

Vernetzte Quantenforschung 36 Mit neuem ETH-Velolenker  
auf dem Weg zum Erfolg 40 Alumnus Peter Schmidt im Porträt 45

# GLOBE

NR.  
1/2023



**ETH** zürich

**Emotional!**

Was Gefühle  
über uns verraten 14



+GF+

New ideas?  
Always.

#AchievingExcellenceTogether  
[georgfischer.com/career](https://georgfischer.com/career)



# EDITORIAL



**« Emotionen wissenschaftlich zu verstehen, erfordert das Wissen mehrerer Disziplinen. »**

Emotionen beeinflussen das Denken und Handeln von uns Menschen. Ob Freude, Wut, Angst oder Trauer – das Spektrum menschlicher Emotionen ist breit und die Fragen sind vielfältig, die sich die Wissenschaft stellt. Welche Rolle spielt das Bauchgefühl bei unseren Entscheidungen? Und kann Intuition gezielt trainiert werden? Oder – mit Blick auf die Ausbreitung von künstlicher Intelligenz im Alltag – was geschieht auf der Gefühlsebene in der Interaktion zwischen Mensch und Roboter?

Gefühle lösen auch vielfältige biochemische Reaktionen in unserem Hirn und dem Körper aus und verändern dabei die Art, wie wir sprechen, uns bewegen oder wie unser Herz schlägt. Auswirkungen von emotionalem Stress – das haben auch Studien von ETH-Forschenden gezeigt – können sogar an die nächste Generation vererbt werden. Mathematische Modelle wiederum verschaffen Zugang zu den verborgenen Zuständen des Gehirns – ein zentraler Punkt bei der Erforschung psychiatrischer Erkrankungen.

Emotionen wissenschaftlich zu verstehen, erfordert das Wissen mehrerer Disziplinen. Diesen Ansatz verfolgen ETH und Universität Zürich auch im gemeinsamen Masterprogramm «Interdisciplinary Brain Sciences». Schliesslich sind Emotionen auch bei der Suche nach wissenschaftlicher Erkenntnis nicht wegzudenken, wie Michael Hagner in seinem lesenswerten Essay schreibt.

In diesem Sinne wünsche ich Ihnen nur gute Gefühle bei der Lektüre dieser *Globe*-Ausgabe.

Joël Mesot,  
Präsident der ETH Zürich

# Inspired by the best

Weiterbildung für akademisch  
gebildete Fach- und Führungskräfte

MAS, DAS, CAS und  
Weiterbildungskurse auf  
[www.sce.ethz.ch](http://www.sce.ethz.ch)







## NEW + NOTED

- 6 News aus der ETH Zürich
- 8 Umwelt-DNA per Drohne
- 10 **ZUKUNFTSBLOG**  
Natur gerecht wiederherstellen

## FOKUS

- 15 **DIE MACHT DER GEWOHNHEIT** Wie Emotionen, Wahrnehmung und Intuition beim Entscheiden zusammenspielen.
- 18 **IN DIE WIEGE GELEGT** Wie die Folgen von Traumata epigenetisch vererbt werden.
- 22 **VERBORGENE ZUSTÄNDE DES GEHIRNS** Psychische Krankheiten mithilfe mathematischer Modelle diagnostizieren
- 25 **DER DIGITALE SCHATTEN UNSERER GEFÜHLE** Über Messbarkeit und die Rolle von Gefühlen bei Mensch und Maschine
- 30 **NACHTS** Warum sich Forschende von Emotionen leiten lassen sollten.



Bilder: Daniel Winkler, Nicole Bachmann

## COMMUNITY

- 32 Verbunden mit der ETH
- 35 **TRANSFER** KI für sichere Kanalsysteme
- 36 **VERNETZTE QUANTENFORSCHUNG**  
Die ETH setzt wichtige Akzente für die Zukunft.
- 39 **PERSÖNLICH** Gregor Weiss träumt von antibiotikafreien Therapien.

## REPORTAGE

- 40 **MIT NEUEM LENKER AN DIE PARALYMPICS?** ETH-Student Luca Hasler entwickelt einen neuartigen Velolenker.

## PROFIL

- 45 **ENGAGIERT IN FERNEN LÄNDERN**  
Peter Schmidt liegt die Entwicklungszusammenarbeit am Herzen.
- 48 **AGENDA**
- 50 **OUT OF FOKUS**

# NEW + NOTED

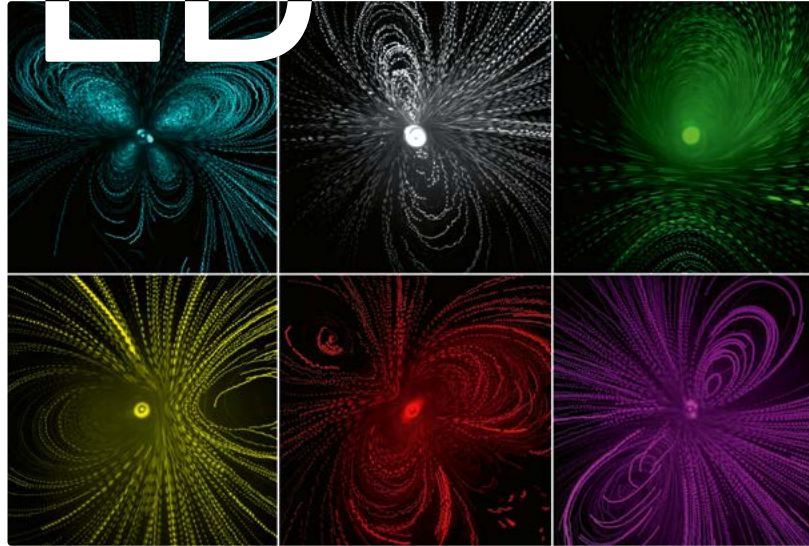


Bild: ETH Zürich

Verschiedene Wirbelmuster in Flüssigkeiten von oben betrachtet und durch Partikel sichtbar gemacht. Der Punkt in der Mitte der Bilder ist die Glasnadel.

## Automatisierbare Zwergenroboter

Mikrofluidik-Chips oder Lab-on-a-Chip sind Minisysteme, in denen winzige Flüssigkeitsmengen durch feine Kapillaren fließen. In der Regel sind es externe Pumpen, welche die Flüssigkeit durch Mikrofluidik-Chips bewegen. Solche Systeme sind bis heute allerdings nur schlecht automatisierbar. Wissenschaftler:innen unter der Leitung von ETH-Professor Daniel Ahmed entwickelten ein Gerät, das aus einer dünnen und spitzen Glasnadel besteht sowie aus einem piezoelektrischen Schallwandler, der die Nadel in Schwingung versetzt. Ähnliche Schallwandler kommen zum Beispiel auch in Lautsprechern oder in professionellen Zahnreinigungsgeräten zum Einsatz. Die ETH-Forscher:innen können bei ihrer Glasnadel die Schwingungsfrequenz variieren. Tauchen sie die Nadel in

eine Flüssigkeit, erzeugt die Nadel darin ein dreidimensionales Muster aus mehreren Wirbeln. Das Muster hängt von der Schwingungsfrequenz ab und kann entsprechend gesteuert werden.

Die Forschenden konnten damit mehrere Anwendungen zeigen: Erstens war es ihnen möglich, winzige Tropfen hochviskoser Flüssigkeiten mit einem komplexen dreidimensionalen Muster aus mehreren starken Wirbeln effizient zu mischen. Zweitens konnten die Wissenschaftler Flüssigkeiten durch ein Mini-Kanalsystem pumpen, indem sie ein bestimmtes Muster von Wirbeln erzeugten und die schwingende Glasnadel nahe an die Kanalwand platzierten. Drittens gelang es den Forschenden, mit ihrem Ultraschallgerät in der Flüssigkeit befindliche Feinpartikel einzufangen. Verhältnismässig grosse Partikel bewegen sich hin zur schwingenden Glasnadel und lagern sich an diese an. ○

# Säuren helfen gegen Viren in der Luft

Viren wie das Corona- oder das Grippevirus verbreiten sich in der Luft via Aerosole. Wie lange die Viren in Aerosolpartikeln infektiös bleiben können, ist jedoch nicht klar. Ein bislang unterschätzter Faktor ist der Säuregehalt der ausgeatmeten Aerosolpartikel. Viele Viren sind nämlich säureempfindlich. Ein Team von Forscher:innen der ETH Zürich, der EPFL und der Universität Zürich zeigt in einer neuen Studie erstmals auf, wie sich der pH-Wert der Aerosolpartikel in der Zeit nach dem Ausatmen unter verschiedenen Umgebungsbedingungen verhält und wie sich dies auf die Viren auswirkt.

Den Forscher:innen zufolge versauern die ausgeatmeten Aerosolpartikel schneller, als man erwarten könnte. Wie schnell die Partikel dies tun, hängt von der Konzentration der Säuremoleküle in der Umgebungsluft und von der Grösse der Aerosolpartikel ab. In typischer Luft in Wohnräumen

erreichen Partikel aus Nasenschleim sowie aus eigens für die Studie synthetisierter Lungenflüssigkeit, die kleiner als ein Mikrometer sind, schon nach rund 100 Sekunden einen pH-Wert von 4. Für die Ansäuerung von Aerosolen machen die Forscher:innen vor allem die Salpetersäure verantwortlich. Die Säure haftet rasch an Oberflächen, auf Möbeln, Kleidern, der Haut, aber wird eben auch von den ausgeatmeten, winzigen Aerosolpartikeln aufgenommen. Die Säuremoleküle machen sie sauer und lassen damit ihren pH-Wert sinken.

Das Forschungsteam zeigt weiter, dass das saure Milieu entscheidenden Einfluss auf die Geschwindigkeit der Inaktivierung von in den Schleimpartikeln eingeschlossenen Viren hat: Influenza-A-Viren werden bei einem pH-Wert von 4 inaktiviert. Bis 99 Prozent der Influenza-A-Viren im Aerosol inaktiviert werden, dauert es ungefähr drei Minuten. SARS-CoV-2 hingegen ist so säureresistent, dass die Fachleute zunächst an eine Fehlmessung glaubten. Die Viren wurden erst bei einem pH-Wert unter 2 inaktiviert. Da in Wohnräumen der Aerosol-pH kaum je unter 3,5 fällt, braucht es Tage, bis 99 Prozent der Coronaviren inaktiviert werden. ○

# Rasche Ausbreitung im Gebirge

Gebirge sind bisher von Invasionen durch gebietsfremde Pflanzenarten (Neophyten) weitgehend verschont geblieben. Eine neue Studie unter Federführung der ETH Zürich zeigt nun, dass der Druck von Neophyten auf Gebirge und ihre einmalige Vegetation weltweit steigt: Die Forschenden stellten fest, dass die Zahl der untersuchten gebietsfremden Pflanzenarten in jeder Region zwischen 2007 und 2017 im weltweiten Durchschnitt um 16 Prozent zugenommen hat. Zudem trafen die Wissenschaftler:innen in zehn von elf Untersuchungsgebieten Neophyten in deutlich grösseren Höhen an als noch vor zehn oder sogar fünf Jahren.

Gebietsfremde Pflanzen werden oft vom Menschen willentlich oder unbeabsichtigt im Tiefland eingeführt und breiten sich von da in grössere Höhen aus. Entlang von Strassen haben Neophyten leichtes Spiel, weil der Mensch unter anderem deren Samen verbreitet und die natürliche Vegetation gestört ist. Die Konkurrenz mit angestammten Arten, die sich an das vorherrschende Klima angepasst haben, ist deshalb geschwächt. ○



Bild: ETH Zürich / Fiona Schwaller

Eine Forscherin der ETH Zürich erfasst gebietsfremde Pflanzenarten entlang einer Bergstrasse im Wallis.









## Umwelt-DNA per Drohne

GESAMMELT ○ Um die Artenvielfalt erfassen zu können, sammeln Ökolog:innen hinterlassenes Erbgut von Lebewesen. Solche Proben lassen sich leicht vom Boden oder aus Gewässern entnehmen – anders sieht es bei Baumwipfeln mit schwer erreichbaren Ästen aus. Damit auch die Bewohner des Kronendachs kein Mysterium bleiben, entwickelte ein Team der ETH Zürich, der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL und der Firma Spygen eine spezielle Drohne: Ausgestattet mit Klebestreifen und einem System, das die Dicke, die Elastizität und das Abfedern der Äste berücksichtigt, kann die Drohne einen Ast autonom anfliegen, auf ihm landen und Proben aufnehmen. Bis jetzt konnte sie in drei Tagen Material von sieben Bäumen sammeln. Diese Leistung möchten die Robotiker:innen für einen Wettbewerb steigern; sie testen das Fluggerät derzeit im Masoala-Regenwald des Zoos Zürich. Für den Wettbewerb muss die Drohne in einem singapurischen Regenwaldgebiet Proben von 70 Bäumen in nur 24 Stunden sammeln – eine Herausforderung, der sich die Entwickler:innen gerne stellen. ○



Video: «Spezialdrohne sammelt Umwelt-DNA»  
[youtu.be/sqU86Ezn9c4](https://youtu.be/sqU86Ezn9c4)

→ [ethz.ch/spezialdrohne](https://ethz.ch/spezialdrohne)



## Natur gerecht wiederherstellen

Die Wiederherstellung von Ökosystemen müsse sozial gerecht erfolgen, sagt Sara Löfqvist. So käme sie effektiv den Menschen, dem Klima und der biologischen Vielfalt zugute.



**SARA LÖFQVIST** ist Doktorandin in Ökosystemmanagement am Environmental Policy Lab der ETH Zürich.

An der Weltnaturkonferenz in Montreal vom letzten Dezember vereinbarten die Staaten überraschend, 30 Prozent der weltweit degradierten Landschaften bis 2030 unter Schutz zu stellen. Das Abkommen betont insbesondere auch die Notwendigkeit, die Rechte lokaler und indigener Gemeinschaften zu achten. Allerdings haben die Renaturierungsmaßnahmen der letzten Jahre trotz ehrgeiziger Pläne und wachsenden finanziellen Interesses die globalen Ziele verfehlt: Nur 18 Prozent der für 2020 zugesagten Flächen wurden bis 2019 wiederhergestellt. Und auch für 2030 ist die Welt derzeit nicht auf Kurs.

Bis anhin wurde die globale Restaurationsagenda in erster Linie durch Erkenntnisse der Ökologie geprägt, welche Art der Wiederherstellung in welchem ökologischen Kontext geeignet ist. Kartierungsstudien, die das weltweite Potenzial für Renaturierung ermittelten, machten auf die globale Dimension dieser Aufgabe aufmerksam und trugen entscheidend dazu bei, Ressourcen zu mobilisieren. Ob eine ökologische Restauration gelingt und auf Dauer besteht, ist jedoch nicht nur eine Frage der Ökologie. Insbesondere soziale Aspekte

wie Machtverhältnisse, Governance-Systeme oder der Umgang mit unterschiedlichen Werten spielen ebenfalls eine zentrale Rolle. Solche sozialen Faktoren wurden in Politik und Praxis lange zu wenig beachtet.

