

Detlef Günther: acht Jahre Einsatz für die Forschung 36
Abfallmanagement neu gedacht 40 Alumna Karin Iten im Porträt 45

GLOBE

NR.
4/2022



DEM LEBEN AUF DER SPUR

Über den Ursprung und die
Verbreitung des Lebens 14

+GF+

+GF+

**Break the status quo.
Join GF.**

#AchievingExcellenceTogether
georgfischer.com/career



EDITORIAL

DIE GANZ GROSSEN FRAGEN



GLOBE – Das Magazin der ETH Zürich
und der ETH Alumni

Seit Urzeiten lässt die Unermesslichkeit des Alls den Menschen staunen und fragen. Heute erhalten die grossen Fragen nach dem Ursprung des Lebens neue Aktualität, wenn auch weniger aus philosophischer denn aus naturwissenschaftlicher Sicht. Wie ist das Leben auf der Erde entstanden? Wo sonst im Universum könnte es noch Orte mit Leben geben? Vor dem Hintergrund bedeutender Fortschritte in verschiedenen Disziplinen und dank modernsten Technologien scheint die Zeit nun reif, diese Fragen interdisziplinär anzugehen.

Die ETH Zürich hat deshalb ein neues Forschungs- und Lehrzentrum zur Entstehung und Verbreitung von Leben auf und ausserhalb der Erde gegründet, das über ein Fellowship-Programm speziell auch junge Talente anziehen möchte. Das Centre for Origin and Prevalence of Life besteht aus über 40 Forschungsgruppen aus fünf Departementen und wird von Nobelpreisträger Didier Queloz geleitet. Im Interview erzählt der Astrophysiker von der Tugend der Bescheidenheit angesichts der Grösse der Fragen. Andere ETH-Forschende enthüllen in dieser Nummer ihre kühnen Pläne für den Bau eines grossen Teleskops aus mehreren Satelliten, mit dem man dereinst in der Lage sein soll, Exoplaneten direkt abzubilden und chemisch zu charakterisieren auf der Suche nach Lebensspuren.

Ausserdem reflektieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus ganz anderen Disziplinen die Frage «Was ist Leben?». Die Grenze zwischen Leben und Nicht-Leben ist nicht eindeutig. Ich wünsche Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, eine anregende und horzonterweiternde Lektüre.

Joël Mesot,
Präsident der ETH Zürich



Batteriesysteme designen

mit COMSOL Multiphysics®

Multiphysikalische Simulation unterstützt die Entwicklung von innovativen Batterietechnologien. Sie erhöht das Verständnis für Mechanismen, die sich auf Betrieb, Sicherheit und Haltbarkeit auswirken. Virtuelle Experimente auf der Grundlage von multiphysikalischen Modellen, von der detaillierten Zellstruktur bis hin zum Akkupack, helfen Ihnen, genaue Vorhersagen über die reale Akkuleistung zu treffen.

» comsol.com/feature/battery-design-innovation



**Nachhaltige
Lösungen entwickeln,
die begeistern?
Mach mit uns
den Unterschied!**



Daniela, Software Engineer

**noser.com/jobs
IT-Projekte,
einzigartig wie du.**

Noser Engineering AG

Winterthur | Luzern | Bern | Rheintal | Basel | München



40

NEW + NOTED

- 6 News aus der ETH Zürich
- 8 Zellteilung als Schlüssel
- 10 **ZUKUNFTSBLOG** Vermeintlicher Stadt-Land-Graben in Umweltdebatten

FOKUS

- 16 **VOM MOLEKÜL ZUM ORGANISMUS**
Wie Leben auf der Erde entstehen und sich erhalten konnte.
- 20 **SPIELWIESEN IM UNIVERSUM** Nobelpreisträger Didier Queloz und Erdwissenschaftlerin Cara Magnabosco im Gespräch
- 24 **LEBENSFÄHIGE ERDE** Welche Kraft für lebensfreundliche Bedingungen auf der Erde sorgt.
- 26 **WAS IST LEBEN?** Überraschende Antworten von fünf ETH-Forscher:innen
- 29 **LEBEN IN FREMDEN WELTEN** Wie man Leben ausserhalb unseres Sonnensystems nachweisen könnte.



39

Bilder: Daniel Winkler; Christian Knörr

COMMUNITY

- 32 Verbunden mit der ETH
- 35 **TRANSFER** Tumorzellen unter der Lupe
- 36 **LEIDENSCHAFTLICHER TRAINER**
Detlef Günther gibt sein Amt als Vizepräsident Forschung ab.
- 39 **PERSÖNLICH** Maria Conen plädiert für Erhalt und Wiederverwendung in der Architektur.

REPORTAGE

- 40 **ABFALLMANAGEMENT NEU GEDACHT**
Studierende der ETH Zürich und aus Ghana erarbeiten kreative Lösungen.

PROFIL

- 45 **IN DER HÖHLE DES LÖWEN** Karin Iten kämpft für Kulturwandel in der Kirche.
- 48 **AGENDA**
- 50 **OUT OF FOKUS**

NEW + NOTED



Bild: Keystone / DPA / Patrick Pleut

Ein Traktor fährt mit einer Drille über den staubtrockenen Ackerboden – es hat seit Wochen nicht mehr geregnet (Brandenburg, 18. August 2022).

Grund für intensive Dürren gefunden

Der Sommer 2022 auf der Nordhalbkugel war einer der wärmsten, die jemals in Europa aufgezeichnet wurden. Ein Team aus internationalen Klimaforscher:innen unter der Leitung der Gruppe von Sonia Seneviratne der ETH Zürich zeigt den Zusammenhang zwischen dem menschengemachten Klimawandel und den intensiven Dürren auf der Nordhalbkugel diesen Sommer auf. Der Klimawandel hat laut ihrer Studie die Wahrscheinlichkeit für solch trockene Böden um das Zwanzigfache erhöht; ohne Klimawandel würden solche Dürreperioden nur etwa alle 400 Jahre vorkommen. Der Hauptakteur sind demnach die gestiegenen Temperaturen und nicht veränderte Niederschlagsmengen, so die Forscher:innen.

Für ihre Studie analysierte die Kollaboration die Bodenfeuchtigkeit in den Monaten Juni, Juli und August 2022 auf der nördlichen Halbkugel ausser-

halb der Tropen. Ein Fokus galt West- und Mitteleuropa, wo eine besonders schwere Dürre herrschte und die Ernteerträge erheblich zurückgingen. Ein Mangel an Feuchte im obersten Meter des Bodens, der sogenannten Wurzelzone, in der Pflanzen Wasser aufnehmen, wird als landwirtschaftliche und ökologische Dürre bezeichnet.

Vor allem seien landwirtschaftliche und dicht besiedelte Regionen gefährdet. Falls die Temperaturen weiter ansteigen, sind noch stärkere und häufigere Sommerdürren zu erwarten. Dies kann gravierende Konsequenzen für die Lebensmittelproduktion und die Wasservorkommnisse haben. Ausserdem werden Waldbrände häufiger auftreten können. ○

Was unser Körpergewicht beeinflusst

Forschende der ETH Zürich unter der Leitung von Markus Stoffel fanden heraus, dass unsere klassischen Gene nicht die einzig verantwortlichen für unsere Tendenz zum Übergewicht sind: Auch das Mikro-RNA-Molekül Mikro-RNA 7 wurde als Täter entlarvt. Mikro-RNA-Moleküle gehören zu den sogenannten epigenetischen Erbinformationen und werden demnach nicht in Proteinform übersetzt, wie dies bei klassischen Genen der Fall ist. Sie kommen in den Zellen in RNA-Form vor.

Sobald die Bauanleitung für die Mikro-RNA 7 genetisch variiert ist oder gar fehlt, neigen Lebewesen zum Übergewicht. Herausgefunden haben dies die Forschenden unter anderem anhand von Versuchen an Mäusen: Sie züchteten Mäuse, denen die Mikro-RNA 7 in bestimmten Nervenzellen des Hypothalamus, dem Regulationszen-

trum zwischen Hormon- und Nervensystem, fehlt. Diese Mäuse zeigten einen krankhaft gesteigerten Appetit und wurden fettleibig. Auch eine Auswertung von menschlichen Gesundheitsdaten zeigte, dass übergewichtige Menschen einen variierten Bauplan der Mikro-RNA 7 aufweisen.

Zumindest theoretisch liesse sich die neue Erkenntnis auch in der Medizin nutzen. Es gibt bereits Medikamente auf RNA-Basis, welche den Wirkungsmechanismus von Mikro-RNA-Molekülen im Körper nutzen. So könnten dereinst auch Therapien entwickelt werden für Personen, in deren Hypothalamus zu wenig Mikro-RNA 7 hergestellt wird und die deshalb fettleibig sind. Denkbar wären auch Therapien für den umgekehrten Fall: für Personen mit einer Prädisposition zu krankhaft niedrigem Körpergewicht oder Abmagerung könnte die Mikro-RNA 7 pharmakologisch gehemmt werden. ○

Stabil in allen möglichen Formen

Seit Längerem tüfteln Forscher:innen an Materialien, die je nach Bedarf verschiedene stabile Formen annehmen können. Ziel dieser sogenannten multistabilen Strukturen ist es, Objekte zu bauen, deren dreidimensionale Gestalt sich je nach Bedarf dauerhaft verändern lässt. Giada Risso, ETH-Doktorandin in der Gruppe von Paolo Ermanni, entwickelte nun eine Struktur, die sich x-beliebig verformen lässt und dabei stabil bleibt. Angewendet werden kann sie in Bereichen wie dem Bauwesen, der Raumfahrt oder der Robotik.

Anders als ähnliche bisher entwickelte Materialien ist Rissos Lösung kosteneffizienter und flexibler. Die Struktur lässt sich mehrmals verformen und kann den Ausgangszustand wieder annehmen. Als Basis dient ein Quadrat aus Polyurethanfolie mit einem Karbonrahmen, welches mit weiteren Quadraten ergänzt werden kann. ○

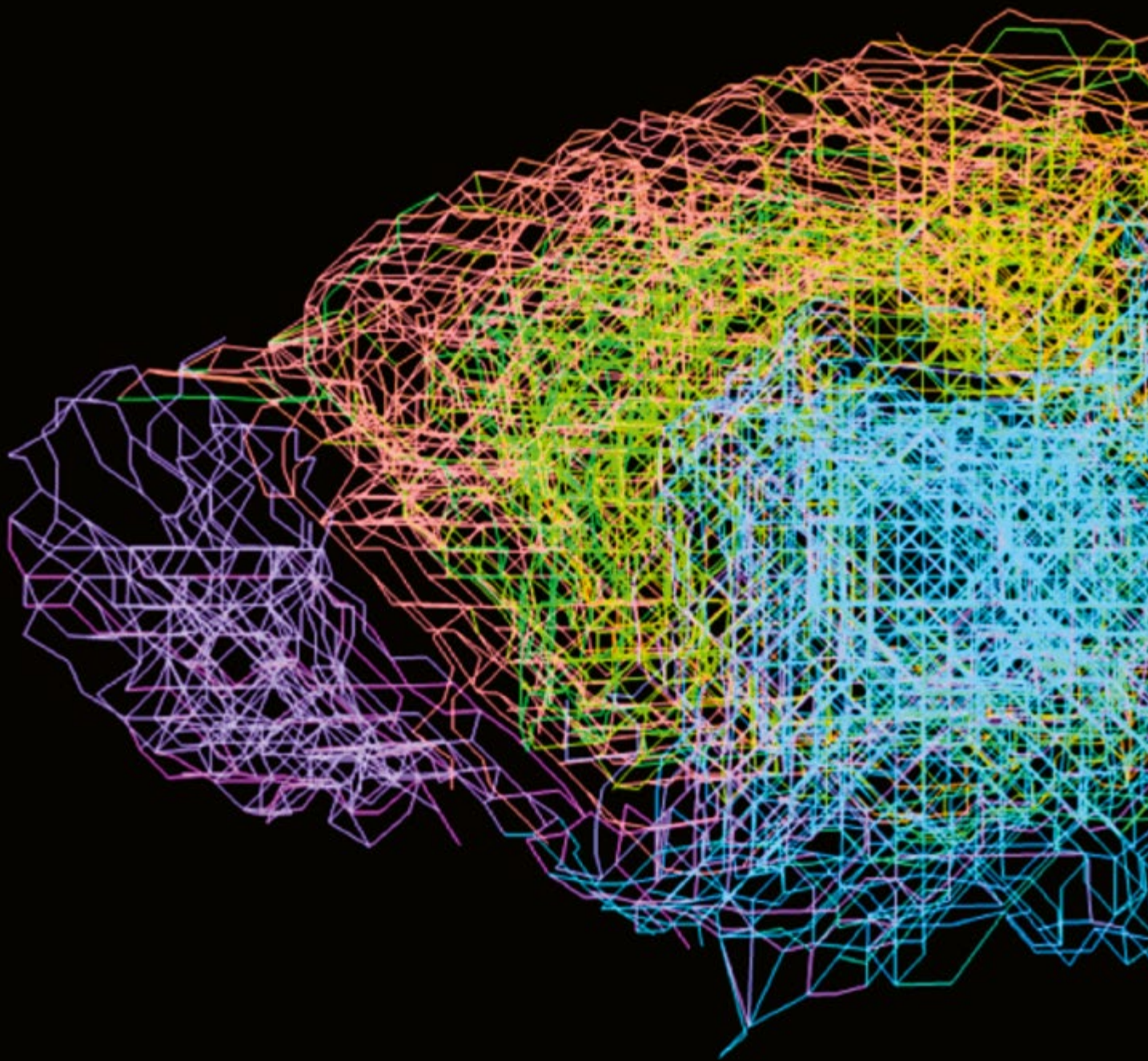


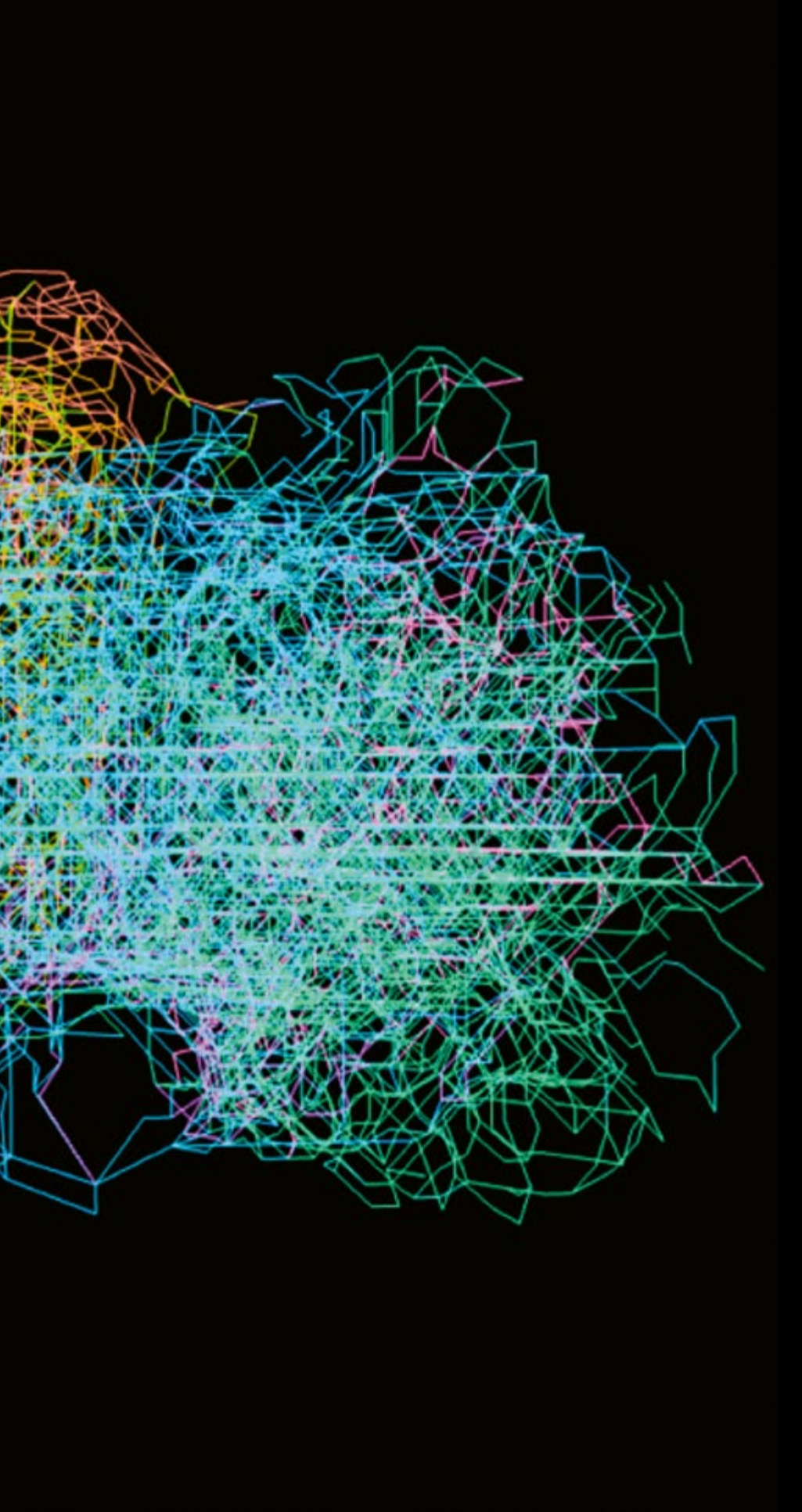
Bild: ETH Zürich / Giada Risso

Die multistabile Struktur ist leicht, einfach herzustellen, beliebig erweiterbar und nach Bedarf verformbar.

