftlicher Visualisierung, als literarischer Fiktion und als bewusstem Betrug werden fließender als je zuvor.

Die Simulation hat den analogen Zugang zum Wissen an den Rand gedrängt und fordert nun die Spielregeln von Information, Kunst und Wissenschaft heraus. Oberstes Gebot ist nicht mehr die Nachahmung einer Realität historischer, sozialer oder wissenschaftlicher Art, sondern die digitale Projektion von Zusammenhängen zwischen Wissensfragmenten. In dieser kognitiven Verschiebung liegt auch die potenzielle Berührung von Simulation und Postfaktischem: Eine Nachricht wird zu einem Post-Faktum, indem sie algorithmisch gesteuert wird; in der literarischen Fiktion wird die Erfahrung des Autors verarbeitet, wodurch sie post-faktische Züge annimmt; und ein geologisches 3D-Modell ist post-faktisch, weil seine hohe analytische Detailliertheit auf einer künstlichen Zerlegung zugrundeliegender Fakten basiert.

Schaffen wir es als wissenschaftliche Community, zwischen Vorteilen und Gefahren der Simulation unserer Gesellschaft Orientierung zu vermitteln? Eine mögliche Antwort lesen Sie in einer der nächsten Kolumnen in Horizonte!

Antonio Loprieno ist Präsident der Akademien der Wissenschaften Schweiz.

## Leserbriefe

### Ausgerechnet «Die Experten»

«Die Ohnmacht der Experten» titelt der Horizonte-Schwerpunkt (Horizonte 117) – und es geht so weiter mit dem generischen Maskulinum im ganzen Schwerpunktteil. Ausgerechnet «die Experten»! Dieser Begriff meint hier die versammelte Akademie, also alle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, alle Fachleute und Fachkundigen, alle Forschenden, alle Frauen und Männer, die sich mit ihrer Expertise in die Gesellschaft einbringen. Und ausgerechnet bei diesem Thema verwenden Sie im wichtigsten Forschungsmagazin der Schweiz das generische Maskulinum, das, wie Sie bestimmt wissen, Frauen nicht einfach mit meint, und schon gar nicht in der sehr männlich konnotierten Wissenschaft. Dies widerspricht unseres Erachtens dem Ziel des Schweizerischen Nationalfonds SNF, Frauen in der Wissenschaft zu stärken und sichtbar zu machen. Als Organ des SNF und der Akademien der Wissenschaften Schweiz können Sie sehr viel Positives zu einer sich verändernden Wissenschaftskultur der Schweiz beitragen, hier zählen wir auf Ihre Unterstützung – herzlichen Dank, dass Sie das künftig berücksichtigen.

Lilian Fankhauser, Abteilung für Gleichstellung der Universität Bern

Antwort Horizonte: Wir schreiben tatsächlich manchmal nur die männliche Form und meinen die Frauen mit. Manchmal verwenden wir aber auch das generische Femininum. Horizonte legt Wert auf eine geschlechtergerechte Sprache. Die Redaktion verwendet, wenn immer möglich, anstelle von Doppelschreibweisen das substantivierte Partizip. Nun ist dies aber im Fall von Experten respektive Expertinnen nicht möglich. Wir haben uns darum entschieden, mehrheitlich den Begriff Experten zu verwenden. Ein Blick auf sämtliche Artikel des Heftes zeigt, dass wir uns bemühen, männliche und weibliche Formen zu verwenden. Wir engagieren uns sehr, den Spagat zwischen geschlechtergerechter Sprache und Lesbarkeit zu schaffen.

### Eine Art «Leitkultur»

Im Beitrag «Streben nach Präzision» (Horizonte 117, S. 25) lese ich, die Naturwissenschaften seien «zu einer Art Leitkultur innerhalb der Wissenschaften geworden». Was tun sie in der Art Leitkultur? «Psychologen messen Liebe, und Literaturwissenschaftler quantifizieren Wörter.» Frage des Journalisten: «Darf man das? Und gibt es Grenzen?» Antworten gibt der Philosoph Oliver Schlaudt – diplomierter Physiker, also Leitkulturler. Der Journalist bohrt: «Gibt es etwas, das wir prinzipiell niemals werden messen können?» Der leitwissenschaftliche Kollege zieht behende

die psychologische Karte: «Hier kommt es wieder, dieses Unbehagen!» – gegenüber dem Messen! Philosophie auf des Messens Schneide. Von Grenzen keine Rede. Aber gibt es etwas, das wir nicht messen können? Das wäre ein Thema für Horizonte. Und zum Schluss eine weitere partiell ironische Bemerkung zur Aussage: «Viele empfinden es als Skandal, wenn Dinge vergleichbar gemacht werden.» Das macht vergleichende Religionswissenschaft und vergleichende Literaturwissenschaft zu Skandalwissenschaften – ein Ehrentitel. Helmut Zander, Lehrstuhl für vergleichende Religionsgeschichte und interreligiösen Dialog, Universität Freiburg