Zusammen mit Kolleg:innen konnte ich kürzlich in einer Studie zeigen, dass in den Gebieten, die prioritär renaturiert werden sollten, mehr als eine Milliarde Menschen leben, die überproportional von schlechter Gesundheit, tiefer Bildung und niedrigen Einkommen betroffen sind. Diese Menschen sind in vielen Fällen direkt von ihrer Landschaft abhängig und sind oft kulturell eng mit ihrem Land verbunden.

**SOZIALE FRAGEN** Renaturierung findet oft im Kontext starker Machtgefälle statt. Im schlechtesten Fall beeinflussen externe Geldgeber wichtige Entscheidungen, ob, wo und wie restauriert werden soll, während die lokalen Gemeinschaften, die direkt davon betroffen sind, oft am wenigsten zu sagen haben. Zudem unterscheiden sich die Ziele der Akteure mitunter erheblich. Während die lokale Bevölkerung eher von Projekten profitiert, die Restauration mit Landwirtschaft kombinieren, waldbaulichen Praktiken folgen und dabei wirtschaftliche Vorteile bringen, bevorzugen private Geldgeber häufig Projekte, die den Klimaschutz fördern: Sie investieren tendenziell mehr in schnell wachsende Kohlenstoffmonokulturen, die den Zielen der lokalen Gemeinschaften direkt zuwiderlaufen und Ökosysteme schädigen können.



Bei alldem stellt sich die Frage, wer über das Land und seine Nutzungspolitik bestimmt. Projekte, bei denen einflussreiche Akteure im Globalen Norden entscheiden, was im Globalen Süden umgesetzt wird, laufen Gefahr, lokale Gemeinschaften zugunsten von Kohlenstoffzielen zu marginalisieren. Umgekehrt zeigen zahlreiche Belege, wie die lokale Bevölkerung von sinnvoll wiederhergestellten Ökosystemen profitiert, wenn dezentral und fair entschieden wird. Offensichtlich gibt es ein moralisches Argument für gerechte Renaturierung: Die Menschen vor Ort, die am meisten betroffen sind, sollten das grösste Mitspracherecht haben.

**VOLLES POTENZIAL AUSSCHÖPFEN** Davon abgesehen ist es nur naheliegend, dass Eingriffe eher beständig und ökologisch vorteilhaft sind, wenn sie den Wünschen und Bedürfnissen der lokalen Bevölkerung für ihr Land entsprechen. Menschen sind schlicht eher bereit, ein Wiederherstellungsprojekt aufrechtzuerhalten, wenn es partizipativ ist und ihnen nützt.

Ökologisch wiederhergestellte Natur ist das Resultat sowohl ökologischer als auch sozialer Prozesse. Wenn wir beide Aspekte sinnvoll zusammenbringen, können wir die Ökosysteme der Erde so wiederherstellen, dass alle profitieren – das Klima, die Biodiversität und die betroffenen Menschen. ○

Weitere Blogbeiträge unter:  
[ethz.ch/zukunftsblog](https://ethz.ch/zukunftsblog)



Ein bewährter Ansatz, um Landwirtschaftsland zu restaurieren: Agroförstwirtschaft kombiniert Acker- und Weideflächen mit Bäumen.

Bild: zVg: smug / Adobe Stock

## Bunt und preiswert



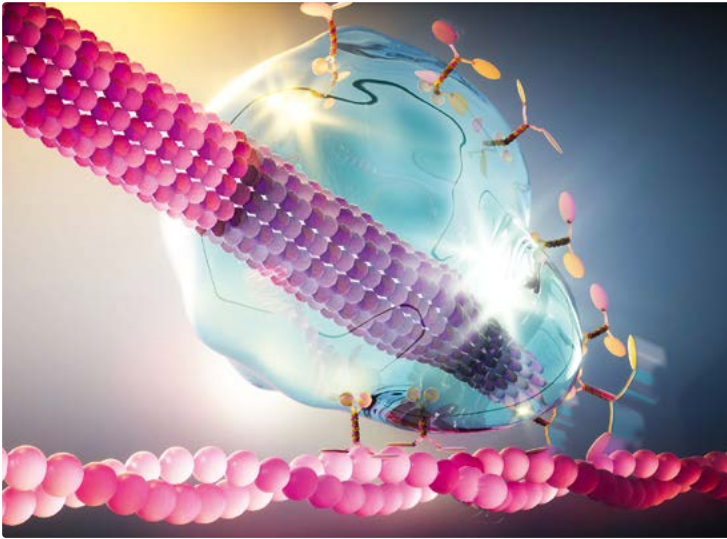
Bild: ETH Zürich

Polymer-Fluoreszenzfarben gibt es neu auch in Rot.

Neuartige Fluoreszenzfarben von ETH-Forschenden sind verhältnismässig einfach und kostengünstig herzustellen. Die Farbmoleküle bestehen je nach Farbe aus einer unterschiedlichen Zahl von Untereinheiten, und sie sind baukastenartig als Polymere aufgebaut. Bei den verwendeten Untereinheiten handelt es sich um einfache Moleküle, die entweder kommerziell erhältlich sind oder sich mit nur einem Reaktionsschritt herstellen lassen.

Nun ist es Forschenden um die ETH-Professoren Jean-Christophe Leroux und Chih-Jen Shih zusammen mit australischen Wissenschaftler:innen gelungen, mit dem neuen Ansatz ein breites Spektrum an Farben herzustellen – inklusive Rot, dessen Herstellung bisher als schwierig galt. Das Team entwickelte Algorithmen der künstlichen Intelligenz, die bei der Entscheidung helfen, welche Moleküluntereinheiten in welcher Zahl für eine bestimmte Farbe nötig sind.

Zu möglichen Anwendungen gehören UV-aktivierbare Sicherheitstinten für Geldscheine oder Pässe. Mit der Methode lassen sich auch Tinten herstellen, deren Farbe sich nach längerer UV-Bestrahlung ändert. Diese Eigenschaft kann ebenfalls für Sicherheitsmerkmale verwendet werden. Weitere Anwendungen für die neuen Fluoreszenzfarben sind in Solarkraftwerken, oder man könnte sie dereinst mit halbleitenden Molekülen kombinieren, um damit kostengünstige organische Leuchtdioden für Bildschirme herzustellen. ○



Das Flüssigkeitströpfchen (türkis) besteht aus Proteinmolekülen und wirkt wie ein Klebstoff.

## Cleverer Kleber

Forschende der ETH Zürich und des Paul Scherrer Instituts (PSI) entdeckten, wie Proteine in der Hefezelle winzige Flüssigkeitströpfchen bilden, die wie ein intelligenter molekularer Klebstoff wirken. Dieser sorgt dafür, dass der Zellkern bei der Zellteilung am exakt richtigen Ort zwischen der Mutterzelle und der sich abknospenden Tochterzelle positioniert wird. Kommt er falsch zu liegen, entsteht eine nicht lebensfähige Tochterzelle ohne genetisches Material.

«Flüssigkeiten aus Biomolekülen können äusserst raffiniert sein und viel mehr Fähigkeiten aufweisen, als wir es aus unserer makroskopischen Sicht gewohnt sind», sagt Yves Barral, Professor für Biochemie der ETH Zürich und einer der Studienautoren. ○

## Schnelle Investitionen für Netto-Null-Ziel

Sowohl die Europäische Union als auch die Schweiz haben sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 klimaneutral zu werden und ihre Treibhausgasemissionen auf Netto-Null zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, sind grosse Investitionen in die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, die Stromnetze, Speicherkapazitäten und andere klimarelevante Infrastrukturen erforderlich. Wie hoch diese aber in den nächsten 15 Jahren ausfallen müssen und welche Bereiche dabei am wichtigsten sind, war bis anhin unklar.

Diese Lücke füllt nun eine Metastudie von ETH-Professor Bjarne Steffen und Lena Klaaßen. Die Autoren kommen zum Schluss: Wenn in den nächsten zwei Jahren nicht jährlich 302 Milliarden Euro in klimarelevante Infrastrukturen in Europa fliessen, ist das Netto-Null-Ziel gefährdet.

Die ETH-Forschenden untersuchten 56 Technologie- und Investmentstudien aus der Wissenschaft, der Industrie und dem öffentlichen Sektor. Sie konzentrierten sich dabei auf die Staaten der EU, berücksichtigten aber auch Daten zum Vereinigten Königreich, zu Norwegen und zur Schweiz.

Am deutlichsten steigt der Investitionsbedarf bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Um die Entkarbonisierung aller Lebensbereiche voranzutreiben, müssen in den nächsten Jahren jährlich rund 75 Milliarden Euro in Solar- und Windkraftanlagen fliessen. Das sind 24 Milliarden mehr pro Jahr als in der jüngeren Vergangenheit.

Damit schnell mehr Kapital für den Ausbau grüner Infrastrukturen zur Verfügung steht, sollten politische Massnahmen auf die Finanzierung in jenen Sektoren zugeschnitten sein, wo der grösste Investitionsbedarf besteht. Dies sei heute nicht selbstverständlich, so die Autor:innen. So konzentrieren sich bestehende Regulierungen in der EU auf die Identifikation nachhaltiger Wertpapiere, obwohl wichtige klimarelevante Infrastrukturen gar nicht über Aktienmärkte finanziert werden.

Der Ausbau erneuerbarer Energien wird hingegen oft durch private Investoren wie Pensionsfonds und Banken ermöglicht. Die öffentliche Hand sollte deren Risiko durch Erlösgarantien und durch möglichst rasche und berechenbare Bewilligungsverfahren minimieren. Zudem können öffentliche Investitionen in neue Technologien wie zum Beispiel die CO<sub>2</sub>-Speicherung dazu beitragen, dass sich auch private Investoren in diese Bereiche vorwagen. ○



# Kunst Museum Winterthur

Beim Stadthaus

# Oscar Tuazon

Building



4.2.–30.4.2023

Oscar Tuazon, *It is Hard to Stop*, 2013,  
Kunst Museum Winterthur, Geschenk des  
Künstlers und der Galerie Eva Presenhuber



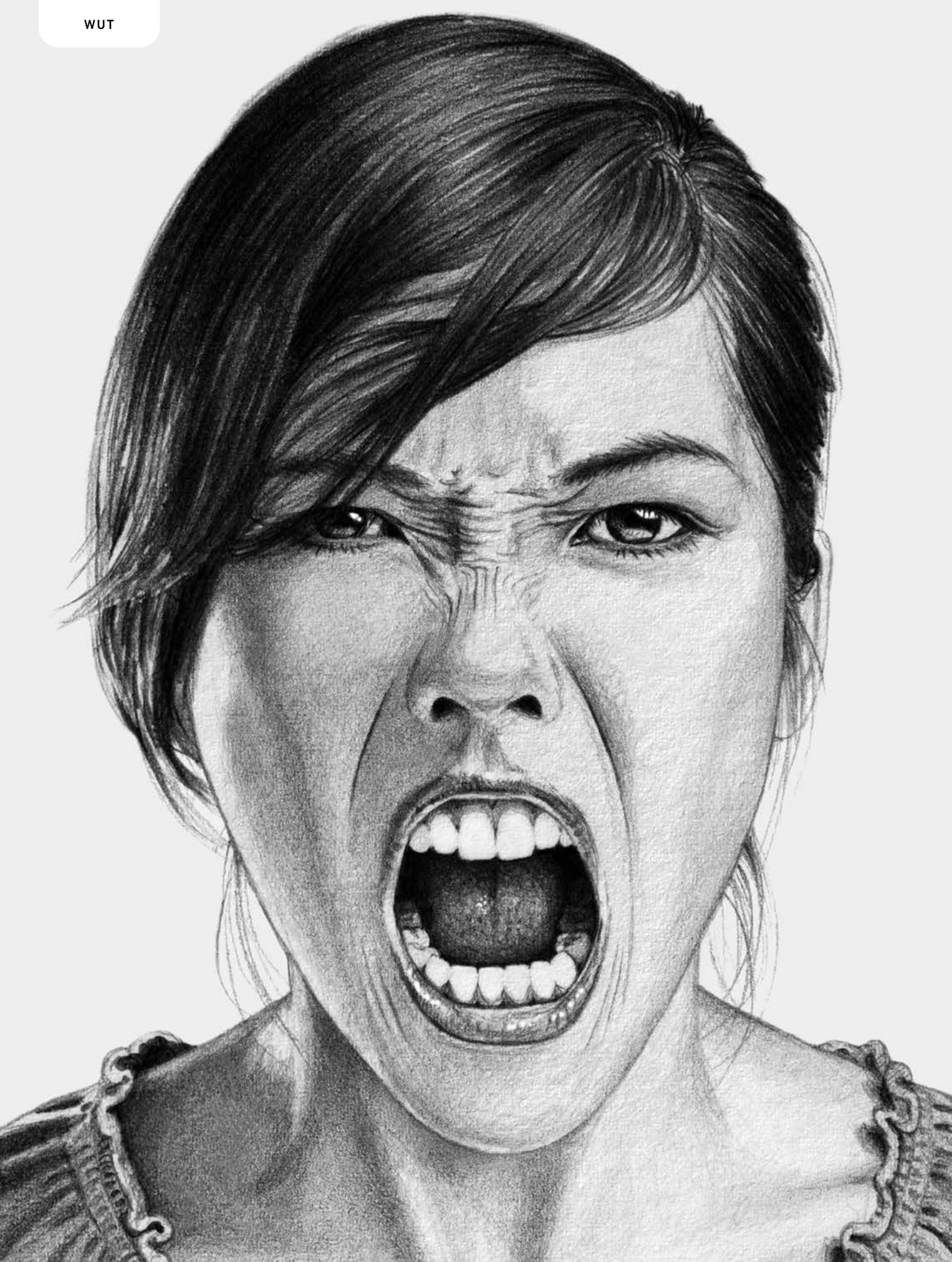
**«Ich empfinde es als  
meine Verantwortung,  
etwas zurückzugeben.»**

**Christian Buess, Unternehmer  
ETH Alumnus und Gönner ETH Foundation**

Die ETH hat sein Leben geprägt. Deshalb berücksichtigt  
Christian Buess die ETH Foundation in seinem Testament.  
Erfahren Sie mehr und bestellen Sie unsere Informations-  
broschüre rund um das Thema Nachlässe:

[www.ethz-foundation.ch/nachlass](http://www.ethz-foundation.ch/nachlass)

**ETH Foundation**





# DIE MACHT DER GEWOHNHEIT

**FOKUS** | Leben heisst, sich immer wieder zu entscheiden. Dabei trifft nüchternes Denken auf grosse Emotionen, bewusstes Wahrnehmen auf intuitives Handeln. Wie das genau zusammenspielt, ergründen ETH-Forschende mit komplexen Modellen und raffinierten Experimenten.

TEXT Felix Würsten

Insekten? Michael Siegrist ist skeptisch. Als ETH-Professor für Konsumentenverhalten stellt er immer wieder fest, dass Menschen beim Thema Essen sehr konservativ sind. «Wenn man die Ernährung nachhaltiger gestalten will, dann sind Insekten wohl der mühsamste Weg. Insekten lösen bei fast allen Menschen Ekel aus, das lässt sich nicht so einfach überwinden.»