Video:
youtu.be/gLhdczokvQY







Zellteilung als Schlüssel

VERNETZT ○ Das menschliche Gehirn ist das weitaus komplexeste Organ, das die Natur je hervorgebracht hat: 100 Milliarden Nervenzellen, die über Synapsen mit Tausenden anderen Zellen verbunden sind, ermöglichen es uns, alle wesentlichen Tätigkeiten des täglichen Lebens auszuführen. Aber wie kann eine kleine Ansammlung von Embryonalzellen autonom zu einem riesigen neuronalen Netzwerk heranwachsen, das fähig ist, zu lernen? Stan Kerstjens, Doktorand am Institut für Neuroinformatik der ETH Zürich und der Universität Zürich, hat zusammen mit seinen Forschungskollegen ein Modell entwickelt, das die Entwicklung eines Mäusegehirns simuliert. Ausgehend von einer Anfangszelle entstehen durch Zellteilung hierarchisch organisierte Zonen eng verwandter Zellen mit charakteristischen genetischen Profilen. Die Fortsätze der Nervenzellen nutzen diese verwandtschaftlichen Beziehungen wie ein molekulares Adressbuch, um im Hirngewebe zu navigieren. So können die Nervenzellen ihre entfernten Ziele finden und das Konnektom bilden – eine umfassende Karte aller neuronalen Verbindungen im Gehirn. ○

→ www.ini.uzh.ch

Vermeintlicher Stadt-Land-Graben

In Umweltdebatten wird gerne eine Kluft zwischen städtischer und ländlicher Gesinnung kolportiert, die es so nicht gibt, sagt Thomas Bernauer.



THOMAS BERNAUER ist Professor für Politikwissenschaft am Departement Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften der ETH Zürich.

Hier die konservativen Landmensen. Sie geben vor allem im Auto Gas und treten beim Schutz von Klima und Biodiversität auf die Bremse. Dort die links-grünen Stadtmensen, die viel fliegen, aber Klimaschutz predigen. Zur Deutung umweltpolitischer Debatten und Abstimmungen werden oft solche Stadt-Land-Klischees bemüht.

Hochkonjunktur hatte die umweltpolitische Grabendiagnose jüngst etwa beim CO₂-Gesetz sowie den Initiativen zu Trinkwasser, Pestiziden und Tierhaltung in der Landwirtschaft. Was ist dran an diesem (vermeintlichen) Stadt-Land-Graben bei Umweltfragen? So viel vorab: Ich halte solche Rhetorik für irreführend, weil es nur wenig empirische Evidenz für diesen Gegensatz gibt. Doch der Reihe nach.

KAUM RELEVANTE UNTERSCHIEDE Ob es einen umweltpolitischen Graben zwischen Stadt- und Landbevölkerung gibt, hat meine Forschungsgruppe im Rahmen des Schweizer Umweltpanels untersucht. Seit 2018 befragen Forschende der ETH Zürich zusammen mit dem Bundesamt für Umwelt zweimal pro Jahr mehrere Tausend zufällig aus-

gewählte Personen in der Schweiz zu ihren Einstellungen zu verschiedenen umweltpolitischen Themen und zu ihrem Verhalten.

Unsere Umfragedaten zeigen: Bei den umweltbezogenen Einstellungen und Verhaltensweisen finden sich kaum relevante Unterschiede zwischen den Siedlungsräumen. Zwar sind die Umwelteinstellungen im sehr ländlichen Raum ein wenig schwächer ausgeprägt als in grossen Städten. Auch nutzen Befragte auf dem Land tendenziell häufiger ein Auto und essen etwas mehr Fleisch, während in der Stadt etwas mehr geflogen wird. Insgesamt sind sich umweltbezogene Einstellungen und Verhaltensweisen aber sehr ähnlich – ein genereller Stadt-Land-Graben ist praktisch nicht nachweisbar.

PUNKTUELLE DIFFERENZEN AN DER URNE Betrachten wir die letzten 20 Jahre und beziehen neun verschiedene Siedlungsraumtypen mit ein, fällt der Stadt-Land-Unterschied insgesamt ebenfalls gering aus. Allerdings gab es in jüngerer Zeit einzelne Vorlagen mit Bezug zur Landwirtschaft oder fossilen Treibstoffen, bei denen Stadt und Land deutlich anders stimmten: Dazu zählt etwa das Jagdgesetz mit einem Unterschied von 18,9 Prozentpunkten, aber auch das CO₂-Gesetz (17,8 Prozentpunkte), die Trinkwasserinitiative (15,4 Prozentpunkte) und die Pestizidinitiative (14,5 Prozentpunkte).

Daraus aber zu schliessen, in der Schweiz sei eine generelle umweltpolitische Polarisierung zwischen Stadt und Land im Gang, halte ich mit

Blick auf die Gesamtheit der Abstimmungen der letzten 20 Jahre sowie Umfragedaten des Schweizer Umweltpanels zu Umwelteinstellungen und Umweltverhalten seit 2018 für spekulativ und weitgehend falsch.

WIE WEITER MIT DER UMWELTPOLITIK? Die Erkenntnisse aus dem Schweizer Umweltpanel stimmen mich eher zuversichtlich. Wo wir wohnen, hat generell gesehen wenig damit zu tun, wie umweltbewusst wir sind und uns verhalten. Wenn Umweltvorlagen an der Urne scheitern, dann also meistens nicht wegen einem Stadt-Land-Graben.

Dies bedeutet allerdings nicht, dass wir Stadt-Land-Gegensätze einfach pauschal ausblenden können, wenn wir Lösungen für Umweltprobleme entwickeln – im Gegenteil: So können zum Beispiel die Kosten eines stärkeren Umweltschutzes in ländlichen Regionen punktuell tatsächlich höher ausfallen als in urbanen Gebieten. Bei den obgenannten Vorlagen führten denn auch die wahrgenommenen Kostenunterschiede zu den unterschiedlichen Stimmen von Stadt und Land.

Künftig gilt es also, mehrheitsfähige Vorlagen zu gestalten, welche Kosten und Nutzen zwischen Stadt und Land möglichst gerecht verteilen. Wissenschaftlich gut fundierte Befragungen der Schweizer Bevölkerung können dazu einen wesentlichen Beitrag leisten. ○



Haben die Stadt- und die Landbevölkerung das Heu auf derselben Bühne? Im Bild ein Abstimmungsplakat zur Trinkwasser- und Pestizid-Initiative vom Juni 2021.

Bild: zVg; Keystone / Urs Flueeler

Plastikabbau verfolgen

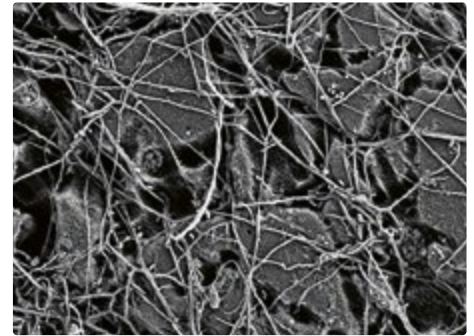


Bild: Michael Zumstein

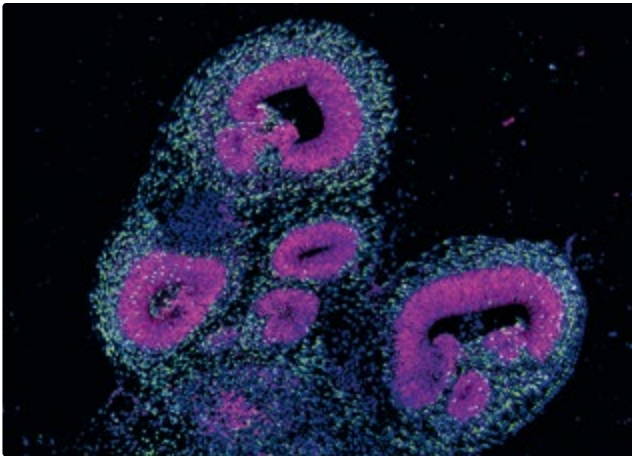
Unter dem Elektronenmikroskop zeigt sich, dass die Polymere durch besiedelte Pilze und Bakterien nach sechs Wochen bereits merklich abgebaut sind.

Landwirte nutzen beim Ackerbau Mulchfolien aus Polyethylen, mit denen sie den Ackerboden abdecken. Jedoch gelangt dadurch auch Polyethylen in den Boden, das sich bei konventionellen Folien nicht biologisch abbaut. Als Alternative gibt es biologisch abbaubare Folien – deren Abbau konnte man bis anhin aber nicht vollständig nachweisen und erfassen. Die Gruppe von Michael Sander hat nun eine Methode entwickelt, mit welcher man den Abbau von Polymeren komplett nachverfolgen kann. Dafür werden Polymere mit einem stabilen Kohlenstoffisotop markiert. Die Forschenden können den Kohlenstoff während des Abbaus dann gezielt verfolgen und somit nachweisen, ob und wie der Abbau stattgefunden hat.

Ein Polymer galt bis anhin als biologisch abgebaut, wenn während einer definierten Zeitspanne eine Mindestmenge des Polymerkohlenstoffs in CO_2 umgewandelt wird. Bislang hat man nur die CO_2 -Bildung gemessen, um den Abbau nachzuweisen; wieviel Kohlenstoff im Boden verblieb und ob dieser von Mikroorganismen weiterverarbeitet wurde, blieb unklar. Mit dem stabilen Kohlenstoffisotop kann man dies nun beantworten. Die Forschenden konnten das stabile Isotop selektiv verfolgen und durch Mengenveränderungen im Boden und seiner Umwandlung in CO_2 bestimmen, wieviel und wie genau die Polymere abgebaut wurden. ○

Entwicklung genaustens nachverfolgen

Bild: ETH Zürich / F. Sanchis Calleja, A. Jain, P. Wahle



Gehirnorganoid aus menschlichen Stammzellen unter dem Fluoreszenzmikroskop

Den Forschenden um Barbara Treutlein, ETH-Professorin am Departement Biosysteme in Basel, gelang es, dreidimensionale Gehirngorganoide aus Stammzellen zu züchten, anhand derer sie die Entwicklung des menschlichen Gehirns genauestens nachverfolgen können. Zuvor nutzte man dafür Tiermodelle oder flache Zellkulturen. In den Organoiden konnten die Forschenden unter anderem die Genaktivität einzelner Zellen erfassen. Daraus kreierten sie eine Landkarte, auf welcher die molekularen Fingerabdrücke jeder Zelle im Organoid kartografiert sind. Dazu schalteten die Forschenden mittels einer Genschere gezielt einzelne Gene in den Zellen aus; so konnten sie überprüfen, welchen Effekt die Gene auf die Entwicklung verschiedener Gehirnzellen haben und welche Rolle sie bei Erkrankungen des Gehirns spielen. ○

NEW + NOTED

Ungenügende Richtlinien

Damit die brasilianischen Waldflächen nicht weiter für den Sojaanbau abgeholzt werden, gibt es freiwillige Null-Abholzungs-Verpflichtungen. Händler, die diese Verpflichtungen annehmen, dürfen Soja nicht aus neu abgeholztem Gebiet kaufen. Rachael Garrett, Assistenzprofessorin für Umweltpolitik der ETH Zürich, und ihr ehemaliger Mitarbeiter Florian Gollnow waren an zwei Studien beteiligt, die zum Schluss kommen, dass die Einführung einer solchen Verpflichtung – das Amazon Soy Moratorium (ASM) – die Wälder Brasiliens nur ungenügend schützt.

Dafür finden die Forschenden mehrere Gründe: Zum einen wird die Abholzung in Gebiete abgedrängt, die nicht durch das ASM geschützt werden; so wird vermiedene Abholzung durch Rodungen ausserhalb wieder ausgeglichen. Zum anderen ist weniger brasilianische Waldfläche als angenommen durch das ASM geschützt, wie die von Gollnow geleitete Studie schlussfolgert. In dieser Studie untersuchen die Forschenden auch, welche Sojähändler die Verpflichtungen übernehmen. Grössere Händler tendieren eher zu einer Übernahme als kleinere, die Soja mehrheitlich aus gefährdeten Gebieten beziehen. ○



Bild: AdobeStock

Für einen effektiven Schutz bräuchte es eine umfassendere Übernahme der ASM-Richtlinien – auch in Importländern, die die Abholzung durch ihre Nachfrage beeinflussen.

ETH zürich

Die ETH Zürich auf Social Media



Diskutiere mit uns,
wo Zukunft entsteht.



Bild: Adobe Stock

ETH zürich | School for Continuing Education

Inspired by the best

Weiterbildung für akademisch
gebildete Fach- und Führungskräfte

MAS, DAS, CAS und Weiterbildungskurse
auf www.sce.ethz.ch






DEM LEBEN AUF DER SPUR

FOKUS | Wie ist das Leben auf der Erde entstanden? Wo im Universum könnte es sonst noch Leben geben? Um Antworten auf diese uralten Fragen zu finden, hat die ETH Zürich ein wegweisendes Zentrum gegründet.

BILDSERIE | Victoria Engler, Corinne Johannssen, Karin Köchle



Extrem in allen Belangen

In Wirklichkeit sind Bärtierchen (*Tardigrada*) nur etwa einen Millimeter gross. Imposant sind sie dennoch: Sie können in einem todesähnlichen Zustand absolute Trockenheit, Radioaktivität, Gifte oder sogar das Vakuum im Weltall überleben. Sie sind damit längst nicht die Einzigen. Auf der Erde lebt eine Vielzahl an Lebewesen unter Bedingungen, die man gut und gerne als lebensfeindlich bezeichnen darf. Was für andere tödlich ist, benötigen sie für ihr optimales Wachstum.

Solche extremophilen Organismen sind die Pioniere des irdischen Lebens. Sie helfen, dessen Ursprung und Verbreitung besser zu verstehen und die Möglichkeit extraterrestrischen Lebens auszuloten. Wenn es auf der Erde Lebewesen gibt, die Hypergravitation oder 400 Grad Celsius problemlos überleben, dann ist es leicht vorstellbar, dass es auch auf anderen Planeten Leben gibt. Die Frage wäre dann vielmehr, ob wir es jemals finden werden. ○

Wie entstand Leben auf der Erde? Wie konnte es sich erhalten und weiterentwickeln? ETH-Forschende sind auf der Suche nach Antworten auf diese grossen Fragen.

TEXT Peter Rüegg

VOM MOLEKÜL ZUM ORGANISMUS

Seit jeher suchen Menschen nach Antworten auf die Frage, wie das Leben auf der Erde entstanden ist. Frühere Kulturen erklärten sich die Entstehung der Erde und den Ursprung des Lebens durch das Wirken von Göttern und Gottheiten. Die Wissenschaft geht anders an diese Frage heran. Generationen von Forschenden haben basierend auf den Grundgesetzen von Physik, Chemie und Biologie Theorien und Hypothesen über den Ursprung des Lebens aufgestellt – und mittlerweile auch viel Wissen angesammelt.

«Dass wir solchen Fragen nachgehen, ist in unserer westlichen Welt tief verankert. Es ist eine wissenschaftlich gestellte Glaubensfrage», sagt Roland Riek, Professor für Physikalische Chemie der ETH Zürich. Er setzt sich in seiner Forschung unter anderem mit der Frage auseinander, welche chemischen Bausteine, die es für die Entstehung von Leben braucht, zuerst vorhanden waren.

DIE CHEMIE MUSSTE STIMMEN Für Riek sprechen viele Indizien dafür, dass die erste chemische Welt, ein paar hundert Millionen Jahre nach der Geburt der Erde, aus Aminosäuren und daraus mittels Vulkangas entstandenen Peptiden bestanden haben muss. Sie seien stabil und hielten ziemlich hohe Temperaturen aus. Zudem sind Aminosäuren relativ einfach zu erschaffen, was andere Forscher mit «Ursuppen-Experimenten» zeigten. Aminosäuren findet man auch auf Meteoriten, im Verhältnis dazu jedoch kaum Bausteine von Ribonukleinsäuren (RNA), welche die meisten Wissenschaftler:innen als die ersten chemischen Verbindungen betrachten, die die Grundlage des Lebens auf der Erde bildeten.

«Peptide haben die gleichen Fähigkeiten wie Ribonukleinsäuren: Sie können sich selbst vervielfältigen, ohne dass dafür allerdings die hohe Präzision der RNA-Vervielfältigung erforderlich ist. Wie

RNA haben sie sowohl die Fähigkeit zur Speicherung und Weitergabe von Informationen als auch dazu, katalytisch aktiv zu sein», betont Riek, der in seinem Labor unter anderem erforscht, wie aus einfach aufgebauten Peptiden Amyloide werden. Amyloide sind sehr zähe, kaum mehr auflösbare Molekülkomplexe, die sich aus den immer gleichen Peptiden zusammensetzen – und solche Peptidkomplexe können Informationen speichern, weitergeben und wie Kristalle wachsen.

Amyloide können zudem leicht an RNA-Moleküle binden. «Daher ist für mich klar, was am Anfang gewesen sein könnte: Aminosäuren, Peptide und schliesslich Amyloide, die irgendwann auf RNA getroffen sind und sich mit ihnen verbunden haben», erklärt Riek. «Aus dieser Verbindung entwickelte sich im Lauf der Zeit die Erbinformation».

Ein solches Treffen der chemischen Grundbausteine könnte in hydrothermalen Schloten in der Tiefsee oder in einem urzeitlichen Gezeitentümpel, in dem sich durch Verdunstung Moleküle aufkonzentrieren konnten, stattgefunden haben. Die hohen Konzentrationen führten zur spontanen Synthese komplexerer Moleküle. «Im offenen Ozean wird das nicht passieren, weil die Verdünnung viel zu gross ist», gibt der Forscher zu bedenken.

WEG ZUR ERSTEN ZELLE Wie es jedoch zur Bildung einer ersten Zelle kam, wissen Forschende nur ansatzweise. «Darüber haben wir nur sehr wenige Informationen», sagt Riek, der auch Physik und Biologie als fachlichen Hintergrund hat.

Zentral scheint jedoch zu sein, dass sich in der molekülreichen Ursuppe geschlossene Kompartimente formieren konnten, und dafür brauchte es Fettsäuren. Solche Vorgänger von Lipiden können sich spontan zu Membranen zusammenlagern und kleine Bläschen bilden – von der Ursuppe

«Die erste chemische Welt bestand vermutlich aus Aminosäuren und Peptiden.»

Roland Riek



Das wachsende Amyloid dient als Vorlage für sich selbst: Aminosäuren (farbige Bausteine) lagern sich am richtigen Ort an.

Bild: ETH Zürich / Lukas Frey

abgetrennte Reaktionsgefässe also, in denen Substanzen und Moleküle noch stärker aufkonzentriert werden. Ein solches Vesikel begünstigt und beschleunigt chemische Reaktionen um ein Vielfaches.