### Mehr Stoff zum Stoff

Der Beitrag «Der Stoff, der die Schweizer Wirtschaft globalisierte» (Horizonte 117, S. 46) hat mich in dem Sinne erstaunt, dass er zwar am Schluss den Ausstellungskatalog von Prangins erwähnt, doch diesen im Text nicht einbezieht. Ausserdem ist von den erwähnten Forschenden keine Publikation zum Thema vermerkt, was meiner Meinung nach doch naheliegend gewesen wäre. Der Einbezug des Katalogs von Prangins hätte die Sichtweise und die Präzision der Angaben wohl verändert, zumal dort international bekannte und renommierte Autoren und Autorinnen der Textilforschung und Wirtschaftsgeschichte mitgearbeitet haben. Hermann Schöpfer, Kunsthistoriker, Freiburg

### Handfeste Quanteneffekte

Der Artikel über neue Entwicklungen in der Metrologie (Horizonte 117, S. 25) hat mir in seiner Prägnanz ausserordentlich gut gefallen. Widersprechen muss ich der Aussage von Oliver Schlaudt, wonach «die Quantenphysik (...) erst mit ganz genauen Messungen sichtbar» wird. Es gibt sehr handfeste Quanteneffekte wie die Supraleitung, und eine vernünftige Physik der Festkörper lässt sich nur auf der Grundlage quantenmechanischer Prinzipien aufbauen. Hans Rudolf Tschudi, Zofingen

### Alternativen zum Fleisch

Ich finde es schade, dass das Thema Laborfleisch (Horizonte 116, S. 38) auf zwei Seiten beschrieben und beurteilt wird, um es dann einfach so stehen zu lassen. Das Problem mit der Vernichtung unseres eigenen und einzigen Lebensraumes resultiert nun mal aus unserem Konsumverhalten. Gerade Wissenschaft und Forschung sollten sich der Tatsache bewusst sein, dass wir das Zuhause unserer Nachkommen im wahrsten Sinne des Wortes aufessen. Die Frage ist meiner Meinung nach nicht, welche Alternative zu Fleisch am schlechtesten ist, sondern wie wir es schaffen, dieses Problem zu überwinden. Merlin Ott, Urnäsch

## Alles zum gesunden Altern

Karl-Heinz Hug



Im Juli trafen sich 30 Expertinnen und Experten des WHO-Kooperationszentrums und Mitglieder des Netzwerks Ageing Society im Haus der Akademien in Bern. Das Thema ist ein Schwerpunkt der Akademien der Wissenschaften und wird von der Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften betreut. Gemeinsam erstellten die Teilnehmenden einen Arbeitsplan für den Zeitraum von 2018 bis 2020 und erarbeiteten in Workshops eine internationale Studie, die den Basisbericht für das Jahrzehnt des gesunden Alterns 2020 bis 2030 liefern soll.

## Gleichstellungskommission weiter nötig

Die Mitglieder der Gleichstellungskommission des SNF, die vor vier Jahren erstmals eingesetzt wurde, sind für eine weitere Amtszeit von vier Jahren bestätigt worden. Neu hinzu stösst die Juristin Michelle Cottier, Professorin für Zivilrecht an der Universität Genf, die Patricia Schulz ersetzt. Die Kommission hat genug zu tun, denn in der Wissenschaft liegen Ressourcen brach: Weniger als 20 Prozent der Professuren in der Schweiz sind durch Frauen besetzt, obwohl rund 40 Prozent der Doktorierten weiblich sind.

## Für den Nachwuchs an den Hochschulen

Akademien der Wissenschaften Schweiz



Es braucht verlässliche Karriereperspektiven für den oberen Mittelbau an Hochschulen, dafür wären zum Beispiel flachere Hierarchien und eine Abkehr vom Grossordinariat nötig. Auch gegen «Postdoc-Blasen» und die sogenannte «leaky pipeline», das Verschwinden von Frauen aus dem Wissenschaftssystem im Verlauf der akademischen Karrierestufen, braucht es Abhilfe. Die Akademie für Geistes- und

Sozialwissenschaften hat nach machbaren Reformen gesucht, daraus hervor ging der Bericht «Next Generation - Für eine wirksame Nachwuchsförderung».

## Cybersecurity: Es braucht mehr!

Am 4. Juli hat der Bundesrat Grundsatzentscheide zur Cybersicherheit gefällt. Das Advisory Board Cybersecurity der Akademie der Technikwissenschaften begrüsst zwar den Aufbau des Kompetenzzentrums, die Einsetzung einer Miss oder eines Mister Cyber sowie den Ausschuss mit Vorstehern von EFD, VBS und EJPD. Doch reichen ihm diese Massnahmen angesichts der Bedrohungslage nicht aus. Das Gremium hat deswegen in einem offenen Brief an Bundespräsident Berset ergänzende Massnahmen gefordert.