Siegrist muss es wissen, denn er erforscht mit seinem Team, wie Konsument:innen sich im Alltag von ihren Emotionen leiten lassen. Und diese sind oft stärker als das rationale Denken. Die ETH-Forschenden konnten in verschiedenen Experimenten nachweisen, dass wir uns von symbol-

haften Informationen viel stärker beeinflussen lassen als von Fakten. Oder anders gesagt: Bilder sind mächtiger als Zahlen.

Legt man Proband:innen etwa den Benzinverbrauch von zwei Autofahrern vor, dann finden fast alle, derjenige mit dem tieferen Benzinverbrauch verhalte sich umweltfreundlicher. Legt man jedoch offen, dass derjenige mit dem tieferen Benzinverbrauch einen SUV fährt, der andere hingegen einen Kleinwagen, ändert sich die Beurteilung komplett: Der SUV-Fahrer wird trotz tieferem Energieverbrauch als weniger umweltfreundlich wahrgenommen. «80 Prozent der Proband:innen kommen zu dieser falschen Einschätzung», hält Siegrist fest. «Das finde ich erstaunlich.»

Besonders stark wirkt die symbolhafte Ebene bei der Ernährung. «Beim Essen wollen die Leute keine Technik, sondern Natur», stellt Siegrist lapidar fest. Das hänge mit dem naiven Naturverständnis zusammen, das sich in unseren Köpfen festgesetzt habe – kräftig unterstützt von den Marketingabteilungen der Firmen und der Politik. «Dabei können wir die Natur nur überhöhen, weil wir dank der Technik zum Beispiel viele Probleme bei der Lebensmittelsicherheit überwunden haben.»

Interessant ist dabei, dass der technische Wandel in der Küche ganz andere Spuren hinterlässt als im Wohnzimmer oder Büro. Floppy Disks, Röhrenbildschirme, CDs sind aus unserem Alltag längst verschwunden. In der Küche hingegen verdrängen neue Technologien die alten nicht, sondern ergänzen sie. «Wir brauchen keine Büchsen mehr und müssen unser Essen nicht mehr über dem offenen Feuer zubereiten», erklärt Siegrist. «Dennoch kaufen wir Früchte in Konserven und grillieren auf dem Balkon.» →

Bei seinen Aussagen stützt sich der Forscher auf die Resultate des «Ernährungs-Panels Schweiz», bei dem er zusammen mit seinem Team das Konsumverhalten der Schweizer:innen detailliert dokumentiert hat. Die Forschenden analysierten auch intuitive Essstrategien und wie sich die Essgewohnheiten der Partner:in auf das eigene Essverhalten auswirken. Siegrists Fazit: Wir ändern unser Essverhalten nur langsam, es sei denn, wir werden von externen Faktoren dazu gezwungen. Für Siegrist ist das wenig erstaunlich: «Wir überlegen uns schliesslich nicht jeden Tag neu, wie wir uns ernähren wollen.»

Vom technischen Fortschritt profitiert Siegrist auch in seiner eigenen Forschung. «Vor 20 Jahren nutzten wir für unsere Studien hauptsächlich gedruckte Fragebogen», erinnert er sich. «Heute können wir unseren Proband:innen dank Video und virtueller Realität (VR) ganz andere Reize präsentieren.» So forderte Siegrists Team die Proband:innen bei einem Ekelexperiment beispielsweise auf, ein reales Schokoladenstück zu essen, während ihnen gleichzeitig mit einer VR-Brille ein neutraler Tisch oder ein kotender Hund gezeigt wurde. Obwohl Hund und Kot klar als fiktive Gestalten erkennbar waren, weigerte sich ein grosser Teil der zweiten Gruppe, die Schokolade zu essen. «Ekel ist eine mächtige Emotion», meint Siegrist, «sie wirkt viel stärker als die Kognition.»

**HILFT INTUITION DEN FRAUEN?** Auch Katharina Fellnhofer nutzt Laborexperimente, um das Entscheidungsverhalten von Menschen besser zu verstehen. Die Forscherin, die zurzeit als Marie-Curie-Stipendiatin an der Professur für Bildungssysteme arbeitet, hat dabei einen noch kaum erforschten Aspekt im Fokus: Welche Rolle spielt die Intuition bei unseren Entscheidungen? Und wie können wir sie nutzen, um bessere Entscheidungen zu treffen?

Um diese Frage zu untersuchen, setzt Fellnhofer eine neu entwickelte Methode ein. Sie setzt den Kandidat:innen zunächst Grafiken vor, welche die Gewinnentwicklung von (realen) Unternehmen über fünf Jahre hinweg zeigen. Die Proband:innen müssen dann in kurzer Zeit entscheiden, ob sie in diese Unternehmen investieren wollen oder nicht. Bei der Hälfte der Firmen lohnt sich das Investment,

## «Je komplexer der Organismus, desto komplexer sind auch die Entscheide.»

Rafael Polania

wie man anhand der Gewinnentwicklung der nachfolgenden fünf Jahre erkennt, bei der anderen Hälfte nicht. «Im Grunde ähnelt meine Messmethode einem Zufallsspiel», hält sie fest. «Deshalb sollten Frauen genauso gut abschneiden wie Männer.» Dem war jedoch nicht so: Frauen fällen deutlich schlechtere Investment-Entscheide als Männer.

Bei der Hälfte der Grafiken sehen die Proband:innen allerdings mehr, als ihnen bewusst ist. Dort hat Fellnhofer emotional aufgeladene dreidimensionale Bilder mit einer speziellen Technik versteckt, welche die Proband:innen nur unbewusst wahrnehmen können. Führt man nun das Experiment mit Grafiken durch, bei denen im Hintergrund emotional aufgeladene Bilder als zusätzliche Botschaften zur richtigen Entscheidungsfindung versteckt sind, schneiden die Frauen besser ab als mit den neutralen Grafiken und erzielen vergleichbare Resultate wie die Männer. «Frauen können also durch diese nur intuitiv wahrnehmbaren Informationen einen Nachteil ausgleichen.»

In ihren Studien hat Fellnhofer festgestellt, dass die Proband:innen bereits nach kurzer Zeit ihre Entscheidungen verbessern können. Sie haben also unbewusst gelernt. Fellnhofer möchte in einem weiteren Schritt ihre Messmethode verfeinern, damit sie untersuchen kann, ob und in welchem Ausmass Intuition bewusst trainiert werden kann.

Die Intuition kann uns also helfen, bessere Entscheidungen zu treffen, schliesst Fellnhofer. «Das ist vor allem der Fall, wenn wir schnell risikobehaftete Entscheidungen treffen müssen.» Allerdings müsse man berücksichtigen, dass die Intuition durch eine Vielzahl von Faktoren wie beispielsweise Erinnerungen an frühere Ereignisse beeinflusst wird. Im Besonderen spielt die Erfahrung eine tragende Rolle: «Ein erfahrener Schachspieler erkennt sofort intuitiv mit minimalem kognitivem Aufwand, welches der beste Zug ist, und ist damit viel schneller als ein Anfänger.» Intuition als Forschungsthema sei herausfordernd, da diese eben nicht so leicht zu fassen sei. «Intuition ist derart facettenreich, dass wir Experimente benötigen, welche die ganze Bandbreite an Aspekten aus unterschiedlichen Disziplinen abdecken können.»

## «Ekel ist eine mächtige Emotion.»

Michael Siegrist



**DIE RESSOURCEN OPTIMAL NUTZEN** Genau diese verschiedenen Aspekte will ETH-Professor Rafael Polania, Leiter des Labors für Neurowissenschaft der Entscheidungsprozesse, zusammenbringen. «Alle Organismen treffen Entscheide anhand der Signale, die sie von ihrer Umwelt erhalten», erklärt er. «Je komplexer der Organismus, desto komplexer sind auch die Entscheide.» Dennoch stelle sich für alle Lebewesen im Grunde genommen die gleiche Aufgabe: Wie nutzen sie die von der Biologie vorgegebenen Ressourcen optimal, um möglichst gute Entscheidungen zu treffen?

Polanias Ziel ist es, das Verhalten von Lebewesen anhand mathematischer Modelle vorauszusagen. «Wir versuchen in unseren Modellen, die relevanten Faktoren abzubilden, die unsere Entscheide beeinflussen. Die Voraussagen der Modelle können wir danach experimentell überprüfen.» Dabei berücksichtigt der Forscher Erkenntnisse aus ganz unterschiedlichen Disziplinen wie Psychologie, Informatik, Neurobiologie und Ökonomie.

Die Resultate hätten für viele Disziplinen Konsequenzen, ist Polania überzeugt. «Ökonom:innen dachten lange, Menschen würden grundsätzlich rational entscheiden. Sie verstanden daher nicht, warum Menschen in gewissen Situationen Risiken vermeiden, obwohl die rationale Abwägung dagegen spricht. Berücksichtigt man die biologischen Beschränkungen, dann versteht man das besser.» Polania erwähnt zwei entscheidende Faktoren, die

**KATHARINA FELLNHOFER** ist Marie Curie Fellow an der ETH Zürich und der Harvard University und forscht derzeit am Departement Management, Technologie und Ökonomie.  
—> [ces.ethz.ch](https://ces.ethz.ch)

**RAFAEL POLANIA** ist Assistenzprofessor für Neurowissenschaft der Entscheidungsprozesse am Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie.  
—> [decision.ethz.ch](https://decision.ethz.ch)

**MICHAEL SIEGRIST** ist Professor für Konsumentenverhalten am Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie.  
—> [cb.ethz.ch](https://cb.ethz.ch)

## «Intuition hilft vor allem bei schnellen, risikobehafteten Entscheidungen.»

Katharina Fellnhofer

unser Verhalten prägen: Zum einen verarbeitet unser Gehirn bekannte Situationen schneller und differenzierter als neue. Es fällt uns daher leichter, Menschen aus unserem eigenen Kulturkreis zu unterscheiden als Menschen aus fernen Ländern. «Das hat nichts mit Rassismus zu tun, sondern liegt an der Informationsverarbeitung im Gehirn», meint Polania. Der zweite Faktor ist unser Bestreben, neue Wahrnehmungen mit bisherigen Erfahrungen zu verbinden. «Menschen mögen Dinge, die neu sind, aber doch nicht zu weit weg vom Bekannten», erläutert Polania. «Wenn es uns gelingt, eine neue Erfahrung mit dem Bekannten zu verbinden, dann gibt uns das ein positives Gefühl.»

Wie Menschen Entscheidungen treffen, ist auch für die Entwicklung der künstlichen Intelligenz von Interesse. Denn auch bei Maschinen geht es darum, die beschränkten Rechenkapazitäten optimal einzusetzen. Dementsprechend ist es auch für diese naheliegend, sich an das bereits Bekannte zu halten. Dass ein Chatbot anfängt, sich rassistisch zu äussern, oder eine Fahndungssoftware dazu neigt, gewisse Gruppen zu diskriminieren, überrascht Polania vor diesem Hintergrund nicht. Doch das lasse sich ändern, ist er überzeugt: «Wenn wir den Mechanismus verstehen, der zu diesen Fehlfunktionen führt, können wir ihn korrigieren.»

Schliesslich gibt es noch einen weiteren Aspekt, der bei der Entscheidungsfindung hilft: die Fähigkeit zur Selbstbeobachtung. «Wer ein Gefühl entwickelt, wie gut seine Einschätzung ist, verfügt über einen wichtigen Korrekturmechanismus und macht weniger Fehlentscheide», erklärt Polania. In einer neuen Studie konnte er zeigen, dass gerade diese Fähigkeit gute Führungspersönlichkeiten auszeichnet. «Es gibt sehr optimistische Menschen, die überzeugt sind, immer richtig zu liegen. Und es gibt pessimistische, die ihre Entscheide ständig hinterfragen. Beides ist nicht hilfreich», meint Polania. «Man muss die richtige Balance finden – und Introspektion hilft dabei.» ○

# IN DIE WIEGE

Emotionale Verletzungen können weite Kreise ziehen und sich sogar auf Nachkommen auswirken.

Die Professorinnen Isabelle Mansuy und Katharina Gapp erforschen, wie die Folgen eines Traumas epigenetisch vererbt werden.

TEXT Fabio Bergamin

## GELEGT

Unsere Mutter, unser Vater, unsere Grossväter und Grossmütter sind in uns präsent. Sie haben uns erzogen und waren uns Vorbilder. Sie vererbten uns ihre Gene. Deshalb sind wir ihnen ähnlich und teilen mit ihnen die Veranlagung für gewisse Krankheiten. Doch die Gene sind möglicherweise nicht das einzige Molekulare, was sie uns vererbt haben. Wie die Vorfahren gelebt und was sie erlebt haben, wie sie sich ernährten und ob sie emotional verletzt wurden, kann sich ebenfalls auf uns auswirken – vererbt über biochemische Muster in den Zellen, mit denen sie uns zeugten.

So zeigten Studien aus dem nordschwedischen Dorf Överkalix, die mehr als hundert Jahre zurückblickten, dass Söhne von Männern, die sich im Kindesalter üppig ernähren konnten, ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen haben. Dies im Vergleich zu Söhnen von Männern, die in kargen Zeiten aufgewachsen sind. Auch auf die zweite Nachfolgegeneration wirkte sich die Ernährungssituation aus: Die Grosssöhne wohlgenährter Männer zeigen ein erhöhtes Diabetesrisiko.

Von Nachkommen von Vietnamkriegsveteranen ist bekannt, dass sie überdurchschnittlich oft an Depressionen, Angstzuständen und Persönlichkeitsstörungen leiden. Und Kinder von Holocaust-Überlebenden reagieren auf eigene traumatische Erlebnisse besonders häufig mit einer posttraumatischen Belastungsstörung.

Bekannt sind solche generationenübergreifenden Zusammenhänge schon länger. Noch nicht im Detail geklärt ist, wie sie zustande kommen. Die Professorinnen Isabelle Mansuy und Katharina Gapp beschäftigen sich mit dieser Frage. Ihre Forschungsergebnisse weisen darauf hin, dass sogenannte epigenetische Faktoren eine Rolle spielen.

Mit epigenetischen Faktoren sind molekulare Muster in den Zellen gemeint, die nicht direkt mit der Abfolge der DNA-Bausteine zu tun haben. Vielmehr basieren sie auf reversiblen chemischen Veränderungen an einzelnen DNA-Bausteinen, auf der Anordnung der Chromosomen oder auf den RNA-Molekülen in den Zellen.

Die epigenetischen Faktoren werden wahrscheinlich nicht über Hunderte von Generationen vererbt wie unsere Gene. Aber über ein, zwei, in manchen Fällen auch drei oder vier Generationen ist die Weitergabe solcher Muster möglich. Relevant ist das gerade bei Folgen von Stress und Trauma, weil



es dem Missbrauch von Kindern, der Gewalt in Familien sowie den Traumata von Kriegsflüchtlingen potenziell eine neue Dimension verleiht. Die seelischen Folgen, mit denen traumatisierte Personen zu leben haben, sind schon tragisch genug. Doch wenn auch noch die Nachkommenschaft Folgen davonträgt, ist die Opferzahl noch einmal deutlich höher.