VON PRIMITIV ZU KOMPLEX «Die Vesikelbildung war wohl auch der Schlüssel für die Entstehung von Einzellern, in denen sich komplexere Moleküle wie RNA weiter vervielfältigen konnten und in denen sich ein Stoffwechsel entwickelte, der genügend Energie erzeugt, um die Vervielfältigungsprozesse zu beschleunigen, und die Weitergabe genetischer Information verbesserte», ergänzt Martin Pilhofer, Professor am Institut für Molekularbiologie und Biophysik der ETH Zürich.

«Wie lange diese Phase dauerte, ist unklar. Je weiter wir in der Erdgeschichte zurückgehen, desto unsicherer werden unsere Hypothesen und Erkenntnisse», sagt Pilhofer. Auch das Auftreten der ersten Einzeller lässt sich nicht genau festmachen. Geschätzt wird, dass sie vor rund 3,5 bis 4 Milliarden Jahren in Erscheinung traten, wie fossile Bakterien belegen. Mit Sicherheit war die Erde vor 3 Milliarden Jahren belebt.

Wahrscheinlich ist, dass die ersten Einzeller an Orten mit externer Energieversorgung – also im Umfeld von hydrothermalen Schloten in der Tiefsee oder von heissen Quellen, wie es sie beispielsweise im Yellowstone-Nationalpark gibt. Erst durch die Entwicklung eines eigenen Stoffwechsels gelang es den Einzellern, sich von der externen Energiequelle unabhängig zu machen und neue Lebensräume zu erobern. →

URAHN AUS DER TIEFSEE Im Umfeld von solchen Unterseeschloten könnten sich einzellige Lebewesen früh in unterschiedliche Richtungen entwickelt haben: «Wir vermuten, dass sich an solchen extremen Orten ursprüngliche Einzeller bald nach ihrer Entstehung in Bakterien und Archaeen aufspalteten», sagt Mikrobiologe Pilhofer.

Bakterien und Archaeen, früher auch als Archaeobakterien oder Urbakterien bezeichnet, sind meist einzellige Organismen ohne Zellkern. Sie bilden im phylogenetischen Stammbaum zwei grosse Domänen. Eine dritte Domäne stellen die Eukaryonten dar. Eukaryonten haben im Gegensatz zu Bakterien und Archaeen einen Zellkern, in welchem die Erbsubstanz DNA gehortet wird. Eine weitere Eigenheit von Eukaryonten sind zudem die durch Membranen abgetrennten Zellkompartimente wie Mitochondrien oder Chloroplasten.

Forschende suchen schon lange nach Erklärungen dafür, wie aus bakteriellen oder archaeellen Mikroben Eukaryonten hervorgehen konnten. Viele Wissenschaftler:innen halten es für möglich, dass eine Wirtszelle ein Bakterium «geschluckt» hat. Dieses hat sich im Laufe der Zeit zum Mitochondrium, dem Kraftwerk von Eukaryonten, weiterentwickelt. «Dass es ein solches Ereignis gegeben hat, ist unumstritten», sagt Pilhofer. Ein weiteres solches Ereignis dürfte auch dazu geführt haben, dass ein photosynthetisch aktives Cyanobakterium in eine Zelle aufgenommen wurde und zum Chloroplasten wurde, der in grünen Pflanzen und Algen Photosynthese betreibt.

Welches diese Wirtszelle – der Urahn der Eukaryonten – gewesen sein könnte, ist hingegen nicht klar. Nun aber lüftet sich der Schleier: Vor wenigen Jahren publizierten Wissenschaftler:innen neue Erkenntnisse über eine ursprüngliche Gruppe von Archaeen, die erst kürzlich entdeckt wurde.

Sie stammen von einem thermalen Tiefseeschlot namens Loki's Castle. Das Hydrothermalfeld, wo 300 Grad Celsius heisses Wasser aus den Gesteinskaminen strömt, wurde erst 2008 im Nordatlantik in 2300 Metern Tiefe gefunden. Schwedische Forschende nahmen Sedimentproben und analysierten das darin enthaltene genetische Material. Damit konnten sie die Genome von unbekanntem Organismen rekonstruieren. «Diese Erkenntnisse haben die Sichtweise auf den Stammbaum des Lebens revolutioniert», betont Pilhofer.

Denn die Genome deuteten auf eine neue Gruppe von Archaeen hin, die in Anlehnung an den Fundort Loki's Castle zuerst als Loki-Archaeen bezeich-

net wurden, später aufgrund weiterführender genomischer und morphologischer Untersuchungen als Klasse der Asgard-Archaeen eingeteilt wurden.

Diese neu beschriebenen Mikroorganismen liessen den Schluss zu, dass Eukaryonten nicht eine eigene Domäne sind, sondern eine Unterdomäne der Asgard-Archaeen. Den Grund dafür erklärt Martin Pilhofer so: «Das Genom der Asgard-Archaeen enthält einige Gene, die wir typischerweise nur aus Eukaryonten kennen. Ein prominentes Beispiel ist das Gen, welches die Erbinformation für das Zytoskelettprotein Aktin trägt. Das heisst, die Archaeen verfügen über Proteine, die wir bisher nur in Eukaryonten gefunden haben.»

Der Mikrobiologe mit Spezialgebiet Zytoskelette hat denn auch eine mögliche Erklärung, wie die ursprüngliche Asgard-Archaeen sich das Bakterium schnappen konnte: dank Tentakeln, die durch Aktin gestützt werden. Damit erkunden sie ihre Umgebung und treten mit anderen Organismen in Austausch.

Da Archaeen und Bakterien an solch extremen Orten oft in dicht gepackten, artenreichen biologischen Rasen (engl. biological mats) wachsen, finden unzählige Interaktionen zwischen Individuen und unterschiedlichen Arten statt. Mit den Tentakeln könnte ein Asgard-Archaeum schliesslich das fragile Bakterium umschlossen und sich einverleibt haben. «Es dürfte also eine urzeitliche Asgard-Archaeen gewesen sein, die ein Bakterium aufgenommen hat und den Grundstein legte für die Entwicklung eukaryontischer Zellen», erklärt Pilhofer.

Mit seiner Gruppe ist er daran, hochaufgelöste Elektronenmikroskopiebilder von den Asgard-Archaeen zu machen. Auf den bisherigen Bildern kann er nicht gut genug beurteilen, ob diese Organismen ein Zytoskelett haben. Auch wollen die ETH-Forschenden klären, wie die Zellmembran der Asgard-Archaeen aussieht und ob es in diesen Zellen ein spezielles inneres Membransystem gibt. «Diese Forschung hilft uns, besser zu verstehen, wie sich eine Wirtszelle, die einst mit einem Bakterium verschmolzen ist, zu einer komplexen eukaryontischen Zelle weiterentwickelt hat», sagt Pilhofer. ○

ROLAND RIEK ist Professor für Physikalische Chemie am Departement Chemie und Angewandte Biowissenschaften und Co-Direktor des Centre for Origin and Prevalence of Life (COPL) der ETH Zürich.

→ bionmr.ethz.ch

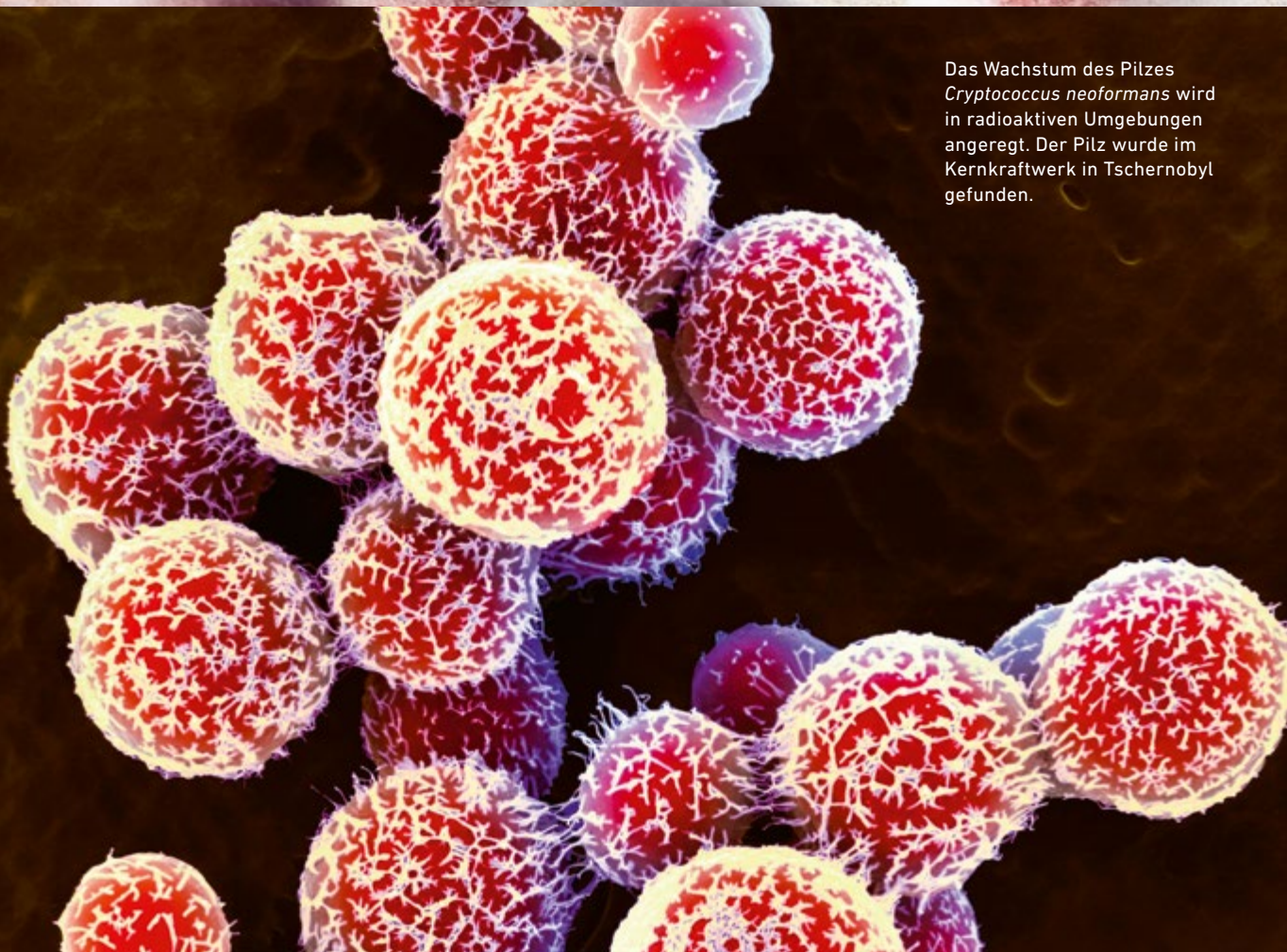
MARTIN PILHOFER ist Professor für Kryoelektronenmikroskopie am Departement Biologie der ETH Zürich.

→ pilhoferlab.ethz.ch

Schneevalgen leben in Schneedecken – ein Lebensraum mit sehr tiefen Temperaturen, starker UV-Strahlung und wenigen Nährstoffen. Bisher wurden 350 Arten dieser winzigen Einzeller entdeckt.



Das Wachstum des Pilzes *Cryptococcus neoformans* wird in radioaktiven Umgebungen angeregt. Der Pilz wurde im Kernkraftwerk in Tschernobyl gefunden.



SPIELWIESEN IM UNIVERSUM

Nobelpreisträger und Astrophysiker Didier Queloz und die Erdwissenschaftlerin Cara Magnabosco über den Ursprung des Lebens auf der Erde, komplexes Leben ausserhalb der Erde und das Ende jeden Lebens.

INTERVIEW Corinne Johannssen, Anna Maltsev

Sie beide beschäftigen sich mit den grossen Fragen des Universums. Fühlen Sie sich da nicht manchmal klein und unbedeutend?

DIDIER QUELOZ: Doch, das tu' ich tatsächlich. Aber das ist kein Problem, sondern wohl eher eines der Privilegien, die man in der Grundlagenforschung hat. Wer wirklich das Unbekannte erforschen will, muss bescheiden sein, denn man weiss ja nie, was man finden wird. Bescheidenheit ist bei Forschenden eine wünschenswerte Eigenschaft. Wissenschaft ist wirklich faszinierend, wenn man entlang einer Zeitachse forscht, die sich über Milliarden von Jahren erstreckt. Auf die Zukunft bereitet man sich vor, indem man auf der Vergangenheit aufbaut. Das ist ein wichtiger Aspekt des neu gegründeten Centre for Origin and Prevalence of Life (COPL).

CARA MAGNABOSCO: Als Erdwissenschaftlerin und Evolutionsforscherin beschäftige ich mich mit der Erdgeschichte und dem zeitlichen Ablauf der menschlichen Evolution. Verglichen mit dem Alter unseres Planeten ist unsere Lebensspanne extrem kurz.

Wo genau liegt der Schwerpunkt Ihrer Forschung, Frau Magnabosco?

MAGNABOSCO: Ich untersuche die Interaktionen zwischen lebenden und nicht lebenden Systemen. Zentrale Fragen für mich sind zum Beispiel,

wie eine Welt ohne Leben aussieht und was passiert, wenn dort Leben, Stoffwechsel und Biodiversität hinzukommen.

Haben Sie überhaupt noch genug Zeit für Ihre eigene Forschung? Sie sitzen ja beide im Direktorium des COPL, dem 40 Forschungsgruppen angehören.

MAGNABOSCO: Wir müssen uns Zeit nehmen, um den Austausch unter den Forschenden zu fördern, etwa mit Veranstaltungen. Dieser Aufwand zahlt sich aber aus. Denn es ist ein grosser Gewinn für die Forschung. Und das gesamte Team des Centre unterstützt uns dabei sehr.

QUELOZ: Ich hatte beschlossen, meine Forschungszeit zu halbieren, um mich der Entwicklung des COPL zu widmen. Die Gründung des COPL hat meine Forschung nun aber vervielfacht und meine eigene Rolle darin verändert. Es geht nicht mehr darum, dass ich und mein Team in meinem Labor arbeiten. Jetzt geht es darum, dass ich in einer viel grösseren Gruppe von Menschen arbeite, die ihre Kräfte bündeln, um eine der grössten Fragen des Universums anzugehen. Diese Arbeitsweise hat auch Auswirkungen auf die akademische Kultur, in der manchmal die Tendenz besteht, egoistisch die eigenen Interessen zu verfolgen.

Was können Sie als Erdwissenschaftlerin und Astrophysiker voneinander lernen?

MAGNABOSCO: Nachdem wir nun Tausende von Exoplaneten entdeckt und bei deren Beobachtung riesige Mengen an Wissen und Daten gesammelt haben, besteht der nächste Schritt darin, mehr über ihre Zusammensetzung, ihr Inneres, ihre Oberfläche und ihre Atmosphäre herauszufinden. Für mich als Geobiologin, die die Entwicklung des Lebens im Laufe der Erdgeschichte untersucht, sind das Tausende und Abertausende neuer Spielwiesen, Geschichten und Atmosphären, die Leben ermöglichen könnten.

QUELOZ: Wenn ich über Gesteinsplaneten sprechen will, wende ich mich an einen Planetenforscher. Über erdähnliche Planeten weiss niemand mehr als ein Geophysiker. Eine Chemikerin, die den Ursprung des Lebens erforscht und wissen will, wie die Oberfläche eines Planeten chemisch zusammengesetzt ist, fragt Cara. Es ist wie ein grosses Puzzle. Man darf die Frage nicht nur aus einer Richtung betrachten. Sonst könnte man am Ende von falschen Annahmen ausgehen. Das ist das Schöne am COPL: Es ist ein Schmelztiegel von verschiedensten Fachkenntnissen, Talenten und Altersgruppen.

Herr Queloz, Sie forschen seit über 30 Jahren. Frau Magnabosco, Sie sind erst 33 Jahre alt. Gibt es zwischen den Forschergenerationen Unterschiede?

QUELOZ: Die junge Generation ist viel klüger als die ältere. Weil es mehr zu lernen gibt, ist die Herausforderung grösser. Ich glaube, beide Generationen haben zur Forschung dieselbe Einstellung, aber die Jüngeren legen eine grandiose Energie und Kreativität an den Tag, und das ist entscheidend, um



DIDIER QUELOZ ist Nobelpreisträger und Professor für Exoplaneten an der ETH Zürich. Er ist Direktor des Centre for Origin and Prevalence of Life (COPL).

→ copl.ethz.ch



CARA MAGNABOSCO ist Assistenzprofessorin für Geobiologie an der ETH Zürich und Co-Direktorin des COPL.

→ geobiology.ethz.ch

«Verglichen mit dem Alter unseres Planeten ist unsere Lebensspanne extrem kurz.»

Cara Magnabosco

Fortschritte zu machen. Doch Forschende, die pure Energie und extreme Kreativität miteinander verbinden, können leicht in Fallen tappen und Fehler machen. Deshalb ist es so wertvoll, dass wir am COPL eine Mischung aus jungen Forschenden und erfahrenen Fachleuten haben. Ich freue mich sehr, dass auch Cara sich entschlossen hat, mitzumachen.

Frau Magnabosco, was fasziniert Sie an Ihrer Forschung am meisten?

MAGNABOSCO: Das Leben, das man tief unter der Erde findet. Da gibt es Systeme, die keinen Input von der Oberfläche haben. Die Organismen haben keinen Zugang zu Kohlenstoff oder Sauerstoff aus der Photosynthese. Unter der Erde sehen wir, welche Reaktionen möglich sind, wenn es kein Leben gibt – also allein zwischen dem Wasser und dem Gestein. Ich untersuche, wie Lebewesen Energie nutzen können, wenn sie plötzlich verfügbar wird. Wie diese Organismen überleben können. Ihre Populationen scheinen viel langsamer zu wachsen und sich zu erneuern als Organismen an der Oberfläche. Die Dynamik dieser Gemeinschaften zu erforschen – das ist es, was ich auf meinem Gebiet am spannendsten finde.

Herr Queloz, Sie haben den ersten Exoplaneten entdeckt und dafür den Nobelpreis erhalten. Welche weiteren Meilensteine hat es in Ihrem Forschungsgebiet gegeben?