## Neue Webseite für die FH und die PH

iStock.com/Zoran Mircecic



Wie im Jahresbericht 2018 angekündigt hat der SNF eine eigene Webseite mit den Angeboten für die FH und die PH aufgeschaltet. FH- und PH-Forschende finden dort die für sie geeigneten Förderungsinstrumente sowie Antworten auf die wichtigsten Fragen. Mit der neuen Webseite und Anpassungen der Förderkriterien an die häufig anwendungsorientierte Forschung aus den PH und FH will der SNF mehr Studierende aus den Hochschulen erreichen.

## Von KI und personalisierter Medizin

Die Akademie der medizinischen Wissenschaften ist an der mehrtägigen Gesundheitsmesse «Planète Santé» in Genf aktiv: Am 5. Oktober zum Beispiel lädt sie gemeinsam mit der Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften zu einer Debatte unter dem Titel «Das Gesundheitswesen neu erfinden». Ausserdem werden an der Messe Fragen zur künstlichen Intelligenz in der Medizin beleuchtet, und das Projekt «Mensch nach Mass» ist mit einem Stand rund um Themen der personalisierten Gesundheit vertreten.

### Horizonte

Das Schweizer Forschungsmagazin erscheint viermal jährlich auf Deutsch und Französisch. Die Online-Ausgabe erscheint auch auf Englisch. 31. Jahrgang, Nr. 118, September 2018

www.horizonte-magazin.ch auf Deutsch  
www.revue-horizons.ch en français  
www.horizons-mag.ch in English

www.facebook.com/horizonsmagazine  
www.twitter.com/horizonte\_de

redaktion@horizonte-magazin.ch

### Herausgeber

Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF)  
Wildhainweg 3  
Postfach  
CH-3001 Bern  
Tel. 031 308 22 22  
com@snf.ch

Akademien der Wissenschaften Schweiz  
Haus der Akademien  
Laupenstrasse 7  
Postfach  
CH-3001 Bern  
Tel. 031 306 92 20  
info@akademien-schweiz.ch

### Redaktion

Daniel Saraga (dsa), Leitung  
Marcel Falk (mf)  
Florian Fisch (ff)  
Judith Hochstrasser (jho)  
Pascale Hofmeier (hpa)

### Gestaltung und Bildredaktion

2. stock süd netthoevel & gaberthüel,  
Valérie Chételat

### Übersetzung

Weber Übersetzungen

### Korrektorat

Anita Pfenninger

### Druck, Litho und Adressmanagement

Stämpfli AG, Bern und Zürich  
klimaneutral gedruckt, myclimate.org  
Papier: Refutura FSC, Recycling, matt  
Typografie: FF Meta, Greta Text Std

### Auflage

36 600 deutsch, 16 600 französisch

© alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck der Texte möglich: Sie sind Creative Commons BY-NC-ND lizenziert.  
ISSN 1663 2710

Das Abonnement ist kostenlos.  
www.horizonte-magazin.ch/abo

Die Artikel geben nicht die Meinung der beiden Herausgeber SNF und Akademien wieder.

### Der SNF

Der Schweizerische Nationalfonds (SNF) fördert im Auftrag des Bundes die Forschung in allen wissenschaftlichen Disziplinen. Er investiert jährlich über 900 Millionen Franken in zurzeit 5800 Projekte, an denen 16 000 Forschende beteiligt sind. Damit ist er der wichtigste Forschungsförderer der Schweiz.

### Die Akademien

Die Akademien der Wissenschaften Schweiz setzen sich im Auftrag des Bundes für einen gleichberechtigten Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft ein. Sie vertreten die Wissenschaften institutionen- und fachübergreifend. In der wissenschaftlichen Gemeinschaft verankert, haben sie Zugang zur Expertise von rund 100 000 Forschenden.

«Woher genau in den Alpen  
das Wasser kommt, ist eines der  
grössten geologischen Rätsel  
der Schweiz.»

Gunter Siddiqi Seite 19

«Der Untergrund verkörpert  
zwei übersinnliche Welten:  
das Reich der Toten, aber auch  
den Ort der Schöpfung.»

André Ourednik Seite 23

«Den meisten Menschen  
erscheint es absurd, einen  
Roboter zu bestrafen.»

Nora Markwalder Seite 41



**Seit Jahrhunderten ist das  
Erdbinnere das Reich der Kumpel.  
Heute erobern auch Forschende  
die Lichtlosigkeit unter Tage.**

Bild: shutterstock/sajinnamu