**CHARAKTERISTISCHES MUSTER** Mansuy und Gapp untersuchten die Vererbung von Traumafolgen an Mäusen. Sie konnten zeigen, dass sich männliche Jungmäuse, die über eine längere Zeit Stress ausgesetzt waren, als ausgewachsene Tiere asozial und ähnlich wie in einer Depression verhalten sowie eine gesteigerte Risikobereitschaft und Gedächtnisdefizite zeigen. Die Wissenschaftlerinnen verpaarten diese Tiere dann mit Kontrollmäusen und untersuchten die Nachkommen. Auch in der nächsten Generation zeigten sich solche Verhaltensauffälligkeiten, einige davon bis in die fünfte Nachkommengeneration.

Gapp begann ihre Forschung vor Jahren als Doktorandin in der Gruppe von Mansuy. Heute leitet sie an der ETH Zürich eine eigene Forschungsgruppe. Während der Doktorarbeit konnte sie bei Mäusen nachweisen, dass das RNA-Profil in den Spermien für die Vererbung der Stressfolgen mitverantwortlich ist. Sie verglich dazu Tausende RNA-Moleküle aus Samenzellen von Tieren, die selbst oder deren Väter traumatischen Stress erlebten, mit solchen von ungestressten Kontrolltieren.

Auf diese Weise fand sie ein charakteristisches Muster dieser RNA-Moleküle, das sich nur bei gestressten Tieren zeigte. In einem Experiment isolierte sie RNA aus Spermien von gestressten Tieren und injizierte sie in befruchtete Eizellen von ungestressten Eltern. So bewies sie, dass es tatsächlich die Spermien-RNA ist, welche die Information weitergibt, und es sich somit um eine epigenetische Übertragung handelt.

**UNVORHERSEHBARER STRESS** Möglich war diese Arbeit, weil Isabelle Mansuy in den Jahren zuvor in Pionierarbeit ein Modell entwickelte, mit dem sich Stress und emotionales Trauma bei Mäusen unter-

## «Epigenetische Veränderungen sind im Gegensatz zu genetischen Veränderungen reversibel.»

Isabelle Mansuy

suchen lässt. In dem Modell werden junge Mäuse während zweier Wochen täglich zu einer willkürlichen und somit für die Tiere unvorhersehbaren Zeit während dreier Stunden von ihrer Mutter getrennt. Diese war zusätzlich starkem und unvorhersehbarem Stress ausgesetzt.

Dass RNA nicht nur bei Mäusen, sondern auch bei Menschen auf traumatische Erlebnisse hinweist, konnte ein weiterer Doktorand von Mansuy zeigen. Der Forscher führte eine Untersuchung zusammen mit pakistanischen SOS-Kinderdörfern sowie einem pakistanischen Labor durch, das auf Untersuchungen von Sperma spezialisiert ist. In einer Studie konnte er nachweisen, dass bestimmte RNA-Moleküle im Blut von Waisenkindern gegenüber einer Kontrollgruppe erhöht sind. Dieselben Moleküle waren auch in Blutzellen von erwachsenen Männern verändert, die als Waisen aufgewachsen sind. In einer neueren Studie, welche bereits von Fachexperten begutachtet, aber noch nicht veröffentlicht worden ist, konnte er zeigen, dass die RNA-Moleküle auch im Sperma von Männern, die in der Kindheit eines oder mehrere traumatische Erlebnisse hatten, verändert sind.

Allerdings ist die RNA vermutlich nicht der einzige molekulare Weg der Vererbung von Traumafolgen. Ebenfalls bedeutend sein dürfte die Art und Weise, wie die Chromosomen in den Spermien strukturiert sind, ob sie sehr dicht oder an bestimmten Stellen eher lose in den Zellkern gepackt sind. Zahlreiche Proteine sind in der Lage, sich an die DNA zu heften und damit die Struktur der Chromosomen zu beeinflussen. Und diese Struktur wiederum beeinflusst, welche Gene in den Zellen abgelesen werden – zum Beispiel auch während der Embryonalentwicklung. —>

## «Das Verhalten von Männern vor der Zeugung ihres Nachwuchses kann in der Embryonalentwicklung eine Rolle spielen.»

Katharina Gapp

Eines der Proteine, welche sich an die Chromosomen heften, ist der Glukokortikoid-Rezeptor. Mit diesem wechselwirken bei Stress ausgeschüttete Hormone, aber auch hormonaktive Substanzen, wie sie unter anderem in Lösungsmitteln, Kunststoffprodukten und Pestiziden vorkommen können. Gapp vermutet daher, dass es auch zu kombinierten Effekten kommen kann, etwa wenn eine Person Schadstoffen ausgesetzt ist, sich ungesund ernährt und dann noch traumatisiert ist. Sie wurde 2021 vom Europäischen Forschungsrat (ERC) mit einem vom Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) finanzierten Starting Grant ausgezeichnet. In dem damit geförderten Projekt wird sie die Rolle des Glukokortikoid-Rezeptors in der nichtgenetischen Vererbung näher untersuchen.

«Wenn man nun immer klarer sieht, dass das Verhalten von Männern in ihrem Leben vor der Zeugung von Nachwuchs in der Embryonalentwicklung eine Rolle spielen kann, werden Männer mit in die Verantwortung gezogen für die Gesundheit der Kinder», sagt Gapp. Bislang wurde diese einseitig der werdenden Mutter aufgebürdet, mit Ratschlägen wie während der Schwangerschaft nicht zu rauchen und keinen Alkohol zu trinken.

**POSITIVE NACHRICHT** Doch auch wenn die epigenetischen Folgen von Traumata bisher vor allem bei Vätern und ihren Nachkommen nachgewiesen wurden, heisst das nicht, dass eine Vererbung über die weibliche Linie ausgeschlossen ist. Eine solche wurde bisher einfach weniger untersucht, denn die Untersuchung von Spermien ist deutlich einfacher als jene von Eizellen. Und obschon die epigenetischen Folgen von traumatischen Erlebnissen mit

unter über Generationen bestehen bleiben, gibt es auch eine positive Nachricht: Sie können rückgängig gemacht werden.

Die ETH-Forscherinnen konnten dies bei Mäusen zeigen, indem sie traumatisierte Jungtiere in einer sozial und geistig anregenden Umgebung platzierten. Diese Mäuse lebten in grösseren Gehegen und Gruppen und hatten Gegenstände zur Verfügung, die sie zur Bewegung und Erkundung animierten. Mehrere Symptome, welche traumatisierte Mäuse sonst zeigen, bildeten sich dadurch zurück, darunter die gesteigerte Risikobereitschaft. Und die anregende Umgebung machte die Traumafolgen nicht nur bei den zuvor gestressten Tieren rückgängig, sondern auch bei dem von ihnen anschliessend gezeugten Nachwuchs. In einer kleineren Studie wiesen die Wissenschaftlerinnen diese Reversibilität ausserdem nicht nur im Verhalten nach, sondern auch auf molekularer Ebene bei einzelnen epigenetischen Faktoren. «Die Haupteigenschaft von epigenetischen Veränderungen ist, dass sie im Gegensatz zu genetischen Veränderungen reversibel sind», sagt Mansuy.

Das deckt sich auch mit dem Wissen der Psychologie und der Psychiatrie. Je früher ein Kind, das missbraucht worden ist oder andere traumatische Erlebnisse hatte, eine Therapie erhält, desto grösser ist die Chance, langfristige Folgen zu minimieren.

Mansuys und Gapps Forschung trägt dazu bei, die Sicht auf die mentale Gesundheit zu verändern. «Leider wird Betroffenen von psychischen Krankheiten manchmal zu verstehen gegeben, sie seien selbst schuld an ihrer Lage», sagt Mansuy. Wenn aber vererbte Faktoren als Ursache solcher Krankheiten mitspielen, lässt sich diese Unterstellung noch weniger aufrecht erhalten als zuvor schon. ○

**KATHARINA GAPP** ist Assistenzprofessorin für Epigenetik und Neuroendokrinologie am Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie.  
—> [gapplab.ethz.ch](http://gapplab.ethz.ch)

**ISABELLE MANSUY** ist Professorin für Neuroepigenetik am Departement Gesundheitswissenschaften und Technologie der ETH und an der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich.  
—> [hifo.uzh.ch/en/research/mansuy](http://hifo.uzh.ch/en/research/mansuy)





# VERBORGENE ZUSTÄNDE DES GEHIRNS

Psychische Krankheiten lassen sich nur anhand von Symptomen diagnostizieren. Ein ETH-Wissenschaftler möchte das mithilfe mathematischer Modelle ändern.

TEXT Corinne Johannssen

Warum gibt es überhaupt Emotionen? Klaas Enno Stephan, Professor an der ETH und der Universität Zürich muss weit ausholen, um diese Frage zu beantworten: «Mir scheint es sehr plausibel, dass Emotionen dazu da sind, unbewusste Prozesse, die im Körper ablaufen, bewusst zu machen.» Der Mediziner interessiert sich in seiner Forschung unter anderem für das Zusammenspiel von Gehirn und Körper. Er macht ein Beispiel: Beim Anblick von Nahrung schüttet der Körper Insulin aus – noch vor dem ersten Bissen und dem Anstieg des Blutzuckerspiegels. «Wir steuern diese körperliche Reaktion aber nicht bewusst», sagt Stephan.

Unser Gehirn zieht permanent Schlüsse aus der Umwelt und aktualisiert sie laufend. «Das Gehirn baut Modelle der Welt und macht daraus Vorhersagen», erklärt Stephan. Mehr noch: Basierend auf den Vorhersagen führt es Kontrollhandlungen aus, wie beispielsweise die Insulinausschüttung vor dem Essen. «Das Gehirn hat dabei ein übergeordnetes Ziel: den Körper in Homöostase zu halten», so der Mediziner. Homöostase bezeichnet das Gleichgewicht wichtiger Körperfunktionen wie Blutzuckerspiegel, Thermoregulation, Blutdruck oder Säure-Basen-Haushalt. Gerät dieses Gleichgewicht ins Wanken, greift das Gehirn regulierend ein – meist unbemerkt.

Befinden wir uns aber in einer akuten Bedrohungssituation, die die Homöostase gefährdet, ist es sinnvoll, dies auch auf bewusster Ebene wahr-

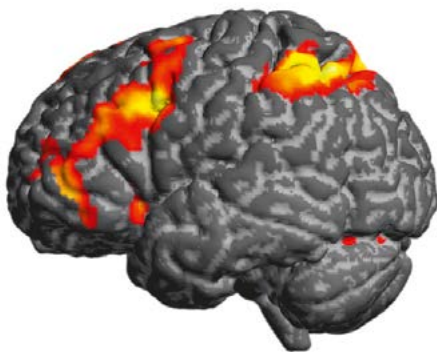
zunehmen. «Es ist sehr plausibel, dass Emotionen Zustände des Bewusstseins sind, die mit ganz bestimmten Handlungen vergesellschaftet sind, um die Körperfunktionen zu erhalten», sagt Stephan. «Angst beispielsweise macht uns auf der bewussten Ebene klar: Hier sind Gefährdungen, auf die wir jetzt bedingungslos reagieren müssen.»

**ERWARTUNGSMANAGEMENT** Doch Angst ist nicht immer nur akut. Es gibt Menschen, die leiden dauerhaft unter erhöhter Angst. Eine Erklärung dafür könnten zu genaue Vorhersagen sein. «Baut mein Gehirn ein Modell, das erwartet, dass mein Herz absolut regelmässig schlägt, wird diese Erwartung beim Abgleich mit der Realität nicht erfüllt. Dies löst Angst aus.» Schon kleinste, natürliche Abweichungen werden dann als bedrohlich erlebt und der gesunde Körper wird ständig als in Gefahr wahrgenommen. Die Homöostase scheint im Ungleichgewicht und es kommt zu Kontrollhandlungen. Aber durch den Versuch, das Herz zu kontrollieren, schlägt es nur noch schneller und unregelmässiger. Eine Negativspirale, beschleunigt durch den Sympatikus, jenen Teil des Nervensystems, der in Stresssituationen Kräfte mobilisiert.

Mit einem raffinierten Experiment konnten Stephan und seine Kollegin Olivia Harrison die Theorie bestätigen, dass bei erhöhten Ängsten in einer bestimmten Hirnregion, der vorderen Insel, die Vorhersagen über Körperzustände übermässig

genau sind. Dazu untersuchten die Forschenden mittels funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRI) Proband:innen mit unterschiedlicher Angstneigung. Die Teilnehmenden lagen im MRI-Scanner und mussten durch eine Art Schnorchel atmen, mit dem der Atemwiderstand plötzlich erhöht werden konnte. In einem ersten Schritt lernten sie, dass die Anzeige bestimmter Bilder vorhersagte, ob sie normal einatmen konnten oder der Atemwiderstand unangenehm erhöht wurde. In einem nächsten Schritt wurde die Beziehung zwischen Bildern und Atemwiderstand umgekehrt. Mithilfe mathematischer Modelle konnten die Forschenden untersuchen, inwieweit die gemessene Hirnaktivität die gelernten Erwartungen und ihre Veränderungen widerspiegeln. Tatsächlich liessen sich die Signale für die Genauigkeit der Vorhersage in der vorderen Insel lokalisieren, und die Aktivität dieser Hirnregion unterschied sich bei Menschen mit verschiedenen Angstneigungen.

**GRUNDLEGENDE MECHANISMEN** «Unser Ziel ist immer die klinische Anwendung», hält der Mediziner fest. Stephan betont, dass psychische Erkrankungen nur basierend auf den Symptomen diagnostiziert werden. «In der Psychiatrie fehlen schlichtweg Messverfahren oder quantitative Tests, um die Ursachen oder die Mechanismen aufzuschlüsseln.» Ein vielversprechender Ansatz seien aber mathematische Modelle, mit denen man aus gemessener Hirnaktivität die Stärke verborgener, das heisst nicht direkt messbarer Zustände von Nervenzellpopulationen zu berechnen versucht. Prinzipiell könnten mit solchen Modellen mögliche biologische Mechanismen von Erkrankungen erkannt werden, wie beispielsweise Veränderungen in der Stärke bestimmter synaptischer Verbindungen.



Dank funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRI) werden Gehirnaktivitäten sichtbar.

«Wir können solche Modelle auch auf konkrete klinische Probleme anwenden und für individuelle Vorhersagen nutzen», sagt Stephan. Ein Beispiel ist eine fMRI-Studie, bei der Patient:innen mit einer Depression Bilder von Gesichtern verschiedener Emotionen präsentiert bekommen. Mithilfe eines mathematischen Modells, wie einzelne Hirnregionen bei der Wahrnehmung emotionaler Gesichter miteinander kommunizieren, konnte mit einer 80-prozentigen Wahrscheinlichkeit individuell vorausgesagt werden, ob sich jemand binnen zwei Jahren von der Depression erholt oder noch chronisch depressiv ist.

Noch sind die Verfahren aus Stephans Labor nicht bereit für den Einsatz in der Praxis. Sein Antrieb bleibt indes ungebrochen: «Mit den mathematischen Modellen verschaffen wir uns Zugang zu den verborgenen Zuständen des Gehirns.» ○

**KLAAS ENNO STEPHAN** ist Professor für Translational Neuromodeling und Computational Psychiatry an der ETH Zürich am Departement Informationstechnologie und Elektrotechnik und an der Universität Zürich. Die Professur wurde durch die René und Susanne Braginsky-Stiftung gefördert.