QUELOZ: Der zweite Meilenstein war, Menschen von unserer Entdeckung zu überzeugen. Im Ernst! Das war eine grosse Herausforderung. Wir haben etwa vier Jahre gebraucht, bis die Wissenschaftsgemeinde unsere Erkenntnisse →

« Wir gehen davon aus, dass es im Universum jede Menge Leben gibt. Die Frage ist nur, ob wir es jemals finden werden. »

Didier Queloz

geglaubt und deren Tragweite verstanden hat. Damit begann eine Reihe fantastischer Fortschritte, die zur Entwicklung einer Technologie führten, mit deren Hilfe wir viele andere Planeten entdeckt haben.

Gibt es komplexes Leben ausserhalb der Erde?

QUELOZ: In der Wissenschaft haben wir zwar keine Angst vor schwierigen und abwegigen Ideen, aber wir sind nicht so verrückt, uns auf eine Suche zu machen, für die wir gar keine Erfolgschance sehen. Wir gehen davon aus, dass es im Universum jede Menge Leben gibt. Die Frage ist nur, ob wir es jemals finden werden. Ehrlich gesagt, ich weiss es nicht.

MAGNABOSCO: Ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass es da draussen irgendwo Leben gibt. Vor allem, wenn wir davon ausgehen, dass die Existenz von zellulärem Leben auf die Existenz von komplexem Leben hinweist. Eine Zelle – im weitesten Sinne definiert als etwas, das biologisches Material abtrennt und konzentriert – ist eine ziemlich raffinierte Sache. Ich bin optimistisch, dass wir eines Tages Beweise für die Existenz von komplexem Leben ausserhalb der Erde finden.

QUELOZ: Es gibt nichts Komplizierteres als eine Zelle, denn sie durchläuft viele Schleifen und Trial-and-Error-Prozesse, bevor sie sich zu einer vollwertigen Zelle entwickelt. Die Zelle ist gewissermassen die ultimative Vollendung des Lebens auf der Erde. Die Frage ist, ob alles Leben darauf hinausläuft, dass eine solche Zelle entsteht. Und welche Bedingungen sie braucht, um sich mit anderen Zellen zu verbinden. Diese Fragen werden wir hoffentlich eines Tages beantworten können.

In Ihrer Forschung geht es um den Ursprung des Lebens. Welchen Bezug haben Sie denn zum Tod?

MAGNABOSCO: Ich habe in meiner Forschung einen recht engen Bezug zum Tod. Wir sehen uns das Leben in der Tiefe an und beobachten, wie es sich verlangsamt und stirbt. Im Grunde fasziniert mich der Tod.

QUELOZ: Der Mensch kann Pläne machen und überlegen, wie er in der Zukunft leben will. Das ist ein unglaubliches Privileg. Aber damit geht auch die Herausforderung einher, dass wir uns das eigene Ende vorstellen können. Deshalb fragen wir uns zum Beispiel, warum wir sterben müssen. Aber auf solche Fragen gibt es keine Antworten. Das dürfte der Grund für unseren Hang zur Spiritualität sein. Wir brauchen eine Art spirituelles Element, um die Welt in ihrer Ganzheit zu verstehen. Doch je besser eine Gesellschaft die Welt zu verstehen scheint, desto mehr Kontrolle gewinnt sie darüber und desto gefährlicher kann sie auch werden. Und zwar nicht nur für andere Arten – von denen wir im letzten Jahrhundert ja etliche vernichtet haben –, sondern auch für unsere eigene. Deshalb glaube ich, dass wir jetzt an einen Wendepunkt der menschlichen Geschichte gelangen, an dem wir uns Gedanken über die Zukunft der Menschheit machen sollten. Und die Suche nach dem Ursprung des Lebens und nach Leben auf anderen Planeten könnte eine Möglichkeit sein, Antworten auf das Unbekannte zu finden. ○

CENTRE FOR ORIGIN AND PREVALENCE OF LIFE

Das neue Centre for Origin and Prevalence of Life (COPL) der ETH Zürich will die Grenzen der verschiedenen Disziplinen überwinden und das vorhandene Fachwissen aus Chemie, Biologie, Geologie und Astrophysik in einem multidisziplinären Forschungsprogramm mit gemeinsamer wissenschaftlicher Vision zusammenführen. Das COPL lanciert ein innovatives Fellowship-Programm, das die NOMIS Foundation ermöglicht hat. Das Programm soll jungen Forschenden die Möglichkeit geben, in einem interdisziplinären Umfeld dem Ursprung des Lebens auf den Grund zu gehen. In den nächsten sechs Jahren sollen neun Fellowships vergeben werden. Damit das COPL sein volles Potenzial entfalten kann, benötigt es kontinuierliche finanzielle Unterstützung durch engagierte Einzelpersonen, Stiftungen und Unternehmen.

- > copl.ethz.ch
- > ethz-foundation.ch/ursprung-des-lebens



Röhrenwürmer (*Lamellibrachia*) leben in extrem kalten Tiefseequellen, wo Schwefeldioxid, Methan und andere kohlenwasserstoffreiche Flüssigkeiten austreten.



Thermophile Bakterien gedeihen bei Temperaturen von über 400 Grad Celsius, so beispielsweise in den hydrothermalen Quellen im Yellowstone-Nationalpark.

Es begann vor 4,5 Milliarden Jahren. Die Reste von früheren Sternexplosionen hatten eine Wolke aus Gas und Staub gebildet, die kollabiert war und dabei einen neuen Stern geboren hatte – die Sonne. Übrig gebliebene Gas- und Staubteilchen formten eine Scheibe um den Stern. Kleine Staubkörner klumpten sich zusammen und wuchsen zu kilometergrossen Brocken. Aus diesen Bausteinen bildeten sich Gesteinsplaneten wie die Erde. Bei einer Kollision mit einem letzten gewaltigen Brocken wurde Masse aus der frühen Erde herausgeschleudert, aus welcher der Mond entstand.

LEBENSFÄHIGE

ERDE

Seit Milliarden von Jahren gibt es Leben auf unserem Planeten. Stabilisierende Mechanismen haben dazu beigetragen, dass die Erde auch heute noch lebensfähig ist.

TEXT Barbara Vonarburg

MARIA SCHÖNBÄCHLER ist Professorin für Kosmochemie am Departement Erdwissenschaften der ETH Zürich.

DEREK VANCE ist Professor für Geochemie am Departement Erdwissenschaften der ETH Zürich.

—> isotope.ethz.ch

Für die Entwicklung von Leben fehlten im frühen, inneren Sonnensystem jedoch wichtige Elemente. «Die Sonne war damals sehr heiss», erklärt Maria Schönbächler, Professorin am Institut für Geochemie und Petrologie der ETH Zürich. Deshalb enthielten die ursprünglichen Bausteine in der Erdumlaufbahn kaum flüchtige Elemente wie Wasserstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff und Stickstoff, die später für die Entstehung von Leben unabdingbar waren. «Unsere Forschungsergebnisse zeigen aber, dass wir noch während des Wachstums des Planeten etwas Material von weiter draussen im Sonnensystem erhalten haben, wo kühlere Temperaturen herrschten und diese flüchtigen Stoffe kondensieren und in feste Körper integriert werden konnten», sagt die Kosmochemikerin.

BROCKEN UND STAUB In der Aufbauphase des Planeten wurde viel Wärme freigesetzt, wodurch das Material schmolz. Metallische Eisenschmelze sank ab und formte den Erdkern. Darüber bildete sich ein Magma-Ozean aus geschmolzenem Gestein. Darin lösten sich die flüchtigen Verbindungen. Als sich die geschmolzene Erde in den nächsten Jahrmillionen abkühlte, verfestigte sich das Magma. «Es bildeten sich Kristalle, in die flüchtige Stoffe wie Wasser und Kohlendioxid nicht mehr hineinpassten», erklärt Schönbächler. Diese Stoffe wurden ausgegast und bildeten die erste Erdatmosphäre. «Das frühe Sonnensystem war wahr-

scheinlich ziemlich chaotisch mit vielen herumfliegenden Brocken und Staub», ergänzt die Kosmochemikerin: «Die Erde fegte dieses Material in ihrer Umlaufbahn zusammen und kam so zu noch mehr lebenswichtigen Stoffen, auch wenn der grösste Teil des Inventars – entgegen früheren Annahmen – schon in der Anfangsphase, noch vor der Geburt des Mondes angesammelt worden war.»

CO₂ LOSWERDEN Die erste Atmosphäre bestand grösstenteils aus Wasserdampf und Kohlendioxid. «Die meisten Modelle kommen zum Schluss, dass die CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre eine halbe Million Mal grösser waren als heute», sagt Derek Vance, ebenfalls ETH-Professor am Institut für Geochemie und Petrologie. Das bedingte einen massiven Treibhauseffekt – eine lebensfeindliche Umgebung. Damals müssen Temperaturen von über 100 Grad Celsius geherrscht haben. «Die Erde musste das viele CO₂ in der ersten Atmosphäre loswerden, um bewohnbar zu werden», sagt der Geochemiker. Noch gibt es keine überzeugende Theorie, wie dies geschehen konnte.

«Später war dies einfach», sagt Vance: «Die Erde entledigte sich mehrmals in ihrer Geschichte von zu viel Kohlendioxid in der Atmosphäre. Aber aufgepasst: Dieser Prozess erstreckt sich jeweils über Jahrtausende und ist keine Lösung für unser CO₂-Problem.» Beim natürlichen Kohlenstoffkreislauf gelangt das Kohlendioxid durch Regen auf die Erdoberfläche, wo es in komplizierten chemischen Verwitterungsprozessen das Gestein auflöst. Über das Grundwasser und die Flüsse werden die Verwitterungsprodukte ins Meer geschwemmt und lagern sich dort auf dem Meeresgrund ab. «Vereinfacht gesagt, nimmt man CO₂ aus der Luft und platziert Kalkstein im Ozean», erklärt der Geochemiker: «Dann muss man dieses Gestein in die Tiefe der Erde bringen und neues Gestein herbeischaffen, welches diesen Kreislauf wiederholen kann. Dafür sorgen auf der Erde die tektonischen Prozesse.»

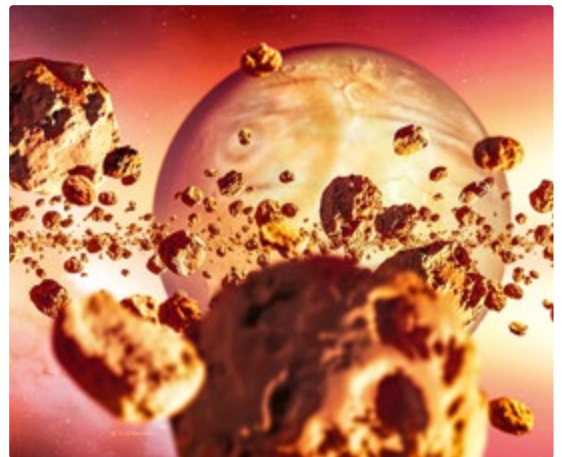
Besonders wichtig an diesem Kreislauf ist die negative Rückkoppelung: Wird es auf der Erdoberfläche heisser, so nimmt die Gesteinsverwitterung zu. «Das heisst», so Vance: «Je mehr CO₂ man der Atmosphäre zufügt, desto mehr wird ihr entzogen.» Dieses negative Feedback sorgte auf der Erde für stabile Bedingungen, die es für die Evolution des Lebens über Jahrtausende brauchte.

Wann sich auf der Erdoberfläche ein Ozean mit flüssigem Wasser und eine Kruste bildeten, ist allerdings umstritten. 4,4 Milliarden Jahre alte Körner des Minerals Zirkon könnten ein Hinweis darauf sein, dass sich die Erde relativ schnell abkühlte. Ebenso heftig debattiert wird die Frage zum Ursprung des Lebens. Entstand es in den Tiefen der Ozeane oder näher an der Wasseroberfläche? Und wann? «Biolog:innen vermuten, dass es schon vor 4 Milliarden Jahren erste Mikroorganismen gab»,

sagt Vance: «Die ältesten Fossilien sind hingegen 3,5 Milliarden Jahre alt, und ich denke, diese sind tatsächlich ein Beweis für Leben.» Mit Sicherheit war die Erde vor 3 Milliarden Jahren belebt.

Damals enthielt die Atmosphäre vor allem Stickstoff und noch kaum Sauerstoff. Es war das Leben selbst, das in der Folge die Erdatmosphäre veränderte und die Bedingungen für die Entwicklung neuer Lebensformen schuf – dank der Photosynthese. Algen wandelten mithilfe der Sonnenenergie Wasser und Kohlendioxid in Zucker und Sauerstoff um. So begann sich vor 2,5 Milliarden Jahren molekularer Sauerstoff (O₂) in der Atmosphäre anzureichern. In grosser Höhe absorbierte Ozon (O₃) schädliche UV-Strahlung. «Jede Form von tierischem Leben auf einem Kontinent braucht nicht nur Sauerstoff zum Atmen, sondern auch eine schützende Ozonschicht», sagt Vance: «Aber wir hätten keinen Sauerstoff, wenn es keine Pflanzen gäbe.» Auch das Magnetfeld der Erde, erzeugt vom flüssigen, äusseren Metallkern unseres Planeten, schützt uns zusätzlich vor kosmischer Strahlung.

«Vieles auf der Erde hätte für das Leben katastrophal schiefgehen können», sagt Vance. Meteoriteneinschläge und gewaltige Vulkanausbrüche verursachten mehrmals einen grossen Anstieg der Treibhausgase in der Erdatmosphäre und damit eine globale Erwärmung. Bei einem solchen Ereignis vor 252 Millionen Jahren starben 70 bis 80 Prozent aller lebenden Arten aus. Es gab aber auch Kälteperioden, welche den Planeten vielleicht sogar zu einem Schneeball machten. Doch die Erde lebte weiter. Das Fazit des Geochemikers: «Unser Planet hat die Fähigkeit, sich mit dieser negativen Rückkopplung als stabilisierende Kraft über sehr lange Zeiträume selbst wieder zu reparieren.» ○



Das Sonnensystem entstand vor rund 4,6 Milliarden Jahren. Um die neue Sonne bildeten sich Gesteinsplaneten wie die Erde.

WAS IST LEBEN?

Diese Frage haben wir Forscher:innen der ETH Zürich gestellt. Fünf überraschende Antworten aus der Perspektive von Biomedizin, Informatik, Biologie, Robotik und Philosophie.

TEXT Karin Köchle, Michael Walther

Leben und Tod in uns

«Der Baustein des Lebens ist die DNA. Sie enthält alle Informationen, die wir zum Leben benötigen, von der Fortpflanzung über den Stoffwechsel bis hin zum Wachstum und dem Wahrnehmen von Reizen. Auch, dass wir aus Zellen bestehen, ist ein Kriterium für Leben. Im Gesamtkonstrukt Mensch spielt sich Leben auf verschiedenen Ebenen ab: auf Körper-, Zell- oder molekularer Ebene. Es gibt «Leben im Leben», und so haben wir zum Beispiel auch viele Bakterien im Körper, die ihr Eigenleben in Symbiose mit uns führen.

Mit unserem Forschungsansatz versuchen wir, das Leben zu verbessern oder sogar zu verlängern. Dabei machen wir uns das Lebensprinzip der Vervielfältigung zunutze. So können wir aus Bakterien mithilfe von Nanomaterialien lebende Mikroroboter herstellen, die sich von aussen steuern lassen, Wirkstoffe im menschlichen Körper transportieren und Krebszellen zerstören.

Dadurch, dass in uns ständig Zellen absterben und wieder neue entstehen, tragen wir nicht nur Leben, sondern auch Tod in uns. Auch die Endlichkeit gehört zum Leben.»



SIMONE SCHÜRLE ist Assistenzprofessorin für Reaktionsfähige Biomedizinische Systeme.
—> rbsl.ethz.ch



OTMAR HILLIGES
ist Professor für Informatik.
—> ait.ethz.ch

Das Zwischenmenschliche macht den Unterschied

«Das, was wir heute künstliche Intelligenz nennen, ist noch weit vom biologischen Leben entfernt. Wir vergessen manchmal, welche komplexen Fähigkeiten wir haben. Zum Beispiel in der Interaktion: Ein Roboter, der Menschen unterstützt, müsste laufend voraussehen, was sein Gegenüber als Nächstes entscheiden und tun könnte, damit dieses nicht ständig warten muss, bis der Roboter über seine nächste Handlung entschieden hat. Entscheidungsprozesse nachzubilden, ist schwierig, weil Dinge wie Erfahrung, Persönlichkeit oder auch der momentane Kontext eine Rolle spielen.

Oder beim Antizipieren: Wir Menschen können sehr gut einschätzen, wann wir in einem Gespräch an der Reihe sind, da wir intuitiv die Körpersprache, Blickbewegungen sowie verbale Kommunikation interpretieren. Maschinen können dies noch nicht. Auch deshalb würden wir ein Gespräch mit einer künstlichen Lebensform als unnatürlich empfinden. Aktuell versuchen wir, eine solche «Intuition» mit Daten und mathematischen Modellen nachzubilden.»



DAGMAR IBER ist Professorin für Computational Biology.
—> bsse.ethz.ch/cobi

Vom linearen Code zum dreidimensionalen Leben

«Eine Eigenschaft von Leben ist die Fortpflanzung, sie läuft über unseren linearen Code, die DNA. Mit unserer Forschung wollen wir Mechanismen der Selbstorganisation aufdecken: Wie kann lineare Information in die dreidimensionale Gestalt und all die Funktionen übersetzt werden, die uns Menschen und andere höhere Organismen ausmachen? Und wie können diese Mechanismen in der Evolution trotz unterschiedlicher Entwicklungsgeschwindigkeiten und Grössen bestehen – und sich weiterentwickeln? Die Vererbung komplexer Strukturen ist ein wichtiger Aspekt bei der Entstehung von Leben.

Da wir mit Embryonen arbeiten, stellt sich die Frage «Was ist Leben?» auch aus ethischer Sicht: Wann beginnt menschliches Leben, das schützenswert ist? Diese Frage wird international sehr unterschiedlich beantwortet, was eine Herausforderung für die Forschungszusammenarbeit sein kann.»