—> [tnu.ethz.ch](http://tnu.ethz.ch)

**MASTERPROGRAMM FÜR HIRNFORSCHUNG** Die ETH Zürich bietet gemeinsam mit der Universität Zürich seit dem Herbstsemester das neue interdisziplinäre Masterprogramm «Interdisciplinary Brain Sciences» an. Der Studiengang kombiniert Biologie, Neurowissenschaften und klinische Methoden.

—> [ethz.ch/master-hirnforschung](http://ethz.ch/master-hirnforschung)



ANGST



# DER DIGITALE SCHATTEN

# UNSERER GEFÜHLE

Psychologin Verena Zimmermann und die Informatiker Joachim Buhmann und Elgar Fleisch über die Messbarkeit unserer Gefühle, ihre Rolle zwischen Mensch und Maschine und den Einsatz von intelligenten Technologien.

INTERVIEW Karin Köchle, Michael Walther BILDER Daniel Winkler

**Herr Buhmann, werden Computer bald Emotionen haben?**

**JOACHIM BUHMANN:** Emotionen steuern das menschliche Verhalten. Wenn Algorithmen lernen, sich wie Menschen zu verhalten, dann kann man das Verhalten auch mit der Komponente Emotion imitieren. Ob der Computer dann Emotionen hat, ist wohl eher eine philosophische Frage.

**Frau Zimmermann, was sind Emotionen aus Sicht der Psychologie?**

**VERENA ZIMMERMANN:** Emotionen sind so komplex, dass nicht einmal die Psychologie eine klar abgrenzbare Definition dafür gefunden hat. Was aber viele Definitionen gemein haben: Emotionen wer-

den durch eine bestimmte Situation ausgelöst und intensiv erlebt, sie sind von relativ kurzer Dauer und gehen immer mit einer physiologischen Reaktion einher, wie zum Beispiel einer Beschleunigung der Atemfrequenz oder des Herzschlags. Die sogenannten Basisemotionen wie Wut, Freude oder Trauer zeigen sich bei vielen Menschen in ähnlicher Weise und lassen sich gut voneinander abgrenzen. Gefühle wie Resignation oder Unsicherheit lassen sich aber oft nicht eindeutig erkennen und demzufolge auch nicht klar messen.

**BUHMANN:** Das ist der Punkt! Kategorien wie Frustration, Ärger, Freude oder Begeisterung helfen zwar, die Vorgänge, die hinter Emotionen stecken, so zu verpacken, dass es die Kommunikation mit →

Menschen erleichtert. Die Frage ist aber: Was beschreiben wir damit denn wirklich? Es sind Beschreibungen für sehr komplexe, aus meiner Sicht subrationale Gehirnzustände. Die Begriffe sind eine Verpackung einer unglaublich komplizierten Dynamik, und unsere Sprache ist sehr eingeschränkt, um das Ganze einzufangen.

### **Können also Maschinen lernen, was Menschen nicht verstehen?**

**BUHMANN:** Ja, denn das ist ja genau der Kern des maschinellen Lernens: Wir geben dem Computer kein Konzept der Realität vor, sondern lassen ihn direkt aus den Daten lernen. Wenn Algorithmen lernen, sich wie Menschen zu verhalten – etwa einen Artikel zu schreiben –, dann nehmen sie den Menschen als Beispiel her, ohne dass dieser selbst in der Lage ist, zu rationalisieren, was er tut. Algorithmen sind unglaublich gut geworden darin, Dinge zu imitieren, die wir verstandesmäßig kaum fassen können.

### **Herr Fleisch, Sie kommen aus einem sehr anwendungsorientierten Bereich. Welches Projekt beschäftigt Sie aktuell?**

**ELGAR FLEISCH:** Wir haben in meiner Forschungsgruppe in letzter Zeit mehrere klinische Studien gestartet, bei denen wir den Effekt von Emotionen messen. Wir untersuchen beispielsweise, ob das Bewegungsverhalten mit den Entzündungswerten im Blut der Proband:innen korreliert, und wollen so herausfinden, ob ein Mensch krank zu werden droht, auch wenn er noch gesund ist. Diese Methode könnte dereinst ein sehr einfaches und kostengünstiges Frühwarnsystem werden, mit dem man chronische Krankheiten verhindern kann, bevor sie eintreten.

**BUHMANN:** Ja, viele Krankheitssymptome zeigen sich in mechanischen Ausdrucksformen. Den Beginn von Parkinson kann man allein aufgrund der Anschlagfrequenz beim Tippen auf der Tastatur erkennen – noch bevor die Krankheit diagnostiziert wurde. Herausgefunden hat man das bei Personen, die bei sich eine Parkinson-Erkrankung vermuten und entsprechende Fragen auf Suchmaschinen eingegeben haben.

### **Wie gut lassen sich Emotionen denn überhaupt messen?**

**FLEISCH:** Emotionen triggern im Körper unglaublich viel. Die Art, wie wir sprechen, also Geschwindigkeit, Lautstärke und Tonalität, unsere Augenbewegungen oder Bewegungen generell, unseren Puls, unsere Atmung...

**ZIMMERMANN:** Menschen reagieren unterschiedlich und sie können ihre Emotionen wahrnehmen, beeinflussen oder sogar unterdrücken. Das ist eine Herausforderung für die Technologie.

Wenn ich mich nur auf eine Messmethode beschränke, kann das zu Fehlinterpretationen führen. Aus Sicht der Forschung sollten wir mehrere Methoden miteinander kombinieren, also zum Beispiel Stimm- und Gesichtserkennung mit physiologischen Faktoren.

### **Wo werden Emotionen sonst noch maschinell erfasst?**

**BUHMANN:** Im Gebiet der Mensch-Computer-Interaktion ist es natürlich hilfreich, wenn der Algorithmus etwas über den emotionalen Zustand des Menschen, mit dem er sich austauscht, weiss. Je



**«Die Evolution hat uns mit Abstraktion und Kreativität, aber mit zu wenig Speicherkapazität ausgestattet – sonst wären wir Datenbanken.»**

Joachim M. Buhmann





«Ich sehe nicht die Gefahr des Ersetzens, sondern die Chance des Ergänzens.»

Elgar Fleisch

nachdem, ob jemand positiv oder negativ eingestellt ist, kann man Antworten leicht anders formulieren und so auch Einfluss nehmen auf die emotionale Wirkung einer Interaktion.

**ZIMMERMANN:** In meinem Forschungsgebiet sind Emotionen und Haltungen, die wir gegenüber Maschinen haben, sehr relevant. Ich forsche unter anderem dazu, welche Rolle das menschliche Verhalten und damit auch Emotionen in der Cybersicherheit spielen. Eine meiner Doktorandinnen untersucht, welchen Einfluss Emotionen auf die Wahrnehmung des Themas Cybersicherheit und auf das Sicherheitsverhalten haben. Ein einfaches Beispiel: Wer beim Thema Cybersicherheit Angst verspürt, zeigt vielleicht ein Vermeidungsverhalten und beschäftigt sich erst gar nicht damit. Das kann dazu führen, dass man nichts lernt und sich darum auch nicht sicher verhalten kann.



«Wir dürfen den Menschen und die Technologie nicht isoliert betrachten.»

Verena Zimmermann

**Wie bringt man Menschen dazu, gerne mit Maschinen zu interagieren?**

**ZIMMERMANN:** Es kommt darauf an, was man mit den Technologien erreichen will. Ist das Ziel, dass Menschen über virtuelle Realitäten Emotionen erleben können? Oder ist das Ziel, eine möglichst menschenähnliche soziale Interaktion zu ermöglichen, in einem Anwendungsfeld wie der Pflege, wo menschlicher Bezug aufgrund der Alterung der Gesellschaft knapp werden könnte? Es gibt Studien, die zeigen, dass ein Roboter, je nachdem, wie er →

gestaltet ist, bestimmte Emotionen bei Menschen erzeugen und so auch eine emotionale Verbindung zwischen Mensch und Technologie entstehen kann.

### **Also heisst das für Roboter: je ähnlicher, desto sympathischer?**

**ZIMMERMANN:** Ja, mit einer wichtigen Einschränkung: Das Konzept des «Uncanny Valley» besagt, dass es in der Kurve der steigenden Akzeptanz mit zunehmender Menschenähnlichkeit einen Knick gibt. Wenn etwas sehr menschenähnlich ist, bestimmte Merkmale aber trotzdem nicht ganz perfekt, sondern abnormal sind, wird es auf einmal unangenehm in der Interaktion ...

### **Dann doch besser Maschinen, die uns nicht zu ähnlich sind?**

**FLEISCH:** Wir haben bei Experimenten mit Chatbots zumindest beobachtet, dass diese nicht perfekt sein müssen, damit eine Bindung mit den Nutzer:innen entsteht. Einen solchen Chatbot haben wir bei der Therapie von übergewichtigen Kindern als Vermittler zwischen den Ärzt:innen und Patien:innen eingesetzt. Das Ziel war, die Adhärenz zu verbessern – also, dass sich die Kinder therapietreuer verhalten. Die Kinder konnten dem Chatbot einen Namen geben, er begleitete sie von morgens bis abends und lernte aus ihren Reaktionen. Wenn sie Fragen hatten, konnten sie diese entweder den Ärzt:innen oder dem Chatbot stellen. In 99 Prozent der Fälle wandten sich die Kinder an den Chatbot!

### **Computer dringen in Bereiche vor, die bis vor Kurzem noch Menschen vorbehalten waren. Wie teilen wir uns dereinst die Aufgaben?**

**FLEISCH:** Im Beispiel des Chatbots für übergewichtige Kinder braucht es hinter der Technologie immer noch einen Arzt oder eine Ärztin. Ich sehe nicht die Gefahr des Ersetzens, sondern die Chance des Ergänzens. Ein intelligenter Assistent ersetzt keine Ärztin, kann aber einen Patienten durch eine lange Krankheit begleiten und ihn unterstützen. Unsere Analysen haben gezeigt: Ein Chatbot wird kaum je gleich gut oder besser sein als die besten Ärzt:innen, aber er ist besser als der Durchschnitt. Digitale Coaches steigern also die Behandlungsqualität in der Breite.

**BUHMANN:** Der Mensch als wahrnehmendes und denkendes Wesen hat klare Beschränkungen. Die Evolution hat ihn mit Abstraktion und Kreativität, aber mit zu wenig Speicherkapazität ausgestattet, sonst wären wir Datenbanken geworden. Alles, was wir bislang wissenschaftlich durchdringen konnten, hat eine sehr kleine Beschreibungscomplexität gebraucht. Alle wissenschaftlichen Theorien, die weltbekannt geworden sind, passen auf die Rückseite eines Umschlags. Das ist aber natürlich nicht die Realität. Es ist die selektive Auswahl dessen,

was wir mit unserem Gehirn verarbeiten können. Das heisst, wir haben keine Möglichkeit, mit hoher Komplexität umzugehen und prädiktive Modelle zu bauen. Was wir bräuchten, ist ein Denk-Coprozessor, der uns hilft, einen weiteren Blick zu haben.

### **Gibt es Funktionen, die Maschinen nicht übernehmen sollen?**

**BUHMANN:** Das ist die falsche Frage. Wir müssen die zukünftige Welt doch mit diesen Technologien neu denken und nicht die Technologien behindern, damit unsere alte Organisationsform in der Zukunft funktioniert. Mit den neuen Tools werden auch neue Ethiken entstehen. Etwas, was vielleicht früher unethisch war, wird plötzlich akzeptabel.

### **Welche Rolle spielen Emotionen künftig in den technischen Wissenschaften?**

**FLEISCH:** Wir messen nicht direkt die Emotionen, sondern den digitalen Schatten, den unsere Gefühle auf dem Messband hinterlassen. Aus technischer Sicht werden wir diesen handhabbaren Schatten immer besser verstehen. Und dieses Verständnis müssen wir für die Gesellschaft nutzen. Die Emotionen selber werden vom Computer abgekapselt bleiben.

**ZIMMERMANN:** Als Forscherin an der Schnittstelle zwischen den Sozialwissenschaften und der Technischen Wissenschaften ist es mir wichtig, dass wir den Menschen und die Technologie nicht isoliert betrachten, sondern die Interaktion zwischen beidem. Denn dort spielen die Emotionen eine entscheidende Rolle. ○

**JOACHIM M. BUHMANN** ist Professor für Informatik am Departement Informatik.  
—> [ise.inf.ethz.ch](http://ise.inf.ethz.ch)

**ELGAR FLEISCH** ist Professor für Informationsmanagement am Departement Management, Technologie und Ökonomie.  
—> [im.ethz.ch](http://im.ethz.ch)

**VERENA ZIMMERMANN** ist Professorin für Sicherheit, Privatsphäre und Gesellschaft am Departement Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften.  
—> [spg.ethz.ch](http://spg.ethz.ch)





# NACHTS

ESSAY von Michael Hagner

Kürzlich erregte ein Artikel in «Nature» mit der These Aufsehen, dass die Wissenschaften in den letzten 60 Jahren trotz immer weiter gestiegener Förderungen zunehmend weniger Durchbrüche in neue Richtungen vorzuweisen haben. Stattdessen habe sich diejenige Art von Forschung durchgesetzt, die bestehendes Wissen immer mehr verfeinere oder ausbaue.

Man kann darüber diskutieren, ob die digitale Analyse von 45 Millionen wissenschaftlichen Artikeln und 3,9 Millionen Patenten nicht auch andere Schlüsse zulässt. Man könnte auch einwenden, dass revolutionäre Durchbrüche überschätzt werden und vor allem für das fortlaufende Heldenepos der Wissenschaften wichtig sind, weniger für deren alltägliche Arbeit.

Aber selbst wenn es sich so verhalten sollte, ist die Erzählung vom disruptiven Abenteuer der Wissenschaften nicht nutzlos. Warum sollten sich junge Menschen auf eine arbeits- und risikoreiche, nicht unbedingt Wohlstand versprechende Berufswahl einlassen, nur um dann die eine oder andere Forschungslücke zu schliessen? Es muss nicht gleich der Nobelpreis sein, aber alle, die sich auf die Forschung einlassen, dürften schon den Antrieb verspürt haben, etwas ganz Neues auszuprobieren und eine bestehende wissenschaftliche Doktrin über Bord zu werfen. Doch wer diesem Antrieb folgt, hat einen mühsamen Weg vor sich, sei es, weil die Natur, wie sie im Labor untersucht wird, sich als widerspenstig erweist und die Ergebnisse erst einmal dürftig, widersprüchlich oder rätselhaft sind, sei es, weil die Geldgeber und die Granden der entsprechenden Scientific Community diese Forschung für sinnlos halten.

In einer solchen Situation braucht es Eigensinn, Wagemut, Spekulationsfreudigkeit, Durchhaltevermögen und die Intuition, dass ein Schatz genau da verborgen sein könnte, wo die herrschende Lehrmeinung ihn nicht lokalisiert. Womit wir mitten im Thema der Emotionen angekommen wären, denn mit rein rationalen Erwägungen würde man sich weder den drohenden epistemischen Unge-

wisheiten noch dem sozialen Aussenseiterdasein aussetzen, das mit dem Beschreiten eines solchen Weges drohen kann. Aktuell gibt es für eine solche Konstellation einen Namen und ein Gesicht: Die ungarische Molekularbiologin Katalin Karikó, deren Forschungen zur mRNA die (unbeabsichtigte) Grundlage für den Covid-19-Impfstoff darstellen, hat seinerzeit an der University of Pennsylvania keine unbefristete Professur erhalten und musste gehen. Sie hat sich dadurch aber nicht entmutigen lassen.

**«Erkenntnisdurchbrüche setzen emotional grundierte Verhaltensweisen wie Wagemut und Demut, Beharrlichkeit und Eigensinn voraus.»**

Erkenntnisdurchbrüche setzen folglich emotional grundierte Verhaltensweisen wie Wagemut und Demut, Beharrlichkeit und Eigensinn voraus. Und damit nicht genug. Auch Neugier und Staunen gehören in diesen Zusammenhang. Niemand wird bestreiten, dass es sich hier um universelle Kategorien handelt, die in vielen Bereichen des Lebens relevant sind. Doch die Geschichte dieser Begriffe zeigt, dass Neugier und Staunen zu den wesentlichen Verhaltenseigenschaften der Naturforscher des 17. Jahrhunderts gehörten, welche die sogenannte wissenschaftliche Revolution überhaupt

erst ermöglicht haben. Daher hat die Wissenschaftshistorikerin Lorraine Daston sie als kognitive Leidenschaften bezeichnet, die für den Erkenntnisfortschritt konstitutiv gewesen sind. Und es zweifellos immer noch sind.

Nun könnte man entgegenhalten, dass solche Emotionen für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler schon wichtig sind, aber sobald sie sich an die Forschungsarbeit machen, sei sie nun theoretisch oder praktisch, zählen nur noch rationale Kriterien. Es hat in Philosophie und Wissenschaften der letzten 200 Jahre denn auch eine Reihe von Forderungen, Verfahren und Handlungsanweisungen gegeben, die alle zum Ziel hatten, nicht bloss die Emotionen, sondern die Subjektivität tout court aus der wissenschaftlichen Arbeit zu verdrängen. Ein Beispiel ist die mechanische Objektivität des 19. Jahrhunderts, bei der technische Visualisierungsverfahren wie Fotografie, Spektrografie oder Aufzeichnungsgeräte zur Messung von Körperfunktionen als Fortschritt galten, um die notorisch unzuverlässige subjektive Intervention der Forschenden auszuschalten.

Das Ziel solcher Verfahren bestand darin, persönliche Idiosynkrasien, also bestimmte Vorlieben und Abneigungen, Glaubensüberzeugungen, Vorurteile, Hoffnungen und Geltungssucht – im Grunde das reichhaltige Arsenal der menschlichen Gefühle – aus der wissenschaftlichen Arbeit herauszuhalten. Gewiss sind die asketischen Tugenden eine notwendige Bedingung für Erfolg und Zuverlässigkeit der Forschung. Notwendig heisst aber noch nicht hinreichend. Die Wissenschaftsgeschichte hat immer wieder gezeigt, dass idiosynkratische Überzeugungen, ästhetische Entscheidungen oder seltsame Intuitionen ein Teil der Forschungspraxis sind, ohne die neue Erkenntniswege kaum zu erklären wären. Und auch einige Naturwissenschaftler selbst haben diese irrationale Komponente hervorgehoben.

So hat der Molekularbiologe und Nobelpreisträger François Jacob zwischen der Tagwissenschaft und der Nachtwissenschaft unterschieden. Am Tag ist alles klar und rational, jeder einzelne

Argumentationsschritt ist logisch nachvollziehbar, und die Wissenschaft stellt sich wie eine Maschine dar, bei der das eine automatisch in das andere greift. Es ist diese Seite von Wissenschaft, die üblicherweise Politikern, Geldgebern und der Öffentlichkeit präsentiert wird. Sie wissen jedoch nichts von der Nacht, in der die Wissenschaften stolpernd umhertappen, Zweifel hegen, nicht mehr genau wissen, warum sie was tun, in Sackgassen landen und eher mit Ängsten und Ahnungen darauf hoffen, eine Lösung zu finden. In diesem Stadium ist das Denken viel näher bei der Intuition und beim Gefühl als beim logischen Nachvollzug. Viele solcher nächtlichen Aktivitäten erreichen nicht einmal das Licht des Tages und werden als fehlgeschlagener Versuch abgehakt. Doch für Jacob ist die Nachtwissenschaft eine unverzichtbare Werkstätte des Möglichen, in der neue Wege der Wissenschaften ausprobiert werden. Sie müssen sich dann am Tag bewähren, aber ohne die auf verschlungenen Wegen stattfindenden Nachtfahrten gäbe es eben auch nichts, was sich am Tag bewähren könnte.

Ein anderer Naturwissenschaftler, der Physikochemiker und spätere Wissenschaftssoziologe Michael Polanyi, hat das Konzept des «Tacit Knowledge» eingeführt, um zu verdeutlichen, dass man bei kreativen Aktivitäten nicht jeden einzelnen Schritt genau explizieren könne. Neben den rationalen Vorgehensweisen gibt es immer auch ein implizites Wissen, das zur Erfahrung und zur Erkenntnis verhilft. Polanyi hielt das implizite Wissen für eine Art Generalschlüssel, der beim künstlerischen Geschick ebenso wie bei der Kunst eines erfahrenen Diagnostikers in der Medizin und bei den schöpferischen Fähigkeiten einer wissenschaftlichen Forscherin passt. Und ein Verzicht auf diese Form des Wissens hätte fatale Konsequenzen: «Angenommen jedoch, implizite Gedanken bildeten einen unentbehrlichen Bestandteil allen Wissens, so würde das Ideal der Beseitigung aller persönlichen Elemente des Wissens de facto auf die Zerstörung allen Wissens hinauslaufen.»

Weil die Nachtwissenschaft in der Tagwissenschaft ebenso wenig sichtbar gemacht wird wie das implizite Wissen im expliziten, können beide und die mit ihnen verbundenen Emotionen auch durch die digitale Analyse von 45 Millionen wissenschaftlichen Artikeln nicht erfasst werden. Doch wenn es ein Problem mit der bahnbrechenden Forschung geben sollte, lohnt es sich auf jeden Fall, die Bedingungen, unter denen Durchbrüche in den Wissenschaften stattfinden, noch einmal genauer unter die Lupe zu nehmen. Rezepte werden sich daraus nicht entnehmen lassen, wohl aber die Ermutigung, sich in den Wissenschaften nicht nur seines Verstandes zu bedienen, sondern auch Emotionen zuzulassen und zu begreifen, dass es für originelle Forschung nicht ausreicht, wenn ein Zahnrad fein säuberlich in das andere greift. ○

Bild: Suhrkamp Verlag



**MICHAEL HAGNER** ist Professor für Wissenschaftsforschung am Departement Geistes-, Sozial- und Staatswissenschaften der ETH Zürich.  
→ [wiss.ethz.ch](http://wiss.ethz.ch)

# COMMUNITY



Christian Wolfrum ist seit Januar 2023  
Vizepräsident für Forschung an der ETH Zürich.

Bild: ETH Zürich / Markus Bertschi

## Neuer ETH-Vizepräsident für Forschung

Seit Januar 2023 ist Christian Wolfrum Vizepräsident für Forschung an der ETH Zürich. Er löst damit Detlef Günther ab, der sich nach acht Jahren im Amt wieder seinen eigenen Forschungsthemen widmet. Das Interesse Christian Wolfrums an den Naturwissenschaften setzte schon früh in der Schule ein. Seine wissenschaftliche Grundausbildung erhielt er an der Universität Münster, wo er Biochemie studiert und später auch doktoriert hatte. An der ETH Zürich rückte die Erforschung der molekularen Grundlagen, wie sich Fettzellen bilden und wie Stoffwechselerkrankungen entstehen, in den Vordergrund von Wolfrums Interesse. Sein Fokus liegt bis heute auf der Erforschung von Übergewicht und den daraus resultierenden Krankheiten Diabetes oder Fettleber: Zu seinen einflussreichsten For-

schungsarbeiten zählt die Entdeckung, dass sich sogenannte braune und weisse Fettzellen ineinander verwandeln können.

Christian Wolfrum arbeitet in der Biomedizin, einem interdisziplinären Forschungsgebiet, das experimentelle Medizin mit Methoden der Molekularbiologie und der Zellbiologie verbindet. Seit 2008 lehrt und forscht er in diesem Gebiet als Professor an der ETH Zürich. Er leitet das Labor für Translationale Ernährungsbiologie und wirkt als Studiendirektor des Studiengangs in Gesundheitswissenschaften und Technologie sowie des Bachelors in Humanmedizin, den er mit aufgebaut hat. Bis 2022 war er der Delegierte Medizin der Schulleitung.

Bereits als Professor und Studiendirektor lernte Wolfrum verschiedene Perspektiven der Zusammenarbeit zwischen Grundlagenforschung und Klinik kennen. Das Amt des Delegierten Medizin vermittelte ihm zusätzliche Einsichten, wie ins-



titutionelle Rahmenbedingungen und Forschungsentwicklung einander beeinflussen – zum Beispiel, was institutionell gebraucht wird, damit die Schweiz in der Medizin sowohl internationale Spitzenforschung betreiben als auch die regionale Gesundheitsversorgung gewährleisten kann.

Während seiner gesamten Laufbahn hat sich Christian Wolfrum in Forschungsgebieten bewegt, in denen sich verschiedene Disziplinen überlappen und die fachübergreifende Zusammenarbeit ebenso naheliegend wie notwendig ist. Allein die Labor- und Computertechnologien haben sich seit der Jahrtausendwende derart entwickelt, dass der biomedizinische Erkenntnisfortschritt nur arbeitsteilig möglich ist: «Unsere Forschung funktioniert nur, wenn Naturwissenschaftler:innen,

Mediziner:innen und Bioinformatiker:innen zusammenarbeiten – in der ganzen Kette vom ersten Laborergebnis bis zur Translation in die Klinik.»

Als Wissenschaftler, der ein Thema wie Übergewicht, das die Bevölkerung direkt anspricht, erforscht, hat Christian Wolfrum eine klare Vorstellung zum Dialog mit der Gesellschaft: «Wenn die Wissenschaftskommunikation Fächer wie zum Beispiel Ernährung und Gesundheit betrifft, die einen direkten Einfluss auf das Verhalten der Bevölkerung haben, sind Korrelationen und strenge Kausalität auseinanderzuhalten.»

Seinen gesamten Erfahrungsschatz als Forscher, Studiendirektor und Delegierter will Wolfrum mit offenem Geist in seine Vizepräsidentschaft einbringen. ○

## Nachhaltige Ernährungs- und Agrarsysteme

Die Landwirtschafts- und Ernährungssysteme auf der ganzen Welt stehen vor grossen Herausforderungen. Künftige Agrarnahrungsmittelsysteme müssen genügend gesunde und erschwingliche Lebensmittel für eine wachsende Weltbevölkerung liefern und gleichzeitig einen ausreichenden wirtschaftlichen Nutzen für die Landwirte erbringen.

Zudem steht die gesamte Nahrungsmittelproduktion durch den Klimawandel, die zunehmende Knappheit natürlicher Ressourcen und die Verschlechterung der Bodengesundheit sowie der Biodiversität unter erheblichem Druck.

Um Lösungen für diese Herausforderungen zu entwickeln, startet das World Food System Center der ETH Zürich mit Unterstützung von Bayer ein neues Forschungsprogramm für nachhaltige Agrar- und Ernährungssysteme. Ziel ist es, den Nutzen und die möglichen Zielkonflikte bei verschiedenen Massnahmen in landwirtschaftlichen Systemen und Produktionsmethoden zu verstehen, dabei gleichzeitig das Produktionspotenzial zu erhalten sowie die allgemeine Widerstandsfähigkeit des Agrarsystems gegenüber Klimaauswirkungen zu stärken und die Biodiversität zu erhalten.

Das World Food System Center und Bayer freuen sich darauf, die Ergebnisse mit dem Landwirtschaftssektor, anderen Forschungseinrichtungen, Unternehmen und der Öffentlichkeit zu teilen. In Zukunft können sich auch andere Industriepartner an den Forschungsaktivitäten beteiligen. ○



Detlef Günther, damals ETH-Vizepräsident Forschung, und Natasha Santos, Head of Global Stakeholder Affairs & Strategic Partnerships Bayer Crop Science

Bild: ETH Foundation / Valeriano Di Domenico



Reges Interesse am Workshop «AI, Future, Europe»

## Die ETH am WEF

Auch in diesem Jahr war die ETH Zürich am World Economic Forum (WEF) in Davos vertreten. Gemeinsam mit Gästen aus Forschung und Wirtschaft diskutierten Vertreter:innen der ETH zwei Herausforderungen unserer Zeit: die Regeneration von Ökosystemen und die Zukunft der künstlichen Intelligenz. Diskutiert wurde unter anderem, wie Europa eine führende Rolle in der KI-Forschung und im Unternehmertum übernehmen kann. Der Workshop «AI, Future, Europe» wurde gemeinsam vom ETH AI Center, vom Venture Studio Merantix und vom Tübingen AI Center organisiert. ○

## In der Allianz europäischer Universitäten

Die Allianz Enhance vereint technische Hochschulen Europas mit dem Ziel, die Mobilität von Lernenden und Lehrenden zu fördern und es den Studierenden einfacher zu machen, an Partneruniversitäten zu studieren. Dazu sollen administrative Hürden abgebaut und gemeinsam neue Formen der Mobilität und der Zusammenarbeit ausprobiert werden. Im November 2022 ist die ETH Zürich der Allianz offiziell beigetreten.