Lebensähnliche Interaktionen

«Wenn Roboter lebensähnlicher werden, dann soll das vor allem geschehen, um Lebewesen zu unterstützen. Meine Gruppe arbeitet an Systemen, die sich besser in den menschlichen Lebensraum einbetten und sich in unserem natürlichen Lebensraum besser zurechtfinden können. Menschen mögen den Kontakt mit Wesen, die uns ähnlich sind, die sich lebendig anfühlen. Wenn uns die Struktur, aus der ein robotisches System gemacht ist, also näherliegt, verbessert das die Interaktion. Wir entwickeln deshalb robotische Systeme mit Muskeln oder weichen Greifarmen. Solche Roboter sind jedoch eine Herausforderung für die Steuerung. Bei klassischen Robotern ist die Bewegungsfreiheit genau definiert und nach Achsen geordnet. Solche Systeme lassen sich einfacher modellieren, weil die Anzahl Parameter limitiert ist. Aber so ist das Leben nicht. Lebewesen lassen sich nicht exakt definieren. Dafür können sie mit Ungenauigkeit und Spontaneum sehr gut umgehen. Nach dieser Flexibilität streben wir mit unseren Systemen.»



ROBERT KATZSCHMANN ist Assistenzprofessor für Robotik.
—> sr.ethz.ch



NADIA MAZOUZ ist Professorin für Praktische Philosophie.
—> gess.ethz.ch

Fliessende Übergänge

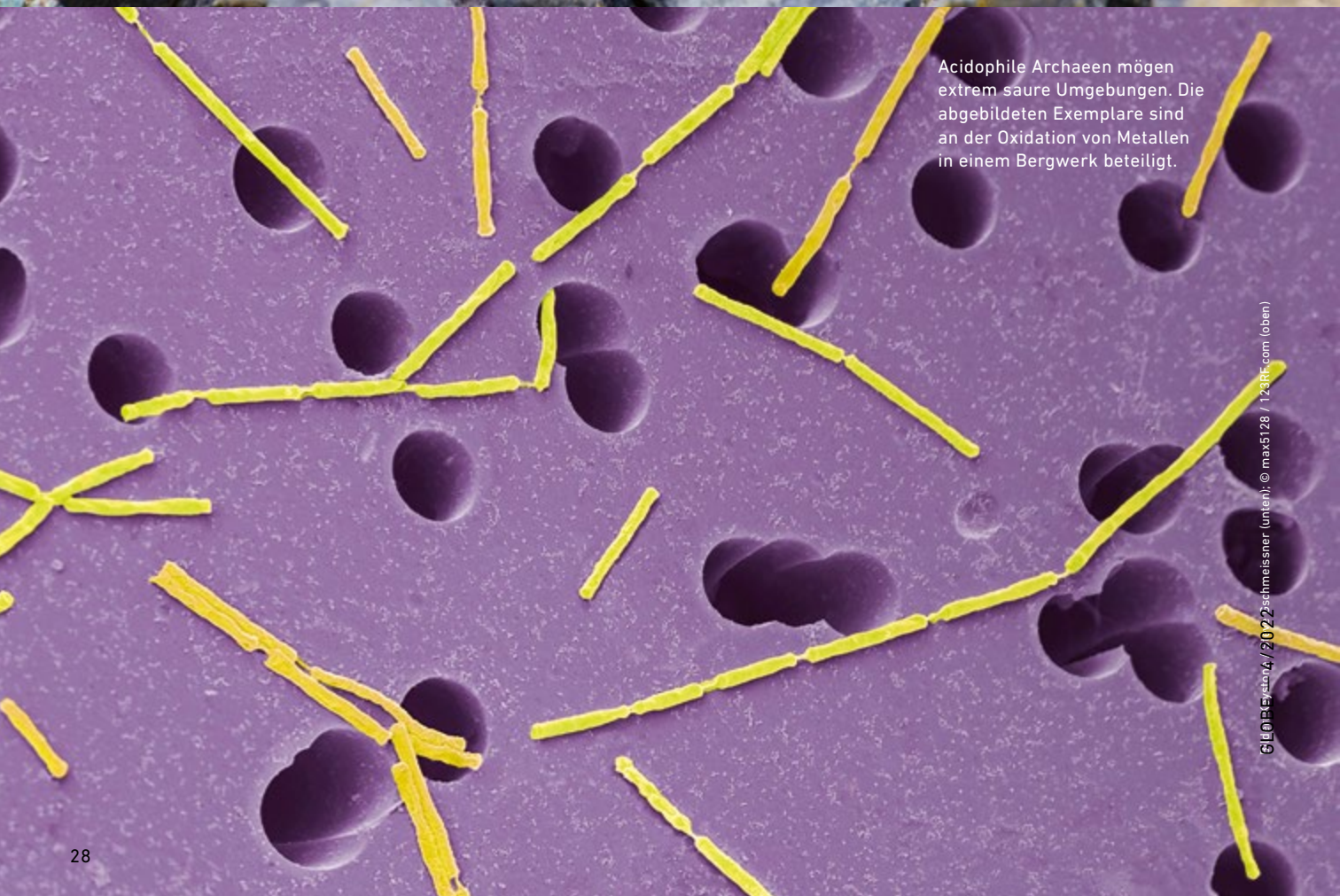
«Die Ethik fragt nicht nur, was Leben ist, sondern auch, welches Leben ethisch zählen soll. Lange gab es das Bemühen, menschliches Leben grundsätzlich von tierischem und pflanzlichem abzugrenzen. Dieser Ansatz aber ist verfehlt, er hat der wissenschaftlichen Kritik nicht standgehalten und ist phi-

losophisch unbefriedigend. Die Übergänge sind fließend, nicht menschliche Tiere und Pflanzen haben Fähigkeiten und Seinsweisen, die wir Menschen ihnen nicht zugerechnet haben. Die Fähigkeit etwa, handeln zu können, galt lange als Königsdisziplin des Menschlichen, heute wird sie auch anderen Tieren, etwa Delfinen, zugeschrieben. Und Menschen haben es nicht nötig, den nicht menschlichen Lebewesen überlegen zu sein. Eine der grossen Fragen der Ethik der Gegenwart ist, ob und wenn ja, welche nicht menschlichen Tiere und Pflanzen in welcher Weise ethisch zu berücksichtigen sind. Auch wird diskutiert, ob ganze Ökosysteme oder sogar die ganze Erde als Lebewesen betrachtet werden sollen.»

Polare Flechten könnten auf dem Mars überleben: Ein hohes CO₂-Vorkommen, niedriger Luftdruck und Temperaturen bis zu minus 50 Grad Celsius überstehen sie problemlos.



Acidophile Archaeen mögen extrem saure Umgebungen. Die abgebildeten Exemplare sind an der Oxidation von Metallen in einem Bergwerk beteiligt.



LEBEN IN FREMDEN WELTEN

Gibt es an anderen Orten im Weltall Leben?
Gut möglich – auch wenn dieses vielleicht ganz anders aussieht als das auf der Erde. Der Nachweis könnte in absehbarer Zeit gelingen.

TEXT Felix Würsten

Vor 27 Jahren entdeckten Michel Mayor und der heutige ETH-Professor Didier Queloz, damals beide an der Universität Genf, erstmals bei einem sonnenähnlichen Stern einen Planeten. Seither ist viel passiert: Astronominnen und Astronomen haben inzwischen über 5000 Exoplaneten bei mehr als 3700 Sternsystemen ausfindig gemacht, viele davon in einer ähnlichen Grösse wie die Erde. Bedenkt man, dass sich diese Entdeckungen nur auf einen winzig kleinen Bereich des Universums beziehen, scheint die These ziemlich plausibel, dass es ausserhalb unseres Sonnensystems noch an anderen Orten Leben gibt.

Doch eine plausible These reicht in der Wissenschaft bekanntlich nicht. Und so stellen sich viele Forschende die Frage, wie man denn konkret Leben ausserhalb unseres Sonnensystems nachweisen könnte. Ein Schlüssel dazu liegt in der Analyse der Atmosphäre der Exoplaneten. Zumindest bei den grösseren Exemplaren kann man heute an-

hand der Absorptionslinien im Lichtspektrum des Muttersterns rekonstruieren, welche Moleküle in der Atmosphäre der Planeten vorkommen.

Dabei suchen die Forschenden nicht nur nach Methan, Kohlendioxid, Sauerstoff oder Wasserdampf, sondern sie möchten auch wissen, in welcher Kombination diese Verbindungen vorkommen. «In der Erdatmosphäre finden wir gleichzeitig Methan und Sauerstoff», erklärt Sascha Quanz, Professor für Exoplaneten und Habitabilität an der ETH Zürich. «Dass dieses chemische Ungleichgewicht existiert, dafür sorgen die Lebewesen.» Anders gesagt: Leben verursacht Ungleichgewicht. Würde man in der Atmosphäre eines erdähnlichen Exoplaneten ebenfalls ein chemisches Ungleichgewicht finden, wäre dies ein deutliches Indiz, dass es dort Leben geben könnte.

Ideal wäre natürlich, wenn man die Exoplaneten nicht nur indirekt beobachten könnte, wenn sie vor dem Mutterstern hindurchziehen, sondern →

wenn man direkt ein Bild von ihnen machen könnte. Doch das ist eine tückische Angelegenheit, sind die Exoplaneten doch neben ihrem hellen Mutterstern kaum zu sehen. Quanz entwickelt nun zusammen mit anderen Forschenden ein Gerät, das beim Extremely Large Telescope (ELT) zum Einsatz kommen soll. Das ELT wird zurzeit in der chilenischen Atacama-Wüste gebaut und soll schon bald mit einem Spiegeldurchmesser von 39 Metern die Beobachtungsmöglichkeiten der Astronominnen und Astronomen massiv erweitern. «Mit dem ELT können wir erstmals bei einem nahen Stern einen erdähnlichen Planeten direkt abbilden, indem wir das Licht des Muttersterns abdecken», erklärt Quanz.

IMMER NEUE ÜBERRASCHUNGEN Doch wo sollen die Forschenden überhaupt nach Leben suchen? Nach welchen Signalen müssen sie Ausschau halten? Hinweise dazu liefern physikalische Modelle, wie sie beispielsweise Judit Szulágyi, Assistenzprofessorin für rechnergestützte Astrophysik, mit ihrer Gruppe entwickelt. Sie rekonstruiert damit, wie bei einem jungen Stern aus der anfänglichen Staub- und Gasscheibe nach und nach Planeten entstehen und welche Objekte man mit den Teleskopen genauer untersuchen sollte. Gravitationskräfte, Gasbewegungen, die Interaktion des Sternlichts mit der Materie sowie Magnetismus sind alles Faktoren, die in diesen Modellen berücksichtigt werden wollen. Rechnet man mit diesen Parametern unzählige verschiedene Kombinationen durch, bekommt man eine Ahnung, wie divers die Planetenwelten im Universum sein könnten.

Dabei zeigt sich allerdings immer wieder, dass die Natur mehr zu bieten hat, als die Modelle voraussagen. So waren beispielsweise bereits die ersten Exoplaneten eine wissenschaftliche Überraschung, wusste man bis dahin doch nicht, dass Riesenplaneten so gross wie Jupiter sehr nahe um ihren Mutterstern kreisen können. Auch die Existenz von sogenannten Supererden, die ebenfalls aus Gestein bestehen, aber rund anderthalbmal so gross sind wie die Erde, hat die Forschenden überrascht. Obwohl sich die Modelle immer wieder als unzutreffend erweisen und sie ihre Berechnungen anpassen muss, freut sich Szulágyi: «Das gibt uns Anlass, unsere Vorstellung immer wieder zu überdenken, wie Planeten entstehen.»

Eine wichtige Frage, die Szulágyi mit ihren Modellen beantworten möchte, ist die Herkunft des Wassers. «Das Leben auf der Erde benötigt Was-

ser», erklärt sie. «Deshalb sind Orte, an denen es nachweislich Wasser gibt, besonders interessant für uns.» Auch in unserem Sonnensystem gibt es solche Orte, welche die Astronomen in den nächsten Jahren genauer unter die Lupe nehmen wollen, beispielsweise der Jupitermond Europa, auf dem es unter einer dicken Eisoberfläche vermutlich einen Ozean aus Wasser gibt, oder der Saturnmond Enceladus, auf dessen Oberfläche Fontänen aus Eispartikeln beobachtet wurden.

VÖLLIG ANDERE WELTEN Hinweise, wie fremde Welten in anderen Planetensystemen beschaffen sein könnten, kommen auch aus der Geologie. Paolo Sossi, Assistenzprofessor für experimentelle Planetologie, untersucht in seinem Labor, aus welchen exotischen Mineralien, Flüssigkeiten und Gasen das Innere und die Atmosphäre von anderen Planeten aufgebaut sind. «In unseren Experimenten simulieren wir ein breites Spektrum an Bedingungen», erklärt er. «Wir können aufzeigen, was sich an der Oberfläche der Planeten abspielt und wie das Innere dieser Himmelskörper beschaffen ist.»

Die Herausforderung dabei ist, dass man gegenwärtig nur ungefähr weiss, wie die Planeten chemisch zusammengesetzt sind. «Eine erste Abschätzung der Zusammensetzung ergibt sich aus dem Lichtspektrum des Muttersterns», erläutert Sossi. «Daraus kann man ableiten, welche Elemente wie häufig vorkommen.» Wie die verschiedenen Elemente dann im Planetensystem um den



Bild: ESO/L. Calçada, CC BY 4.0, via Wikimedia Commons

Eine künstlerische Darstellung des Extremely Large Telescope (ELT), das derzeit in der chilenischen Atacama-Wüste gebaut wird.

Stern effektiv verteilt sind, kann man anhand der Massen und der Durchmesser der Planeten sowie aufgrund von Modellrechnungen abschätzen. Dazu ist unser Sonnensystem ein gutes Referenzsystem, weisen doch 60 bis 70 Prozent aller untersuchten Sternsysteme eine ähnliche chemische Zusammensetzung auf. Sossi versucht deshalb, mit numerischen Modellen die Entstehung der Erde und ihrer Nachbarn besser zu verstehen. Daraus kann er dann die Masse, die Anzahl und die Verteilung der Planeten bei anderen Sternen rekonstruieren.

Allerdings gibt es auch Sterne, die eine ganz andere Zusammensetzung haben als die Sonne. Dort findet man zum Beispiel mehr Kohlenstoff und weniger Sauerstoff. Dementsprechend könnten die Planeten dort aus anderen Mineralien zusammengesetzt sein als beispielsweise unsere Erde. «Silizium- und Titancarbid, aber auch Diamanten könnten bei diesen kohlenstoffreichen Planeten vorherrschende Mineralien sein», sagt Sossi. Und das wiederum hat Auswirkungen auf die Atmosphäre dieser Planeten. So könnte es sein, dass auf solchen Planeten die Regentropfen nicht aus Wasser, sondern aus Graphit bestehen.

EINE LANGFRISTIGE VISION Letztlich gelingt die Suche nach ausserirdischem Leben nur durch ein Zusammenspiel von verschiedenen Elementen. Beobachtungen mit Teleskopen, Experimente im Labor und numerische Modelle sind sicher wichtige Säulen der Forschung. Doch daneben braucht es auch clevere Algorithmen, die aus dem Wust an Messdaten ein Maximum an wissenschaftlicher Information herausfiltern, sowie Instrumente, welche genau diejenigen Daten liefern, welche die Forschenden benötigen. «Die Instrumentenentwicklung ist für uns Planetenforscher zentral», hält Quanz fest. «Wir müssen als Forschende verstehen, wie die Messgeräte funktionieren, damit wir wissen, welche Informationen wir von ihnen bekommen.»

Und es braucht eine langfristige Perspektive. Quanz denkt daher bereits jetzt einen Schritt weiter. Er leitet eine internationale Initiative, die mit einer der grossen wissenschaftlichen Missionen der Europäischen Raumfahrtagentur ESA in den Jahren 2035 bis 2050 die Suche nach ausserirdischem Leben einen grossen Schritt weiterbringen möchte. «Mit erdgebundenen Teleskopen stossen wir an Grenzen, weil in der Erdatmosphäre alle relevanten Moleküle ebenfalls vorkommen und die Erde eine ähnliche Temperatur hat wie die Exoplaneten, die

uns interessieren», erläutert er. «Wenn wir dieses enorme Hintergrundrauschen der Erde überwinden wollen, müssen wir ins All gehen. Nur so können wir Lebensspuren in den Atmosphären von Exoplaneten finden.»

Doch leider lassen sich im All keine so grossen Teleskope installieren wie in der Atacama-Wüste. Quanz und seine Mitstreiter:innen machen deshalb im Projekt «LIFE – Large Interferometer for Exoplanets» einen kühnen Vorschlag: Im Lagrange-Punkt L2, also dort, wo das James-Webb-Teleskop mit spektakulären Aufnahmen für Furore sorgt, sollen vier weitere kleine Teleskope stationiert werden. «Wenn wir die Messsignale von mehreren kleinen Teleskopen miteinander kombinieren, haben wir eine ähnliche Auflösung wie mit einem einzelnen grossen Teleskop», schwärmt Quanz. «Wir können dann erstmals erdähnliche Planeten direkt abbilden und chemisch charakterisieren.»

Bis es soweit ist, muss eine Reihe von anspruchsvollen technischen Aufgaben gelöst werden: Die Teleskope müssen in einer sehr genauen Formation fliegen, die sich je nach Zielobjekt immer wieder ändert; die Messsignale der einzelnen Satelliten müssen sehr präzise synchronisiert werden; und da von den Exoplaneten wenig Licht eintrifft, braucht es extrem empfindliche Sensoren. Und nicht zuletzt ist auch die Energieversorgung ein kritisches Thema, benötigt doch das Neuausrüsten der Satelliten viel Treibstoff.

Technisch, so ist Quanz überzeugt, ist das alles machbar. Aber es braucht einen grossen Effort – auch auf der forschungspolitischen Ebene. «Letztlich ist es eine Frage der Priorisierung», erklärt er. «Wir könnten zum ersten Mal die Frage nach ausserirdischem Leben empirisch beantworten. Das würde unser Weltbild fundamental verändern. Und diese Chance sollten wir ergreifen.» ○

SASCHA QUANZ ist Professor für Exoplaneten und Habitabilität am Departement Physik und Co-Direktor des Centre for Origin and Prevalence of Life (COPL) der ETH Zürich.
—> quanz-group.ethz.ch

JUDIT SZULÁGYI ist Assistenzprofessorin für Rechnergestützte Astrophysik am Departement Physik der ETH Zürich.
—> szulagyi-group.ethz.ch

PAOLO SOSSI ist Assistenzprofessor für Experimentelle Planetologie am Departement Erdwissenschaften der ETH Zürich.
—> geopetro.ethz.ch

COMMUNITY



Die Initiative «Engineering Humanitarian Action» will mit innovativen Technologien und wissenschaftlicher Expertise Menschen in Not helfen.