Zur Allianz gehörten bislang die Universitäten TU Berlin, Chalmers University of Technology, NTNU Trondheim, Politecnico di Milano, RWTH Aachen, Warsaw University of Technology und Universität Politècnica de València. Gemeinsam mit der ETH sind neu auch die Universitäten TU Delft und Gdańsk University of Technology dazugestossen. ○



Die Rektor:innen und Präsident:innen der Universitäten Gdańsk University of Technology, Chalmers University of Technology, ETH Zürich (Günther Dissertori), Politecnico di Milano, Warsaw University of Technology und Universität Politècnica de València, TU Delft, NTNU Trondheim, TU Berlin und RWTH Aachen

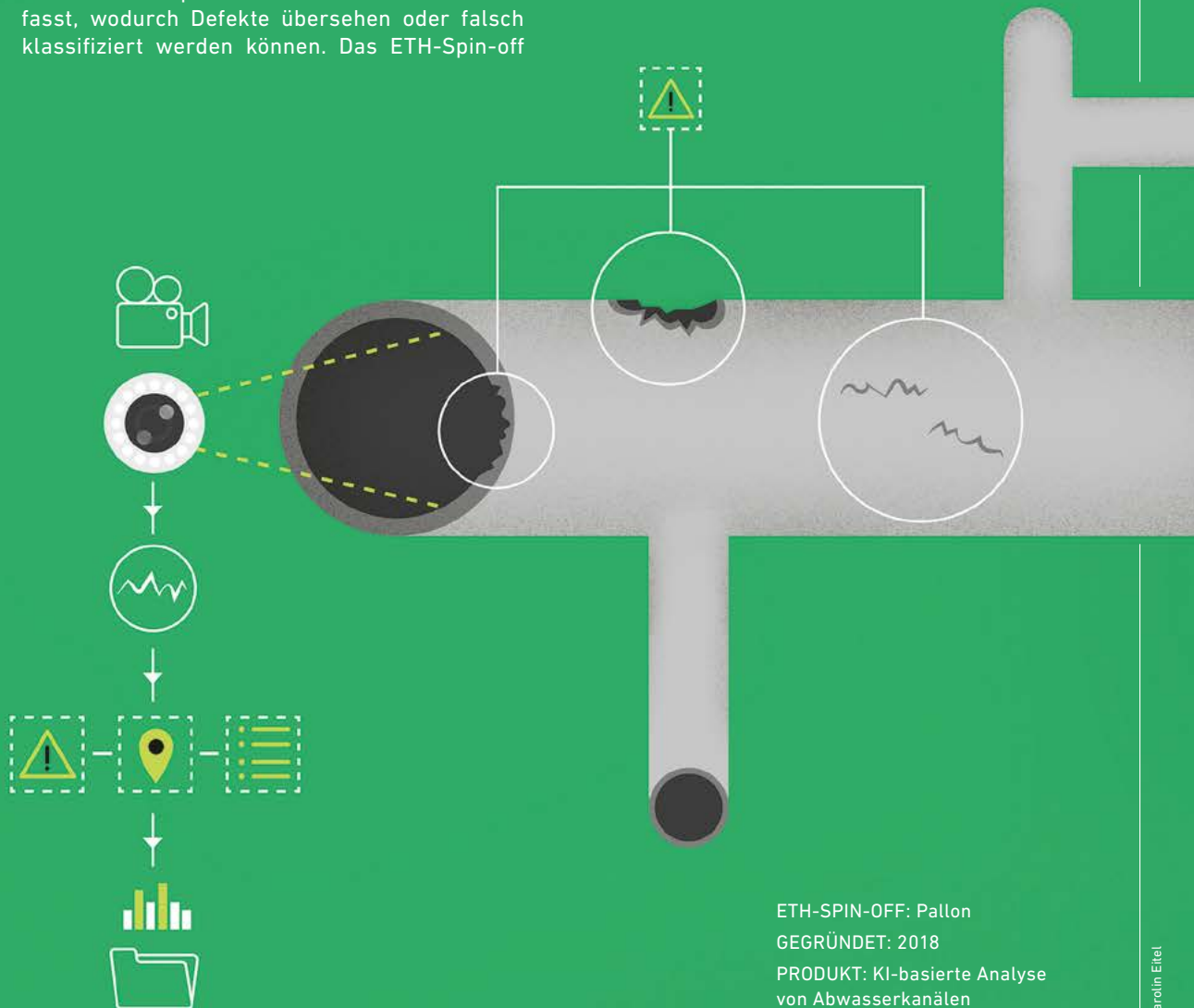
# TRANSFER

## KI für sichere Kanalsysteme

Kanäle transportieren Regenwasser und Abwasser von Haushalten zu Kläranlagen. Um Wasserrohrbrüchen oder Überschwemmungen vorzubeugen, wird das Rohrnetz der Kanalisation regelmässig mit einem Kamerafahrwagen inspiziert. Mängel wie Risse oder Korrosion werden anhand des Inspektionsvideos meist manuell erfasst, wodurch Defekte übersehen oder falsch klassifiziert werden können. Das ETH-Spin-off

Pallon hat eine Technologie entwickelt, mit der sich der Zustand eines Abwasserkanals schnell und objektiv erfassen lässt. Künstliche neuronale Netzwerke erkennen, lokalisieren und quantifizieren dabei die Schäden automatisch. Die KI beruht auf riesigen Datenmengen von Millionen von Bildern aus der ganzen Welt. Zudem wird eine detaillierte 3D-Rekonstruktion des Abwasserkanals erstellt, um einen Schaden exakt lokalisieren und anschliessend beheben zu können. ○

→ [pallon.com/de](http://pallon.com/de)



ETH-SPIN-OFF: Pallon

GEGRÜNDET: 2018

PRODUKT: KI-basierte Analyse von Abwasserkanälen



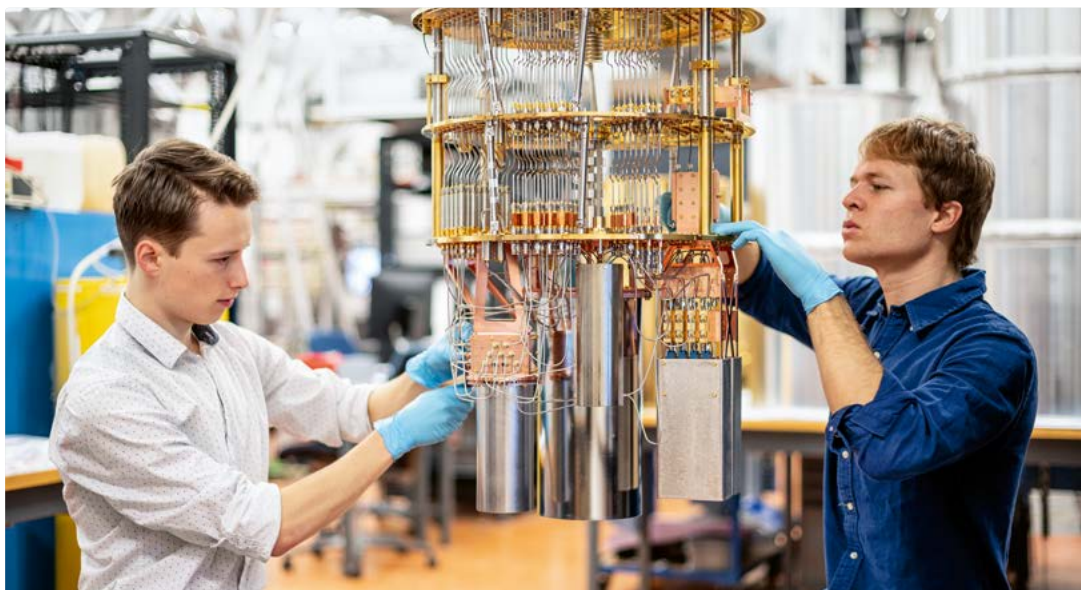


Bild: ETH Zürich / Daniel Winkler

Die Quantenchips aus dem Labor von ETH-Professor Andreas Wallraff werden über eine Vielzahl von Signalleitungen kontrolliert.

# Vernetzte Quantenforschung

Weltweit werden grosse Anstrengungen unternommen, um die Quantenforschung voranzutreiben. Auch die ETH Zürich setzt in diesem Schlüsselbereich wichtige Akzente.

TEXT Felix Würsten

Nach zwölf Jahren zieht Klaus Ensslin, ETH-Professor für Festkörperphysik und Direktor des kürzlich abgeschlossenen Nationalen Forschungsschwerpunkts Quantum Science and Technology (NCCR QSIT), eine positive Bilanz: «Wir haben in vielen Bereichen wichtige Durchbrüche erzielt und stehen heute in der Quantenforschung an einem ganz anderen Punkt als zu Beginn.» Heute gelinge es den Forschenden immer besser, Quantenobjekte zu komplexen Systemen zu verbinden, erklärt Ensslin. «Damit rückt beispielsweise das Ziel, Quantencomputer zu bauen, ein grosses Stück näher.»

Nach dem Abschluss des NCCR QSIT geht es nun darum, die Quantenforschung weiter voranzutreiben, damit die Schweiz ihre gute Position in diesem Bereich behaupten kann. In die Quantenforschung werden weltweit grosse Hoffnungen gesetzt; dementsprechend grosse Summen werden sowohl

von nationalen Forschungsbehörden als auch von Konzernen weltweit investiert. Aus diesem Grund hat die ETH Zürich 2021 das Quantum Center gegründet, dem sich bisher 34 Professuren aus sechs ETH-Departementen angeschlossen haben. «Das Center soll die Quantenforschung der ETH Zürich gegen aussen sichtbar machen», erklärt ETH-Professor Andreas Wallraff, Gründungsdirektor des Quantum Centers. «Gleichzeitig soll es auch den internen Austausch intensivieren.»

Der Aufbau einer übergreifenden Struktur ist notwendig, weil die Quantenforschung längst keine exklusive Domäne der Physik mehr ist. Will man beispielsweise mit Quantenobjekten leistungsfähige Computer bauen, dann müssen viele dieser Objekte miteinander verbunden werden. Dazu braucht es neben dem Wissen der Physiker auch die Expertise von Ingenieurinnen und Informatikern.

Auf nationaler Ebene soll die neue Swiss Quantum Initiative den Zusammenhalt und den Austausch der Forschenden sicherstellen. «Die Initiative gibt der Quantenforschung zudem mehr Gewicht auf der nationalen Forschungsagenda», erklärt ETH-Professor Jonathan Home, Mitglied der Schweizerischen Quanten-Kommission der Akademie der Naturwissenschaften und Co-Direktor des Quantum Centers. «Dies ist wichtig, weil die Quantenforscher:innen von den gegenwärtigen politischen Differenzen zwischen der Schweiz und der EU direkt betroffen sind.» Da die Schweiz nicht mehr assoziiertes Mitglied beim EU-Forschungsrahmenprogramm Horizon ist, können Forschende aus der Schweiz auch nicht mehr am Quantum-Flaggschiff-Programm der EU partizipieren. Im Sinne einer Überbrückungsmassnahme hat der Bund deshalb den Schweizerischen Nationalfonds beauftragt, einen «Quantum Transitional Call» zu lancieren. Damit werden Mittel im Bereich Quantenforschung zur Verfügung gestellt, die sonst beim Quantum-Flaggschiff hätten beantragt werden können.

**VORBILDLICHER STUDIENGANG** Mit Netzwerken und Zentren lässt es die ETH Zürich aber nicht bewenden. Sie setzt auch in der Lehre und bei der Infrastruktur wichtige Akzente. Bereits vor vier Jahren hat sie einen spezialisierten Masterstudiengang «Quantum Engineering» lanciert, zu dem jedes Jahr 30 bis 40 Kandidat:innen zugelassen werden. Der Studiengang ist sehr beliebt, weil die Studierenden bereits auf Stufe Master eng mit einer Forschungsgruppe zusammenarbeiten können. Das erfolgreiche Modell hat inzwischen auch andere Hochschulen zu vergleichbaren Studienangeboten inspiriert.

Schliesslich haben auf dem Campus Höggerberg die Bauarbeiten zu einem wegweisenden Physikgebäude begonnen. Dort können ab 2029 tief unter dem Erdboden hochsensible Quantenexperimente durchgeführt werden. Durch eine aufwendige Bautechnik werden die Labors bestens vor externen Vibrationen, elektromagnetischen Feldern und Temperaturschwankungen geschützt. ○

Quantum Center:

→ [gc.ethz.ch](https://gc.ethz.ch)

**FÖRDERFOKUS QUANTUM CENTER** Die Unterstützung des Quantum Centers der ETH Zürich durch Donator:innen ermöglicht die Weiterentwicklung von Technologiegrundlagen für die Herstellung von Quantencomputern sowie ein Fellowship-Programm für herausragende Doktorierende und Postdocs.

→ [ethz-foundation.ch/quantum](https://ethz-foundation.ch/quantum)

## PHILANTHROPIE

VON  
Donald Tillman



### Gute Ideen für einen guten Zweck

Firmenfeiern, Jubiläen, Pensionierung: Wer den Mut hat, ausgetretene Pfade zu verlassen, wird belohnt. Wie die Headcount AG, eine auf die Bereiche Gesundheit und Life Sciences spezialisierte Personalberatung mit Sitz in Zürich. Anlässlich ihres zehnjährigen Bestehens lancierte sie in Zusammenarbeit mit der ETH Foundation und dem ETH AI Center eine Auktion von zehn «Kunstwerken» für einen guten Zweck. Dabei handelte es sich um Bilder sowie Exponate von ETH-Forschenden und -Studierenden, die vom AI Center kuratiert wurden. Die Kunstwerke wurden im Rahmen des Firmenjubiläums im Kunsthaus Zürich versteigert, wobei der gesamte Erlös für Stipendien zugunsten von ETH-Studierenden mit bescheidenen finanziellen Mitteln gespendet wurde. Die Käuferinnen und Käufer boten begeistert mit, während die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich freuten, ihre Forschungsarbeit für einmal als Kunstwerk gehandelt zu sehen. Auch eine Exzellenz-Stipendiatin, Rachel Sava, steuerte ein Werk bei. So schloss sich der Kreis. Also: Wenn bei Ihnen im Geschäft demnächst ein besonderer Anlass ansteht, könnte die ETH Foundation eine gute Ansprechpartnerin sein.

→ [ethz-foundation.ch/kunstwerke](https://ethz-foundation.ch/kunstwerke)

## Sicherheitsrobotik für die Schweiz

Die ETH Zürich und das Technologiezentrum des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) – armasuisse Wissenschaft und Technologie – lancieren ein gemeinsames Programm für Sicherheitsrobotik. Schon heute arbeiten die ETH und armasuisse in verschiedenen Projekten eng zusammen. So beispielsweise beim vierbeinigen Roboter ANYmal, der zukünftig für Such- und Rettungsaktionen in Katastrophengebieten eingesetzt werden könnte. Diese Zusammenarbeit wird nun ausgebaut. Armasuisse investiert jährlich eine halbe Million Schweizer Franken über eine Zeitspanne von mindestens fünf Jahren. Unterstützt werden ausgewählte Robotikprojekte, welche die Schweizer Rettungs- und Sicherheitskräfte in unbewaffneten Einsätzen potenziell nutzen könnten; Forschung zu Waffensystemen ist explizit ausgeschlossen. ○

## Spin-offs 2022: 26 Neugründungen und drei «Einhörner»

26 neue Spin-offs sind im vergangenen Jahr an der ETH Zürich entstanden. Der grösste Teil der Neugründungen stammt aus dem Bereich Informatik- und Kommunikationstechnologie – ein Trend, der seit mehreren Jahren anhält. Auffällig viele der neuen ETH-Spin-offs entwickeln Lösungen für den Gesundheitsbereich: Gleich drei Jungunternehmen arbeiten an neuartigen Krebsmedikamenten respektive der Verbesserung bestehender Therapeutika.

Erfreulich haben sich im vergangenen Jahr auch die Investitionen in ETH-Spin-offs entwickelt. Rund 1,2 Milliarden Schweizer Franken wurden eingeworben – so viel wie noch nie. Drei ETH-Spin-offs haben 2022 zudem den Status des «Einhorns» erhalten: Start-ups, deren Marktwert schon vor dem Börsengang eine Milliarde Dollar überschreitet. ○

## Watt d'Or für intelligente Solarfassade

Die Panels der Solarfassade aus der Gruppe von ETH-Professor Arno Schlüter folgen dem Tageslauf der Sonne und erzeugen dadurch mehr Energie. Ähnlich einer intelligenten Sonnenstore können sie auch die Sonneneinstrahlung regulieren: Je nach Aussentemperatur und Raumnutzung spenden sie Schatten oder lassen die Sonnenstrahlen passieren und sparen so Energie, die sonst zum Heizen oder Kühlen benötigt würde.