Bild: IKRK

Wissenschaft im Dienst der humanitären Hilfe

Das Internationale Komitee vom Roten Kreuz (IKRK) setzt sich weltweit für Menschen ein, die von Kriegen und Konflikten betroffen sind. Um diese humanitäre Hilfe noch wirksamer planen und umsetzen zu können, lancierten die ETH Zürich, die EPFL und das IKRK im Dezember 2020 die Initiative «Engineering for Humanitarian Action». Das Ziel: Wissen und Technologien der beiden Hochschulen dort nutzbar zu machen, wo sie am dringendsten gebraucht werden – in humanitären Krisen.

In Rahmen der Initiative wurden in den letzten zwei Jahren zwölf Projekte der ETH Zürich und der EPFL gefördert. Sechs dieser Projekte haben bereits zu konkreten Verbesserungen für das IKRK geführt. So konnten ETH-Forschende zum Beispiel eine neue digitale Infrastruktur zum Schutz vor Cyberangriffen schaffen, die sichere Identifikation von Flüchtenden vereinfachen und die Logistik von medizinischen Gütern verbessern.

BESSERE MEDIZINISCHE VERSORGUNG Die Versorgung mit medizinischen Produkten in Konfliktgebieten stellt hohe Anforderungen an die Logistik des IKRK. Immer wieder kommt es zu Lieferengpässen und Problemen in der Verteilung lebenswichtiger Güter. Um deren zuverlässige Auslieferung zu verbessern und dadurch die Qualität der medizinischen Versorgung während humanitärer Krisen zu erhöhen, hat das IKRK in den letzten zwei Jahren mit ETH-Professor Stephan Wagner und Sarbani Bublul Thakur-Weigold von der Professur für Logistikmanagement der ETH Zürich zusammengearbeitet.

Wagner und Thakur-Weigold untersuchten exemplarisch die Lieferketten zwischen einer Sanitätseinrichtung des IKRK in Dschuba im Südsudan und der Logistikzentrale in Genf. Dabei erkannten sie, dass die Versorgungsprobleme auf eine zu zentralisierte Planung zurückzuführen sind. Denn für

regelmässig verwendete Konsumgüter wie zum Beispiel Verbände oder gewisse Medikamente sei es effizienter, diese lokal zu kaufen und zu verteilen, so Wagner.

Dafür steht dem IKRK in Zukunft ein von der ETH-Forscherin Thakur-Weigold entworfenes digitales Analysetool zur Verfügung. Dieses unterstützt die Logistikabteilung des IKRK dabei, zu entscheiden, welche Mengen von jedem Artikel an den jeweiligen Standorten bereitzuhalten sind. Dadurch werden Spitäler und Sanitätsstellen in Krisengebieten zuverlässiger und günstiger mit lebensrettenden Produkten versorgt.

EINE SICHERE DIGITALE INFRASTRUKTUR Im Januar dieses Jahres wurde das IKRK Opfer eines ausgeklügelten Cyberangriffs, wobei persönliche Daten und vertrauliche Informationen von über 515 000 Personen – darunter Vermisste, Inhaftierte und Menschen, die aufgrund eines Konflikts von ihren Familien getrennt wurden – entwendet wurden.

Um das IKRK besser vor Cyberattacken und damit auch gefährdete Personen besser schützen zu können, haben die drei ETH-Professoren Luca Benini, Srdjan Capkun und Adrian Perrig eine neue digitale Infrastruktur entwickelt. Diese umfasst neben einem auf das IKRK zugeschnittenen Netzwerk, das Metadaten schützt, die an der ETH Zürich entwickelte Netzwerktechnologie SCION und eine neuartige Internet- und Cloud-Infrastruktur, die resilienter gegen Hackerangriffe aller Art ist. Auf der Ebene der Hardware sollen an der ETH Zürich entwickelte Prozessoren zusätzlich gegen Angriffe schützen.

In Zukunft können das IKRK und andere humanitäre Organisationen diese neue Architektur nutzen, um Daten sowohl intern als auch mit den betroffenen Bevölkerungsgruppen sicher zu teilen. ○

Grosszügige Spenden der Stavros Niarchos Foundation, der Stiftung für das IKRK, von Rolex und der Fondation Lombard Odier werden es der ETH Zürich, der EPFL und dem IKRK ermöglichen, neue Projekte zu realisieren. Die Unterstützung dieser Partner wird sich bis Ende dieses Jahres auf mehr als 12 Millionen Schweizer Franken belaufen.

PHILANTHROPIE

VON
Donald Tillman



Die entscheidende Spende

Kürzlich erfolgte der Spatenstich und damit der Baustart zum neuen Physikgebäude HPQ auf dem Campus Hönggerberg. Dieses Laborgebäude mit seiner hochkomplexen, weltweit einmaligen Infrastruktur wird für die nächsten Generationen von Forschenden die entscheidende Basis sein, um im Bereich Quantentechnologie neue Spitzenleistungen zu erbringen und für die Schweiz und die Welt Innovation zu ermöglichen. Entsprechend enthusiastisch war die Stimmung beim Spatenstich. Wer die Geschichte dieses Projekts kennt, weiss allerdings, dass lang nicht klar war, ob dieser Bau je Wirklichkeit würde. Obwohl die ETH all ihre finanziellen Möglichkeiten ausschöpfte, reichte es nicht – und so gelangte dieses für die Zukunft der ETH-Quantenforschung ausschlaggebende Vorhaben jahrelang nicht in die Realisierungsphase. Den Baustart verdanken wir einem Donator, welcher mit seinem Beitrag dem Projekt den alles entscheidenden Schub verlieh. So kann Philanthropie bisweilen darüber entscheiden, ob eine Hochschule auf einem Gebiet den Sprung auf die nächste Stufe schafft. Oder auf Englisch: Philanthropy makes a real difference!

—> ethz-foundation.ch

Ausgezeichnete ETH-Professorinnen

Die ETH-Physikerin Ursula Keller wurde für ihre wegweisenden Arbeiten in der Kurzzeit-Laserphysik mit dem Schweizer Wissenschaftspreis Marcel Benoist ausgezeichnet. Sowohl mit theoretischen Modellen als auch mit experimentellen Ergebnissen hat die Forscherin mehrfach die Grenzen der ultraschnellen Laserphysik verschoben. Der Benoist-Preis gilt unter Forschenden als Schweizer Nobelpreis und ist mit 250 000 Schweizer Franken dotiert.

Auch die ETH-Materialwissenschaftlerin Nicola Spaldin wurde geehrt. Sie erhielt für ihre Pionierleistung in der Multiferroika-Forschung und ihre vielfältigen Aktivitäten im Bereich der internationalen Zusammenarbeit und Lehre den renommierten Hamburger Preis für Theoretische Physik. Das Preisgeld beträgt 137 036 Euro. ○



Bilder: Heidi Hostettler; ETH Zürich / Giulia Marthaler

Ursula Keller (links) erhält den Benoist-Preis, Nicola Spaldin den Hamburger Preis für Theoretische Physik.

Förderung von Innovation und Unternehmertum

Bild: ETH Zürich / Alessandro Della Bella

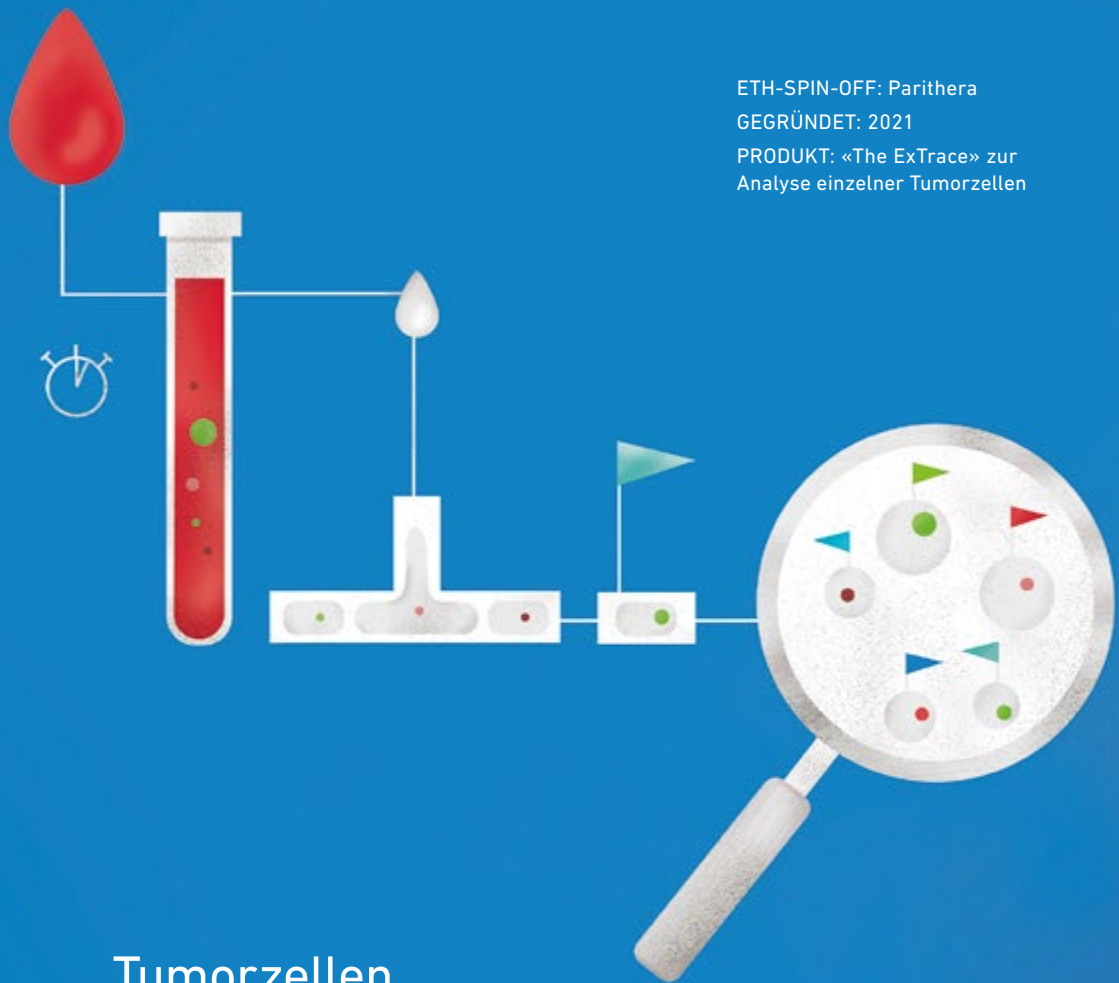


Sabine Keller-Busse, President UBS Switzerland, und ETH-Präsident Joël Mesot bei der Vertragsunterzeichnung

Erst wenn Forschungsergebnisse oder gute Ideen in den Markt fließen, entstehen neue Arbeitsplätze und Lösungsansätze für den gesellschaftlichen und technologischen Fortschritt. Deshalb wollen die ETH Zürich und UBS das Unternehmertum in der Schweiz mit einer strategischen Partnerschaft weiter stärken. Während zehn Jahren investiert UBS bis zu 20 Millionen Schweizer Franken in zwei gemeinsame Initiativen zur Förderung von Unternehmertum und Innovation sowie zur Steigerung des Interesses an MINT-Fächern. Zudem unterstützt UBS mit einer Donation von bis zu 20 Millionen Schweizer Franken den Bau eines neuen ETH-Gebäudes auf dem Campus Höggerberg, in dem Studierende gemeinsam Projekte umsetzen und sich angehende Unternehmer:innen mit Führungskräften und Expert:innen austauschen können. Für die verbleibenden 15 Millionen Schweizer Franken werden zusätzliche Partner sowie Gönner:innen gesucht. ○

→ ethz-foundation.ch/fokus/hic

TRANSFER



ETH-SPIN-OFF: Parithera
GEGRÜNDET: 2021
PRODUKT: «The ExTrace» zur
Analyse einzelner Tumorzellen

Tumorzellen unter der Lupe

90 Prozent der Krebstodesfälle geschehen, weil die Patient:innen nicht auf die Therapie ansprechen. Grund dafür ist, dass Tumorzellen im Körper zirkulieren, in denen sich Resistenzen gegen Medikamente entwickeln können. Diesen Vorgang kann man bis jetzt nur ungenau ermitteln und damit nur ungenügend therapieren. Eine Lösung dieses Problems liefert das ETH-Spin-off Parithera: Seine Entwicklung «The ExTrace» ermöglicht es, einzelne Tumorzellen aus einer Blutprobe mittels magnetischer Nanotechnologie schnell und nicht invasiv zu extrahieren. Um sie später zu un-

terscheiden, werden die entzogenen Zellen in einzelne Tropfen portioniert und individuell markiert. Im Gegensatz zur bisherigen Extraktion ganzer Zellcluster können die aufbereiteten Tumorzellen später einzeln analysiert werden. So gewinnen Ärzt:innen wichtige Informationen über die Erkrankung und können individuell angepasste Krebstherapien erstellen. ○

→ www.parithera.com



Bild: ETH Zürich / Gian Marco Castellberg

Leidenschaftlicher Trainer für die Forschung

Detlef Günther gibt sein Amt als Vizepräsident Forschung ab, um sich wieder seinen eigenen Forschungsthemen zu widmen. Ein Rückblick auf acht erfolgreiche Jahre.

TEXT Franziska Schmid

Detlef Günther ist ein Mensch der grossen Emotionen. Andere mögen Themen wie Grundlagenforschung, Forschungsk Kooperationen, Plattformen, Spin-offs oder Kompetenzzentren für etwas trocken halten – wenn der Forschungschef der ETH darüber spricht, dann stets mit grosser Leidenschaft und leuchtenden Augen: «Es ist unglaublich, wie mein Team «e-research» umgesetzt hat!» Und meint die Plattform, auf der alle Forschungsaktivitäten der ETH dokumentiert, verknüpft und transparent einsehbar sind. «Als ich meinem Stab vor ein

paar Jahren sagte, dass die ETH eine solche Plattform brauche, hielt sich die Begeisterung in Grenzen. Dann haben alle hart daran gearbeitet, und jetzt haben wir ein fantastisches System in der Pilotphase, das aber weiter ausgebaut werden kann.» Günthers Enthusiasmus ist ansteckend.

DIE GANZE ETH IM BLICK Detlef Günther kam vor 28 Jahren als Postdoktorand an die ETH; am Departement Erdwissenschaften baute er eine laserbasierte Methode zur Mikroanalytik auf. 1998 wechselte er als Assistenzprofessor an das Departement für Chemie und Angewandte Biowissenschaften. 2008 wurde Detlef Günther ordentlicher Professor für Spurenelement- und Mikroanalytik im Laboratorium für Anorganische Chemie, das er

zwei Jahre davor schon geleitet hatte. Von 2010 bis 2012 war er Departementsvorsteher. Im Jahr 2015 wurde er als Vizepräsident für Forschung und Wirtschaftsbeziehungen Mitglied der Schulleitung. «Als ETH-Professor erlebte ich eine tolle Hochschule und war unglaublich beeindruckt von meiner direkten Umgebung. Aber wenn du dann in die Schulleitung kommst, ist es, als hätte dir jemand einen Helikopterflug über die Hochschule geschenkt: Du nimmst die ganze ETH wahr, ihre Vielfalt, ihre Komplexität und ihr unglaubliches Potenzial. Einfach grossartig!»

SHARING IS CARING Der noch bis Ende 2022 amtierende Vizepräsident Forschung spricht gerne in anschaulichen Bildern – am liebsten sind ihm als grossem Fussballfan Sportmetaphern. Ist er so was wie der Trainer für die Forschung an der ETH? «Nun ja, mit elf Stürmern gewinnt man kein Spiel, und als Vizepräsident Forschung geht es eben auch darum, Forscher:innen so zusammenzubringen, dass sie interdisziplinär gut harmonieren und vielleicht auch mal auf anderen Positionen im Team spielen», schmunzelt der gebürtige Deutsche, der seit einigen Jahren einen Schweizer Pass besitzt.

Günther gilt als Vater von wichtigen Technologieplattformen und Kompetenzzentren, die während seiner Amtszeit auf- oder entscheidend ausgebaut wurden. Bei Plattformen wie beispielsweise dem Scientific Center for Optical and Electron Microscopy (ScopeM) treibt ihn vor allem der Sharing-Gedanke an: Die Professor:innen sollen sich teure Infrastruktur teilen, damit insgesamt mehr Spitzentechnologien an der ETH zur Verfügung stehen. «Wir müssen verantwortungsvoll mit dem Geld der Steuerzahlenden umgehen. Da gehört es einfach dazu, dass nicht jeder und jede seine eigenen Geräte hat, die dann vielleicht nur ein paar Tage im Jahr wirklich genutzt werden.»

NACHHALTIG ENTWICKELT Auf die Frage, wie sich die ETH seit seinem Amtsantritt verändert hat, spricht Detlef Günther zuerst über den Forschungsschwerpunkt «Gesundheit und Medizin», den die ETH enorm ausgebaut hat, inklusive neuem Bachelorstudiengang. Und dann kommen ihm noch ganz viel andere Dinge in den Sinn: «Von der Entwicklung der Studiengänge bis hin zu den vegetarischen Menüs in der Mensa fokussieren wir bei allem, was wir tun, auf die Nachhaltigkeit, den Klimawandel und Netto-Null. Der Höggerberg ist ein richtiger Campus geworden, und wir fördern den Unternehmertegeist unserer Studierenden noch viel aktiver: Von 2015 bis 2020 haben ETH-Studierende und Doktorierende über 160 Spin-offs gegründet!»

Vielleicht sei das sowieso die grösste Änderung in der Institution, aber auch in den Köpfen: Die ganze Wertschöpfungskette von der Grundlagen-

forschung über die Lehre bis hin zum Technologietransfer habe man enorm gestärkt und ausgebaut. Von 2015 bis 2020 war Günther für die gesamten Bereiche Forschung und Wirtschaftsbeziehungen zuständig, heute ist das enorme Arbeitspensum gar nicht mehr von einer Person zu bewältigen. 2021 erfolgte daher die Aufteilung in zwei Vizepräsidien. «Die ETH hat sich viel schneller entwickelt, als ich es je erwartet habe.» Er hält kurz inne und fügt lachend hinzu: «Was allerdings gleich blieb, ist die Qualität!»

VON EINZELKÄMPFER:INNEN Gab es bei all diesen positiven Aspekten auch Dinge, die den Vizepräsidenten in den letzten Jahren genervt haben? Als Trainer setzt sich Detlef Günther fürs Team, für die ganze ETH ein. Für Einzelkämpfer:innen, die sich nur um die eigenen Interessen kümmern und den Kolleg:innen das Leben schwer machen, hat er wenig Verständnis. Das sei ein grosser Verschleiss von Energie, der wenig bringe und manchmal frustrierend sei.

Grosse Sorgen bereiten dem Vizepräsidenten aber vor allem die schwierigen Beziehungen zum europäischen Forschungsraum. Seit 2015 wurden ETH-Forschende im Rahmen von Horizon 2020 mit über 150 ERC Grants ausgezeichnet, was nicht nur für die hohe Qualität der eingereichten Projekte spricht, sondern auch dazu führte, dass mit über 250 Millionen Schweizer Franken zusätzliche Forschungsgelder aus der EU in diese Projekte flossen. Umso nachdenklicher stimmt Detlef Günther die aktuelle Situation: «Da die Schweiz 2014 schon mal von Horizon ausgeschlossen wurde, dachte ich, wir hätten gelernt, wie schädlich ein Alleingang für den Forschungsstandort ist.» Wie beim Klimawandel sei es gefährlich, wenn die negativen Auswirkungen nur langsam und sukzessive spürbar würden, da man so zu spät realisiere, wie viel auf dem Spiel stehe. Und wo sieht Detlef Günther die politische Lösung? «Ich glaube, die Schweiz wird nicht um Schritte auf Europa zu herkommen. Bei den vielen globalen Herausforderungen ist die Zeit der Einzelkämpfer:innen vorbei – in der Politik und in der Wissenschaft.»

Der neue Vizepräsident Forschung ist ab 2023 Christian Wolfrum. Detlef Günther wird als Professor für Spurenelement- und Mikroanalytik in seine 13-köpfige Forschungsgruppe zurückkehren. Er hat schon einige Projekte im Kopf, die er mit seiner Gruppe umsetzen möchte: «Wir würden gerne gravimetrische Kräfte nutzen, um 1000 Zellen oder Nanopartikel pro Sekunde zu analysieren. Das könnte eine spannende Sache werden ...»

Da ist sie wieder: Detlef Günthers Leidenschaft – die wohl wichtigste Eigenschaft für einen erfolgreichen Trainer. ○



Die jungen Talente wurden am ESOP Welcome Day 2022 von ETH-Rektor Günther Dissertori (vorne Mitte) begrüsst.

Exzellenter Nachwuchs

Im September traten 53 Exzellenz-Stipendiat:innen ihr Masterstudium an der ETH Zürich an. Durch das Exzellenz-Stipendienprogramm (ESOP) können jährlich die besten 2 bis 3 Prozent ihres Jahrgangs gefördert werden. Das Programm zieht zahlreiche internationale Talente an. Dieses Jahr stammen die Stipendiat:innen aus 23 verschiedenen Ländern, und zum ersten Mal sind Studierende aus Lettland, Thailand und Malaysia dabei. ○

—> ethz-foundation.ch/exzellenz-stipendien

Würdigungen am ETH-Tag

Am 19. November 2022 feierte die ETH Zürich gemeinsam mit Gästen aus Forschung, Politik und Wirtschaft ihren 167. Jahrestag. Die Hochschule durfte dabei zweimal die Ehrendoktorwürde verleihen: An Theodor Hänsch, Professor an der Ludwig-Maximilians-Universität München, für seine ausserordentlichen Leistungen im Bereich der modernen Atom- und Molekülphysik, sowie an Thomas H. Zurbuchen, Wissenschaftsdirektor der Nasa, für seine herausragenden Beiträge zur Erforschung des Weltraums.

Zur Ehrenrätin wurde Irene Kaufmann, Vizepräsidentin des Verwaltungsrats der Gruppe Mobiliar, ernannt und zum Ehrenrat Giatgen A. Spinas, emeritierter Direktor der Klinik für Endokrinologie und Diabetologie USZ. Mit ihrem ausserordentlichen Engagement haben sie die Lehre und Forschung an der ETH Zürich sowie die Hochschule als Ganzes massgeblich unterstützt. ○



Von links: ETH-Rektor Günther Dissertori, neuer Ehrenrat Giatgen A. Spinas, neue Ehrenrätin Irene Kaufmann, neuer Ehrendoktor Thomas H. Zurbuchen, neuer Ehrendoktor Theodor Hänsch und ETH-Präsident Joël Mesot

PERSÖNLICH



MARIA CONEN plädiert für Erhalt und Wiederverwendung in der Architektur – nicht nur aus Gründen der Nachhaltigkeit.

TEXT Karin Köchle

MARIA CONEN ist Professorin für Architecture and Housing am Departement Architektur.
→ arch.ethz.ch

Sie wurden diesen Sommer zur Professorin für Architecture and Housing ernannt. Was steht zuoberst auf Ihrer Prioritätenliste?

Die Frage, was die Architektur angesichts der knappen Ressourcen und der fortschreitenden Zerstörung verschiedener Ökosysteme zu einer nachhaltigeren und gerechteren Welt beitragen kann, ist allgegenwärtig. Dies zu untersuchen anhand von konkreten Fragestellungen in Zusammenarbeit mit anderen Instituten und Lehrstühlen an der ETH ist meine Priorität.

Vor gut zehn Jahren gründeten Sie ein eigenes Architekturbüro. Wie beeinflusst die Professur nun Ihre Arbeit?

In der Praxis bestimmen oft Faktoren aus Politik und Bauwirtschaft unser Handeln. Wie soll man in Anbetracht der aktuellen Klimakrise und von sozialen Krisen bauen? In dieser Frage sehe ich grosses Potenzial, die Widersprüche, die sich in unserer Berufspraxis zeigen, zu behandeln und zu erforschen.

Sie befassen sich auch mit der Wiederverwendung von Gebäuden nach Um- oder Rückbauten. Wie erleben Sie Recycling in der Praxis?

Ich plädiere schon lange für Erhalt und Wiederverwendung, nicht nur aus Gründen der Nachhaltigkeit, sondern auch wegen der Geschichte und der Identität von Orten. Leider gibt es im Alltag noch viele Hürden für das Recycling von Bauteilen oder zum Erhalten von bestehenden Strukturen.

Was ist die wichtigste Voraussetzung, um als Architekt:in erfolgreich zu werden?

Wichtig ist, dass man sich der Verantwortung bewusst ist, wenn man in den Lebensraum eingreift oder über diesen nachdenkt, denn meist sind diese Eingriffe für mehrere Generationen prägend. Vernetztes, vielschichtiges und kreatives Denken, Ausdauer und ein wacher Geist helfen, um viele Fragen immer wieder von Neuem denken und beleuchten zu können.

Welche Epoche der Architekturgeschichte fasziniert Sie am meisten?

Jede Epoche wird geprägt durch ihre wirtschaftlichen, sozialen oder technischen Bedingungen – das widerspiegelt sich auch in der Architektur. Insofern bin ich vor allem am Jetzt interessiert. Wir leben in einer Zeit, in der langjährige Denk- und Verhaltensmuster infrage gestellt werden. Das bringt viel Unsicherheit, aber auch viele Möglichkeiten zum Mitgestalten. ○

ABFALL- MANAGEMENT NEU GEDACHT

TEXT Stéphanie Hegelbach
BILDER Daniel Winkler



REPORTAGE | Studierende der ETH und der ghanaischen Universität KNUST erarbeiteten in der Summer School «Rethinking Waste» kreative Lösungen für nachhaltiges Abfallmanagement. Dabei kam weder der fachliche noch der interkulturelle Austausch zu kurz.

Um 10 Uhr morgens ist der Kaffee im Samowar bereits halb leer. Im Kirchengemeindezentrum Richterswil läuft afrikanische Popmusik. Studierende aus 17 Nationen befinden sich im Endspurt der Fertigung ihrer Prototypen: Zwischen den Stellwänden mit Ideenskizzen und Post-its wird diskutiert, entworfen und gebaut. Draussen üben die Teams ihre Präsentationen und manche lüften ihre Köpfe bei einem «Energizer»: einer Übung, die Körper und Geist aktiviert. «Die Studierenden durchlaufen den Design Thinking Prozess – eine Methode, um innovative Lösungen für komplexe Probleme zu finden», erklärt Marriette Mertens, Programmmanagerin bei ETH for Development (ETH4D) und Leiterin der Summer School «Rethinking Waste». Der 16-tägige Intensivkurs ist eine Zusammenarbeit der ETH Zürich mit der Kwame Nkrumah University of Science and Technology (KNUST) in Ghana. 21 Studierende der KNUST haben dazu die Schweiz besucht und mit 20 ETH-Studierenden in der Jugendherberge Richterswil zusammengelebt. Die gemeinsamen Erfahrungen haben die jungen Leute zusammengeschweisst und den Perspektivenwechsel gefördert. Die Kollaboration von Menschen unterschiedlicher Herkunft und



Ein fertiger Prototyp: Die Studierenden haben ihre Ideen mit einfachen Mitteln und viel Kreativität umgesetzt.

Disziplinen sei eine gute Art, globale Probleme wie das Abfallmanagement anzugehen, sagt die gebürtige Ghanaerin.

Die Summer School widmet sich der Frage, wie Bio-, Plastik- und Elektronikmüll effizient verarbeitet und als Ressource genutzt werden können. In Ghana werden Abfälle bisher kaum getrennt, sondern auf Deponien abgeladen und teilweise verbrannt. Der hohe Anteil an organischem Abfall lockt Nagetiere und Insekten an, die wiederum Krankheiten verbreiten. Durch die Müllhalden gelangen gefährliche Stoffe in Wasser und Böden, die fehlende Trennung der Abfallströme verunmöglicht das Recycling. In der Schweiz hingegen gehört das Trennen von Müll zum Nationalsport, doch das Land braucht neue Lösungen, um die schnell wachsende Menge an Plastik- und Elektronikmüll zu verarbeiten.

STEILE LERNKURVEN «Die Studierenden haben die Problemstellung, an der sie arbeiten möchten, selbst definiert», erklärt Mertens. Johan Nöthiger, Maschinenbaustudent der ETH, hat sich im Team mit drei ETH- und drei KNUST-Studierenden dem Potenzial von organischen Abfällen in Accra angenommen. Sie haben das Konzept für die App Wastech erarbeitet, in der Haushalte mitteilen können, dass ihr Biomüll zur Abholung bereitsteht. Innerhalb 24 Stunden werden die Abfälle entsorgt. Sind sie jedoch verunreinigt und können nicht zur Erzeugung von Kompost verwendet werden, zahlt der Haushalt einen kleinen Betrag. «Wastech finanziert sich selbst», erklärt Nöthiger.

Im Laufe der Projektentwicklung hatten die Studierenden immer wieder die Chance, ihre Ideen zu hinterfragen. Sie besuchten Müll- →



1



2



3



4



5



6

1
Sampson Renner, Coach
der Kwame Nkrumah
University of Science and
Technology (KNUST) in
Ghana

2
Johan Nöthiger, Teilneh-
mer der ETH Zürich

3
Carine dit Sienyta Tiaho,
Teilnehmerin der KNUST

4
Marriette Mertens,
Leiterin der Summer
School und Programm-
managerin bei ETH for
Development (ETH4D)

5
Robin Renggli, Coach und
Studentin der ETH Zürich

6
Wilfred Elegba, Initiant
der Summer School und
Trainer der Coaches

Bild: Igor Frenguez

verarbeitungsstandorte und hörten Vorlesungen. «An der sogenannten Knowledge Fair konnten sich die Studierenden mit Experten austauschen, um ihre Projekte zu verfeinern», so Mertens. In Strasseninterviews testeten sie schliesslich, wie ihre Lösungen aufgenommen werden.

Besonders für die afrikanischen Teilnehmenden war die Auseinandersetzung mit der Schweizer Abfallwirtschaft interessant: «Meine Lernkurve war extrem steil», lacht Carine dit Sienya Tiaho, Doktorandin der KNUST, die ebenfalls an Wastech mitgearbeitet hat. «Es macht mich glücklich, all die Projekte zu sehen. Ich bin mir sicher, dass wir in Zukunft viele davon umsetzen werden.» Auf ihrem Handy zeigt sie ein Foto aus ihrem Heimatland Burkina Faso: eine ältere Frau mit einem müllbeladenen Holzwagen. «Aufgrund der Sicherheitsprobleme im Land ist das System noch nicht so weit entwickelt wie in Ghana, wo private Unternehmen den Abfall mit Lkw abholen», erzählt sie. Dank der intensiven Auseinandersetzung mit Entsorgungssystemen hat sie ein Thema für ihre Doktorarbeit gefunden. «Zudem weiss ich nun, wie wichtig es ist, eine Idee nicht nur schriftlich, sondern auch mit Zeichnungen und Prototypen zu kommunizieren», sagt sie.

DAS ENDPRODUKT? VÖLLIG OFFEN! Die Studierenden haben viel Zeit damit verbracht, zu verstehen, wie sich Verhaltensänderungen anregen lassen. «Ich habe gelernt, dass die Beweggründe, Müll zu trennen, ganz unterschiedlich sind», erzählt Nöthiger. «Das müssen wir berücksichtigen.» Robin Rengglis Gruppe hat gar einen Song komponiert:

«Separate your Biowaste». Er soll die Teilnehmenden der erdachten Green Gold Challenge dazu motivieren, reinen Biomüll für Kompost einzureichen und dabei Punkte zu sammeln. Renggli ist Masterstudentin für Umweltsysteme und Politikanalyse an der ETH und hat die Gruppe als Coach begleitet. «Ich habe die Diskussionen moderiert, Missverständnisse aufgeklärt und darauf geachtet, dass sich das Team nicht in Details verliert», erklärt sie ihre Aufgabe. «Für mich war es eine Herausforderung, die richtige Strategie und das richtige Timing für Interventionen zu finden», meint Sampson Renner, Doktorand der KNUST, der bereits das zweite Mal als Coach dabei ist. Sein Spruch «Trust the process» ist bis zum Ende der Summer School zu einem Mantra für die Teilnehmenden geworden. «Im Ingenieurwesen sind wir es gewohnt, dass wir schon eine Idee haben, wie die Lösung aussieht. Beim Design Thinking ist das Endprodukt völlig offen – das braucht manchmal viel Geduld», klärt er auf.

INTERKULTURELLER AUSTAUSCH Neben dem Austausch von Fachwissen und Methoden standen auch soziale und sportliche Aktivitäten auf dem Programm. «Die Studierenden erkennen dadurch die kulturellen Unterschiede und verstehen, wie diese Teamprozesse und die entwickelten Lösungen beeinflussen», erklärt Mertens. «Ich habe einiges über mich und meine Weltanschauung gelernt», bestätigt Renggli. Auch Wilfred Elegba, Senior Researcher in Ghana sowie Dozent und Coach-Trainer an der Summer School, ist aufgefallen, wie sich die Teilnehmenden entwickelt haben: «Für manche ETH-Studierenden war es das erste Mal, dass →



Sampson Renner
(rechts mit gelbem Hemd)
coacht eine
Gruppe Studierender.

sie so intensiv mit Angehörigen einer afrikanischen Universität zusammengearbeitet haben. Anfangs waren sie zurückhaltend, doch dann sind sie aufgeblüht.» Elegba, der für sein Doktorat von Ghana an die ETH gekommen war, ist der eifrige, doch sehr bescheidene Initiant der Summer School. Bereits zu seiner Zeit an der ETH sowie später, als die damalige ETH-Rektorin Sarah Springman die KNUST besuchte, hat er auf das grosse Potenzial einer Zusammenarbeit der beiden Schulen hingewiesen, die mit der Summer School Wirklichkeit wurde.

FESSELNDER ABSCHLUSS Gegen Abend richten sich die Studierenden für ihre Abschlusspräsentationen im Student Project House der ETH Zürich ein. Manche bereits voll konzentriert, manche nervös am Scherzen stehen sie mit ihren aus Karton gebauten Prototypen hinter dem Vorhang bereit. «Die Studierenden sollten lernen, möglichst viel aus wenig Ressourcen herauszuholen», klärt Mertens auf. Die eingeschränkten Mittel haben die Kreativität und die schauspielerischen Talente der Studierenden befeuert: In fünfminütigen Sketches bringen sie ihre gründlich durchdachten Strategien auf die Bühne und das Publikum zum Lachen. «Ich wünschte, alle meine Meetings wären in diesem Format», schmunzelt ETH-Rektor Günther Dissertori, der im Publikum sitzt.



Bild: Laurin Grether

Die sechs Abschlussprojekte zeigen auf, wie vielfältig Abfallmanagement angegangen werden kann: Von einem intelligenten Biomülleimer, der mithilfe von Infrarotsensoren und Metalldetektoren Verunreinigungen erkennt und beseitigt, bis zur Open-Data-Plattform, auf der Bürger:innen PET-Ansammlungen in der Umgebung melden können und dabei wertvolle Daten für die Verbesserung des Entsorgungssystems generieren. Ein weiteres Team erarbeitete einen Ansatz, um informellen E-Schrott-Verarbeiter:innen eine sichere Arbeitsumgebung zu ermöglichen.

BESTÄNDIGES NETZWERK Spätestens bei der Award-Vergabe bestand kein Zweifel mehr, dass die Studierenden mit Leib und Seele dabei waren: Die Teams stürmten mit Freudenschreien von der Tribüne und fielen sich in die Arme. «Ich bin begeistert von der positiven Energie, dem Team-Spirit und überzeugt, dass die Summer School einen bleibenden Eindruck hinterlassen hat», sagt Dissertori. Neben den Gruppen von Wastech und der Green Gold Challenge durfte auch WeCycle – ein Programm, das Kinder und Jugendliche durch das Betreiben eines eigenen Komposts in Schulen sensibilisiert – einen Award mit nach Hause nehmen. Darauf prangt Ananse Ntontan, ein blumenförmiges Symbol der ghanaischen Symbolsprache Adinkra, das ein Spinnennetz darstellt. «Es steht für die zentralen Themen der Summer School: komplexe Herausforderungen und kreative Lösungen», erklärt Renner. Als Zeichen der Verbundenheit liess sich das Symbol in sieben Stücke brechen und unter den Teammitgliedern aufteilen.

Dass sich die neu gewonnenen Freund:innen bald wiedersehen, steht für Tiaho fest: «Ich habe sie in meine Heimat eingeladen.» Auch ETH-Studierende haben die Möglichkeit, nächstes Jahr nach Ghana zu reisen: Dann wird die Summer School an der KNUST stattfinden. ○

Stolz präsentieren die jungen Talente am letzten Abend die Früchte ihrer Arbeit im Student Project House an der ETH Zürich.

IN DER HÖHLE DES LÖWEN

TEXT Vinzenz Greiner
BILDER Daniel Winkler

Karin Iten kennt die Grenzen menschlichen Handelns und Wissens. Dennoch arbeitet sich die Agnostikerin und ETH-Umweltwissenschaftlerin an einer schier unlösbaren Aufgabe ab: Kulturwandel in der katholischen Kirche.

Sie untersuchen vergiftete Flüsse, nehmen Proben von vermüllten Wiesen oder verpestete Böden unter die Lupe: Umweltnaturwissenschaftler:innen bewegen sich mitunter in kontaminierten Gebieten. Auch Karin Iten arbeitet an einem «toxischen» Ort, wie sie sagt. Doch die ETH-Alumna hat keine Atemschutzmaske auf. Statt Gummistiefeln trägt sie rote, offene Lederschuhe und statt Schutzanzug eine pechschwarze Lederjacke.

Iten ist Präventionsbeauftragte des Bistums Chur, angestellt von der katholischen Kirche im Kanton Zürich. Das Gift, gegen das sie ankämpft, das ist Machtmissbrauch, das ist spirituelle Manipulation, das ist sexuelle Ausbeutung. Die etwas andere Dreifaltigkeit. Einiges davon wurzelt tief – in heiligen Texten, in einer auf Männer in langen Roben pyramidisch zugespitzten Hierarchie, im Anspruch auf Deutungshoheit übers Leben und das, was darüber hinausgehen könnte. Veranlagung zum Machtmissbrauch also?

Einige Religionen hätten tatsächlich ein Grundproblem, sagt Iten. «Vor allem wenn sie vorgeben, es gäbe eine einzige ewige Wahrheit. Dadurch werden Macht und Spiritualität gekoppelt – das ist ein Systemfehler.»

Iten verwendet das Wort «System» immer wieder. Sie hat es an jenem Ort, den sie heute sieht, wenn sie durch ihr Bürofenster nach draussen schaut, vor Jahrzehnten zum Teil ihres Denkens gemacht. Dort tanken gerade Studierende ein wenig Herbstsonne auf der Polyterrasse. Die ETH Zürich liegt nur wenige Meter oberhalb der Büros der katholischen Kirche im Kanton Zürich.

KARIN ITEN studierte von 1990 bis 1996 Umweltnaturwissenschaften an der ETH. Nach einiger Zeit in der Entwicklungszusammenarbeit arbeitete sie sieben Jahre in der Suchtprävention und dann für die Organisation Limita, eine Fachstelle zur Prävention sexueller Ausbeutung. Sie lebt mit ihren beiden Söhnen in Weesen am Walensee. Sie erholt sich gerne in der Natur. Neben ihrem Teilpensum bei der katholischen Kirche arbeitet sie bei der Fachstelle für Sektenfragen Infosekta.

Ironie der Stadtplanung oder steht Wissen tatsächlich über Glauben? Iten, die sich freut, ihre Alma Mater im Blick zu haben, lächelt. «Ich würde sagen: Zweifel und Bescheidenheit stehen über Glauben.»

Sie bezeichnet sich daher auch als Agnostikerin, nicht als Atheistin. Wer kann schon den endgültigen Beweis führen? «Wissen ist auch begrenzt», sinniert die 51-Jährige. Das sei eine wissenschaftliche Herangehens- und Denkweise, die sie an der ETH Zürich gelernt habe. Dort studierte sie von 1990 bis 1996 im zweiten Jahrgang Umweltnaturwissenschaften. Lernete, «zu hinterfragen, vernetzt und interdisziplinär zu denken». Und sie begriff, wie Systeme lernen: «Durch Vernetzung, Diversität im Innern und Impulse von aussen.»

Wenn man sich mit Karin Iten unterhält, dann merkt man schnell, wer hier im Bistum Chur ein Impuls ist. Er heisst Karin Iten. «Es ist wichtig, dass sich in jedem System auch Menschen bewegen, die out of the box kommen.» Weiter ausserhalb der Box könnte sie kaum sein: Iten ist säkular, agnostisch, Naturwissenschaftlerin. Und: «Ich bin eine Frau, kritisch und fordernd.» Wie kommt jemand an einen Ort, der ihr so fremd ist?

Iten wächst im sankt-gallischen Wil als Tochter zweier katholischer Innerschweizer:innen auf. Besuche in der Kirche bleiben aber sporadisch. Im Alltag spielt der Glaube keine Rolle. Vielmehr die Umweltdebatten der 1980er-Jahre. Als es ums Waldsterben geht, da will die junge Karin Iten etwas unternehmen. Engagiert sich kurzzeitig politisch bei einer grünen Ortsinitiative. Und beginnt dann ihr ETH-Studium. «Dort war ich aber nicht an technischen Lösungen interessiert», erinnert sich Iten. Sie interessiert sich vor allem dafür, wie der Mensch mit der Natur in Verbindung steht – und wie er mit ihr umgeht. Hier in den Vorlesungssälen und Seminarräumen der ETH findet Karin als Mittzwanzigerin das, was sie von nun an in allen ihren beruflichen Stationen begleiten wird: «Die Suche nach dem achtsamen Umgang mit Macht und nach dem umsichtigen Mass. Der Mensch ist unglaublich mächtig – Suffizienz rund um Macht ist entscheidend.»

Zu Beginn, während eines Praktikums in der Entwicklungszusammenarbeit in Madagaskar, oder dann in ihrer Diplomarbeit in Mali, steht diese Suche nach Mass, Grenzen und Rückbindung noch in einem grösseren Kontext. Doch über die Jahre fokussiert sich Itens Suche von Umweltbildung über Suchtprävention bis hin zur Prävention sexueller Ausbeutung und Machtmissbrauch wie in einem Trichter auf den Menschen.

Zuletzt arbeitet sie bei Limita, elf Jahre als Co-Leiterin und danach als Geschäftsführerin. Sie erarbeitet Massnahmen und Konzepte zur Prävention sexueller Ausbeutung in Organisationen. Auf die Ausschreibung des Bistums Chur bewirbt sie sich – nach langem Zögern und ungläubigem Feedback ihrer Familie –, weil sie hier den grösstmöglichen Impact und eine Weiterentwicklung ihrer Arbeit wittert. In Itens Worten: «In der Kirche bin ich gelandet, weil mich die Arbeit zu sexueller Ausbeutung und Macht logischerweise in den Rachen eines Löwen geführt hat. Die Arbeit zur Prävention von Machtmissbrauch ist notwendig darin.»

Iten gegen den Systemfehler, das Brackwasser aus Spiritualität und Macht und den daraus fließenden Machtmissbrauch. Seit Jahrzehnten mühen sich Reformier:innen in der katholischen Kirche vergebens ab. Viele sind müde, haben aufgegeben. Es gleicht einem Kampf gegen Windmühlen, in den sie 2020 eingetreten ist. Karin Iten als Doña Quijote? Das Wort Kampf will sie nicht gebrau-



chen, es gehe ums Handeln. «Es gibt Kooperation für und Aversion gegen Veränderung. Kulturwandel ist überall schwierig», sagt Iten diplomatisch. Aber auch rebellisch: «Für Wandel braucht es Subversion. Massnahmen müssen rütteln!»

Es sind zwei Karin Itens, die sich hier zeigen. Die Netzwerkerin, die von Resonanzpunkten im System und davon spricht, dass sie Dinge gemeinsam mit anderen erreiche. Diejenige, die es innert zwei Jahren geschafft hat, alle sieben Kantonskirchen im Bistum samt Bischof Joseph Bonnemain dazu zu bringen, ein klares Commitment zu unterschreiben mit Namen «Verhaltenskodex zum Umgang mit Macht – Prävention von spirituellem Missbrauch und sexueller Ausbeutung». Es ist die Frau, die Kooperation und Komfort mag und es sich in ihrem Büro gemütlich gemacht hat – mit bunten Filzbällchen, die an Schnüren nach unten baumeln, und mit einem Minisofa mit Playmobil-Männchen darauf. Eine Person, die sich selbst vom Naturell her als zurückhaltend bezeichnet.

Und dann gibt es die zweite Iten, die in ihrem schwarz-roten Outfit eine nicht gerade himmlische Farbkombination trägt und mit ihrem blinkenden Nasenpiercing eher wie die coole Tante wirkt, die man als Jugendlischer unbedingt ans Rockkonzert begleiten wollte. Jene, die ihre Faust ballt, wenn sie fordert, man müsse in der Kirche Klartext sprechen. Deren Augen bei solchen Aussagen kämpferisch funkeln und deren dicke Kajaluntermalung wie eine Unterstreichung wirkt, dass sie es mit der Challenge des Systems Kirche erst meint.

Es ist die Karin Iten, die feststellt, sie habe «die Komfortzone verlassen, um in einer toxischen und starren Organisation Weichen zu stellen.» Die feststellt: «Die Missbrauchskrise birgt Chancen zur Veränderung. Es gibt keine Prävention ohne Wandel». Jene Iten, die öffentlich kritisiert, dass der Bischof es in Kauf nehme, wenn sich engagierte Menschen in den kirchlichen Strukturen aufrieben. Und wenn dieser sagt, Homosexualität sei gemäss katholischem Glauben auf der Verhaltensebene nicht praktikabel, trotzig erwidert: «Man kann in der Sexualität das Sein nicht vom Tun trennen.»

Für Karin Iten heisst es also, die Balance zwischen beiden Seiten zu halten. Es ist, wie schon so lange, die Suche nach dem richtigen Mass und dem Umgang mit Macht – diesmal ihrer eigenen.

Wie ihre Suche weitergeht? «Aktuell bleibe ich noch, wo ich bin.» Später vielleicht nochmals in Richtung Nachhaltigkeit, back to the roots im Kampf gegen den Klimawandel? Der Dampfer sei da ja schon fast an die Wand gefahren, meint Iten mit einem etwas wehmütigen Lächeln. Ihr herausfordernder Blick sagt dagegen: «Gegen Windmühlen? Warum eigentlich nicht!» ○

AGENDA

ENTDECKEN

○ Montag bis Freitag, 8 – 18 Uhr

Nach Sternen greifen

In der historischen Semper-Sternwarte der ETH Zürich, welche zurzeit das Collegium Helveticum beheimatet, lassen sich astronomische Instrumente entdecken. Im Foyer der Sternwarte können Besuchende Objekte, die vom Gründer der Sternwarte Rudolf Wolf (1816 – 1893) gesammelt wurden, in einer kleinen Dauerausstellung bestaunen.

ETH Zürich, Sternwarte,
Schmelzbergstrasse 25

Weitere Infos zur Sternwarte:

—> collegium.ethz.ch



Bild: ETH Zürich / Sammlung wissenschaftlicher Instrumente und Lehrmittel, ETH-Bibliothek

Gregory-Spiegelteleskop

○ 13. – 18. März 2023

BrainFair 2023

Die Woche des Gehirns, die vom Zentrum für Neurowissenschaften der ETH Zürich und der Universität Zürich in Zusammenarbeit mit Life Science Zurich organisiert wird, bietet öffentliche Diskussionsforen und Kurzvorträge, ein Programm für Schulklassen und weitere Aktivitäten zum Thema «Lernen bei Mensch und Maschine» an.

Mehr dazu:

—> www.brainfair.uzh.ch/de



Bild: rhz Reisen

Blick vom Goldenen Horn auf die
Süleymaniye-Moschee und Istanbuls Altstadt

○ 20. – 30. Mai 2023

ETH-Alumni- Reise in die Türkei

Die zehntägige Reise in die Türkei unter der Leitung des in Zürich ausgebildeten Historikers Adrian Vonwiller bietet so manchen Höhepunkt. Istanbul, am Schnittpunkt von Europa und Asien gelegen, gehört zu den interessantesten Städten der Welt. Historische Monumente von höchster Qualität liegen in unmittelbarer Nähe moderner Wunderwerke der Ingenieurskunst und Architektur. In der uralten hethitischen Stadt Hattuscha erwartet die Reisenden eine Sensation, die vor Kurzem um die Welt ging: Hunderte von Hieroglyphen wurden entdeckt, die vor 3500 Jahren an die Wände gemalt wurden. In Kappadokien bilden unzählige Feenkamine eine unglaublich bizarre Landschaft. Weitere Sehenswürdigkeiten sind die Höhlenwohnungen und die mit Fresken geschmückten unterirdischen Kirchen, die schon den frühen Christen als Zufluchtsort dienten.

Mehr Infos und Anmeldung:

—> alumni.ethz.ch/events

○ 24. Januar 2023, 18.15–19.15 Uhr

Hochspannung

Die Energiewende ist eine Herausforderung für das Stromnetz. Mehr elektrische Energie muss möglichst verlustfrei über weite Distanzen transportiert, Wind- und Solarstrom eingespeist werden. Im Hochspannungslabor der ETH Zürich wird erforscht, mit welchen Technologien sich diese Herausforderung meistern lässt.

Kostenlos für die Führung anmelden:

→ tours.ethz.ch



Bild: Hochspannungslabor

HÖREN

○ ETH-Podcast

Vom Arbeitsplatz ins Rampenlicht

Benno Zogg und Névine Schepers, Forschende am ETH Center for Security Studies, sprechen über den Spagat zwischen Medienauftritten und ihrer Arbeit über osteuropäische Geschichte und Atomenergie.

○ NADEL-Podcast

«1.90 pro Tag»

Die neueste Folge thematisiert, wie es sich anfühlt, wenn ein Bürgerkrieg immer näher rückt, ob man sich an Armut gewöhnen kann und ob es heute überhaupt noch «weisse Expert*innen» braucht.

Mehr zu diesen und weiteren Podcasts der ETH unter:

→ ethz.ch/podcast

LESEN

Erholung in siedlungsnahen Wäldern:

Früher, heute und in Zukunft

Siedlungsnaher Wälder gehören zu den beliebtesten Naherholungsräumen und werden für Freizeitaktivitäten stark genutzt. Die Infrastruktur im Wald könnte jedoch verbessert und noch wirksamer für den Menschen ausgestaltet werden. Denn oftmals kann mit wenigen Mitteln ein spürbarer Beitrag für die psychische und physische Gesundheit aller Waldnutzer:innen geleistet werden.

In dieser Publikation werden konkrete Massnahmen zur Verbesserung der Erholungsqualitäten im Wald aufgezeigt. Eine Toolbox unterstützt die Arbeit an der Erholungsplanung und es werden Handlungsempfehlungen für den Planungsprozess gegeben. Beispielhafte Erholungswälder zeigen, welchen besonderen Wert die Waldgebiete für die Bevölkerung erhalten können, wenn verschiedene Aspekte gut berücksichtigt sind.

Das Buch eignet sich als anregende Ideensammlung und Wahrnehmungsschärfung bei der eigenen Arbeit im und am Wald und gibt Hinweise zur Weiterentwicklung von gesetzlichen und planerischen Grundlagen, Planungsprozessen und Fachwissen.



ISBN: 978-3-7281-4125-5

OUT OF FOKUS

Illustration: Michael Meister



Der Ursprung des Lebens: gesehen von Michael Meister

IMPRESSUM Herausgeber: ETH Alumni / ETH Zürich, ISSN 2235-7289 **Redaktion:** Corinne Johannssen, Karin Köchle (Co-Leitung), Victoria Engler, Vinzenz Greiner, Nicol Klenk, Anna Maltsev, Peter Rüegg, Franziska Schmid, Michael Walther, Felix Würsten
Mitarbeit: Stéphanie Hegelbach, Barbara Vonarburg
Inseratverwaltung: ETH Alumni, globe@alumni.ethz.ch, +41 44 632 51 24 **Inseratemanagement:** Fachmedien, Zürichsee Werbe AG, Stäfa, info@fachmedien.ch, +41 44 928 56 53 **Gestaltung:** Crafft AG, Zürich **Korrektorat und Druck:** Linkgroup AG, Zürich
Übersetzung: trawo-Übersetzungen; Clare Bourne; Gena Olson; Karen Rudd Gloor; Stefan Pooth **Auflage:** 38 600 deutsch, 15 900 englisch, viermal jährlich **Abonnement:** CHF 20.– im Jahr (vier Ausgaben); in der Vollmitgliedschaft bei ETH Alumni enthalten
Newsletter: ethz.ch/news-abonnieren **Bestellungen und Adressänderungen:** globe@hk.ethz.ch bzw. für ETH Alumni alumni.ethz.ch/myalumni **Kontakt:** ethz.ch/globe, globe@hk.ethz.ch





Werden Sie Teil
der Suche nach
extraterrestrischem Leben.

Ihre Unterstützung hilft, visionäre ETH-Forschungsprojekte voranzutreiben. Wie das Weltraumteleskop LIFE, das die Atmosphäre von Exoplaneten untersuchen wird. Gemeinsam entdecken wir Grosses.



Jetzt unterstützen:
ethz-foundation.ch/together

ETH Foundation



Ride light

Mit dem leichten und unsichtbaren Light-E-Bike-System von maxon verdoppelst du deine Pedalkraft und hast trotzdem ein unglaublich natürliches Fahrerlebnis. Es fühlt sich an wie Fahrradfahren mit Rückenwind. Was gibt es Schöneres? Jetzt Bike-Marken mit maxon BIKEDRIVE AIR entdecken: maxonbikedrive.com