Nun wurde die Technologie vom Bundesamt für Energie in der Kategorie Gebäude und Raum mit dem Energiepreis Watt d'Or ausgezeichnet. Die Technologie erhält dadurch das Gütesiegel für Energieexzellenz, ein Preisgeld wird nicht ausgezahlt. Die Anfang 2022 gegründete Firma Zurich Soft Robotics arbeitet aktuell daran, die Fassade unter dem Namen Solskin auf den Markt zu bringen. ○



Bild: ETH Zürich / Arno Schlüter

Ausgezeichnete Solarfassade



# PERSÖNLICH



**GREGOR WEISS**  
ist fasziniert von den  
Details unserer  
Zellen und träumt von  
einer antibiotikafreien  
Behandlung von  
Harnwegsinfekten.

TEXT Karin Köchle

**GREGOR WEISS** ist Projektleiter am Institut für Molekularbiologie und Biophysik sowie Träger des Lopez-Loreta-Preises 2022.

→ [pilhoferlab.ethz.ch/weiss-group](http://pilhoferlab.ethz.ch/weiss-group)

**Harnwegsinfekte müssen oft mit Antibiotika behandelt werden. Wird Ihre Forschung etwas daran ändern?**

Langfristig gesehen ist das mein Traum. Bevor neue Therapien entwickelt werden können, müssen wir aber verstehen, wie sich pathogene Bakterien in unseren Blasen zellen einnisten und dadurch wiederkehrende Harnwegsinfektionen auslösen können. In meiner Forschung geht es darum, die Strategie der Bakterien zu entschlüsseln, wie sie unserer eigenen Immunabwehr, aber auch einer Antibiotikabehandlung entkommen.

**Sie arbeiten mit der Kryo-Elektronentomografie. Was macht diese Methode so faszinierend?**

Dank der Kryo-Elektronentomografie können kleinste Details wie Proteine in den Zellen sichtbar gemacht werden. Vor dem Mikroskop zu sitzen und vielleicht etwas zu entdecken, was vor dir noch kein Mensch so gesehen hat, macht einem immer wieder klar, wie komplex, aber auch wunderschön funktional unsere Zellen aufgebaut sind.

**Was war besonders an Ihrer Zusammenarbeit mit dem Kinderspital?**

Mit Patientenproben zu arbeiten, ist für einen Biologen extrem spannend, aber auch herausfordernd. Jede Probe ist anders und verhält sich leider nicht wie im Reagenzglas. Zu wissen, dass dahinter ein Mensch mit einer Krankheit steckt, dem man hoffentlich irgendwann helfen kann, ist unglaublich motivierend.

**Sie haben beruflich schon einiges erreicht. Zeigt sich Ihr Ehrgeiz auch privat?**

Meine zweite Leidenschaft sind die Berge. Hier geht es aber nicht um Bestzeiten, sondern um Erlebnisse mit Freunden in der Natur, sei es auf zwei Rädern oder mit Ski – ein erfüllender Ausgleich zur Arbeit im Labor. Und wo kann man beides so wunderbar verbinden, wenn nicht an der ETH in Zürich?

**Vor rund zehn Jahren waren Sie als Forschungsassistent am Caltech in Kalifornien. Was haben Sie aus dieser Zeit mitgenommen?**

In den USA und speziell am Caltech habe ich ein sehr offenes Forschungsumfeld erlebt, das mir viele neue Möglichkeiten erschlossen und den Grundstein für meine heutige Forschung gelegt hat. Dort arbeiten zu dürfen und ohne Vorbehalt ins Team integriert zu werden, war als junger Forscher sehr inspirierend. Diese Offenheit und das erfahrene Vertrauen möchte ich gerne an Studierende weitergeben. ○

# MIT NEUEM LENKER

TEXT Christoph Elhardt  
BILDER Daniel Winkler



Flurina Rigling unterwegs im  
Tissot Velodrome Grenchen

REPORTAGE | ETH-Student Luca Hasler hat einen neuen Velolenker für die Paraathletin Flurina Rigling entwickelt. Damit soll sich die Radfahrerin unter anderem für die Paralympics 2024 in Paris qualifizieren.

# AN DIE PARALYMPICS?

250 Meter lang ist die Radrennbahn im Tissot Velodrome im solothurnischen Grenchen. Die Kurven der 7 Meter breiten und mit sibirischer Fichte verkleideten Bahn ragen steil nach oben. Umringt wird sie von 3500 Zuschauerplätzen, die an diesem Tag leer bleiben. Trotzdem ist es nicht leise, denn laute Elektrobeats füllen bereits früh am Morgen die Halle. Allein und konzentriert dreht Flurina Rigling eine Runde nach der anderen auf ihrem roten Rennvelo. Es ist ein besonderer Tag für die 26-jährige Schweizer Paraathletin, die eine Beeinträchtigung an beiden Händen und Füßen hat: Zum ersten Mal testet sie ihren neuen Velolenker.

Luca Hasler steht neben der Rennbahn und schaut gebannt auf die beiden Bildschirme der Zeitmessung. Der ETH-Maschinenbaustudent hat den Lenker im Rahmen seiner Masterarbeit entwickelt. Das schwarze Teil aus Aluminium mit den auf Riglings Hände zugeschnittenen Griffen aus Kunststoff hat in den letzten sechs Monaten sein Leben bestimmt. In unzähligen Stunden hat er gemeinsam mit Rigling daran herumgetüftelt. Doch ist die Sportlerin damit tatsächlich schneller? Und fühlt sich der neue Lenker auch unter Wettkampfbedingungen sicher und komfortabel an?

Doch zunächst ein Blick zurück. Flurina Riglings Aufstieg im Paracycling ist kometenhaft. Obwohl sie erst seit drei Jahren regelmässig auf dem Rennvelo sitzt, kann sich ihre Erfolgsbilanz sehen lassen: Vizeweltmeisterin im Zeitfahren, Europameisterin auf der Strasse und Weltmeisterin mit neuem Weltrekord auf der Bahn.

All dies erreichte die Zürcherin, die aktuell die Spitzensport Rekrutenschule absolviert, mit einem Lenker, der alles andere als optimal ist: Rigling platzierte bislang ihre Hand auf einem etwa 3 Zentimeter breiten Kragarm. Bremse und Schaltung bediente sie mit ihrem einzigen Finger.

Das war nicht nur unbequem, da der gesamte Druck auf einem Punkt liegt, sondern führte auch zu einer ungünstigen Körperhaltung und damit Aerodynamik. Das kann über Sieg oder Niederlage entscheiden. «Mir war schon seit einiger Zeit klar, dass ich einen neuen Lenker brauche», so Rigling. Sie wusste nur lange nicht, wer ihr dabei helfen könnte.

**BESONDERE MASTERARBEIT** Flurina Rigling wird schliesslich bei Peter Wolf vom Sensory-Motor Systems Lab der ETH Zürich fündig. Dieser schreibt das Projekt als Masterarbeit aus und kann im →





1  
Um die passende Auflagefläche zu finden, drückt Flurina Rigling ihre Hände in das Knetsilikon.

2  
Der alte Bahnlenker, die erste Auflagefläche, der erste Prototyp und der neue Lenker (v.l.n.r.)

Frühjahr 2022 den 26-jährigen Luca Hasler dafür gewinnen. «Das Thema war perfekt für mich, da ich mich für angewandte Produktentwicklung interessiere und selbst Rennvelo fahre», erinnert sich Hasler. Er hat ein halbes Jahr Zeit, um den neuen Lenker zu entwickeln.

Doch wie geht man so eine Aufgabe an? «Ich habe zunächst versucht, das Problem so gut wie möglich zu verstehen und mich in Flurinas Situation hineinzusetzen», erklärt der ETH-Student. «Empathize», heisst das im Fachjargon des Design Thinking, jener Methode, mit der Hasler arbeitet. Dafür besucht er Rigling im Juni 2022 bei den Schweizer Meisterschaften im zürcherischen Steinmaur. Er sieht zum ersten Mal, wie sie ihren Lenker hält, und versteht, worauf es ankommt: «Da sich Flurina mit einem Finger schlecht am Lenker festhalten kann, braucht es massgeschneiderte Auflageflächen für ihre Hände, mit denen sie das Velo sicher, komfortabel und aerodynamisch steuern kann.»

**RICHTIGE FORM FINDEN** Auf der Grundlage dieser Informationen hätte man den Lenker üblicherweise am Computer entworfen, produziert und getestet. Doch das klappt in diesem Fall nicht, da Hasler noch gar nicht weiss, wie die Auflagefläche für Riglings Hände aussehen soll. Er muss ein Verfahren entwickeln, mit dem er diese komplexe Oberfläche möglichst einfach, schnell und günstig definieren, testen und optimieren kann.



Der Maschinenbaustudent wird fündig, als er die Rehaklinik in Bellikon besucht, um mit Riglings Orthopädietechniker zu sprechen. Dieser empfiehlt ihm einen thermoplastischen Kunststoff, der sich ab einer bestimmten Temperatur verformen lässt. Perfekt, um die Struktur von Riglings Händen grob abzubilden.

Doch deren feine Konturen kann Hasler so nicht erfassen. Dafür braucht er ein flexibleres Material. Auch hier lässt sich der ETH-Student von der Orthopädietechnik inspirieren und entscheidet sich für ein schnell aushärtendes Knetsilikon, das auch bei Fingerprothesen zum Einsatz kommt. Mit diesen beiden Materialien und zahlreichen anderen

3

Der neue Lenker bringt unter anderem mehr Komfort und Sicherheit für Rigling.



3

4

Der Maschinenbaustudent Luca Hasler optimiert den Lenker zwischen zwei Testfahrten.



4

Werkzeugen im Gepäck macht sich der Maschinenbaustudent an einem warmen Sommertag auf den Weg zur Radrennfahrerin.

Hedingen, auf dem Bauernhof der Familie Rigling. Wo der Blick auch hinfällt: Wiesen und Wald. Es ist früh am Morgen, als Hasler und Rigling zu arbeiten beginnen. Ihr Ziel: die passende Auflagefläche für den Lenker zu finden. Mit dem weichen Thermoplast, den Hasler an Riglings Hände anpasst, definiert er zunächst die Länge und Breite der Griffschale. Anschliessend trägt er das Knetsilikon auf und befestigt die Teile mittels Testlenker auf Riglings Rennvelo. Auf dem Velo sitzend, kann die Parasportlerin nun ihre Hände in das Silikon

drücken. Dadurch wird deren Form während des Velofahrens abgebildet. Der erste Prototyp entsteht. Es wird nicht der letzte an diesem Tag sein.

Bis spät in die Nacht experimentieren die beiden mit unterschiedlichen Varianten, bis sie sich in kleinen Schritten einer Auflagefläche annähern, mit der sich Rigling wohlfühlt. Rapid Prototyping heisst diese Methode. Rigling ist beeindruckt davon, wie systematisch Hasler vorging: «Luca war ein Glücksfall für mich. Nach diesem Tag war ich mir sicher, dass wir gut zusammenarbeiten werden», erinnert sie sich.

Doch wie schafft es Hasler, diese einzigartige Form zu produzieren? Zurück an der ETH digitalisiert er die beiden Griffformen mit einem →



3D-Scanner. Nur am Bildschirm kann der Maschinenbaustudent sie für die Produktion aufbereiten und mittels Simulationen auf unterschiedliche Belastungen testen. Zudem entwickelt er eine Konstruktion, mit der er die neu entwickelten Auflageflächen am alten Lenker von Rigling befestigt. «So konnte Flurina die neuen Teile auch beim Fahren testen, ohne dass wir gleich den ganzen Lenker teuer produzieren mussten.»

Rigling und Hasler tauschen sich zwischen Juli und Dezember regelmässig aus, um die Auflagefläche zu optimieren und sie so am Lenker zu befestigen, dass die Paraathletin möglichst aerodynamisch auf ihrem Velo sitzt. Nur wenn sie die neue Auflagefläche in möglichst vielen Situationen testet und dem ETH-Student immer wieder Feedback gibt, kann er den Lenker optimal auf ihre Bedürfnisse ausrichten. Dies erfordert Zeit und eine ganze Menge Geduld. «Dass wir uns auch privat gut verstanden haben, hat dieses ständige Hin und Her zwischen Feedback und Anpassung extrem erleichtert», sagt Hasler.

**PARALYMPICS IM VISIER** Ob sich all die Mühen gelohnt haben, zeigt sich letztlich auf der Rennbahn. Nach einer guten Stunde im Velodrome Grenchen mit dem neuen Lenker am Velo rollt Flurina Rigling erschöpft über die Ziellinie. Sie legt die Strecke um 6 Prozent schneller zurück, und das bei gleichem Kraftaufwand wie bei der Testfahrt mit dem alten

Lenker. «Das sind Welten im Radsport und wahrscheinlich durch die kompaktere Position am Velo zu erklären», so die Paraathletin. Doch damit nicht genug: Auch der Druck auf ihre Hände ist nun besser verteilt, was die Steuerung ihres Velos komfortabler und sicherer machen sollte.

Luca Hasler strahlt über beide Ohren als er das Ergebnis am Bildschirm sieht: «Schön zu sehen, dass sich all die Arbeit ausgezahlt hat.» Er und Rigling sind in den letzten Monaten Freunde geworden. Sie wollen auch in Zukunft zusammenarbeiten, um den Lenker für Riglings Zeitfahrvelo anzupassen und ein neues Trinksystem zu entwickeln. Riglings grosses Ziel ist die Qualifikation für die Paralympics 2024 in Paris. «Wenn ich mich qualifiziere, begleitet mich Luca als technischer Helfer.» ○

Luca Hasler und Flurina Rigling sind Freunde geworden und werden auch in Zukunft zusammenarbeiten.





# ENGAGIERT IN FERNEN LÄNDERN

TEXT Santina Russo  
BILDER Nicole Bachmann

# Peter Schmidt ist seit über 30 Jahren in der Entwicklungszusammenarbeit tätig – immer auf der Suche nach Möglichkeiten, Menschen zu unterstützen. Sein erster Besuch in Indien warf ihn für drei Tage aus der Bahn und prägte dann sein ganzes Leben.

Peter Schmidt sieht man sein weitgereistes Leben nicht an. Mit den gestutzten weissen Haaren, im karierten Hemd und in Stoffhose sowie mit seiner ruhigen Art zu sprechen, wirkt er nicht gerade wie der geborene Abenteurer. Dass das täuscht, merkt man, wenn er über seine Zeit in Indien, Kirgistan und Myanmar erzählt. Dann leuchten seine Augen auf und es ist unübersehbar, dass ihn ein Leben aus immer neuen Eindrücken glücklich gemacht hat.

**IM KLANG DER ARMUT** Seine erste Station: Indien. Noch während seines Agronomiestudiums an der ETH Zürich war er zum ersten Mal da, als Teil eines «speziellen Praktikums». Darin sollten die angehenden Agronom:innen nach Praktika auf Schweizer Bauernhöfen auch einige Wochen fremde Luft schnuppern. Schmidt tat dies in der Region Kerala im äussersten Süden Indiens. Die Ankunft in der regionalen Hauptstadt Trivandrum (heute Thiruvananthapuram) im Jahr 1986 war einschneidend: Der damals 26-jährige Schmidt flüchtet direkt in das Haus eines Schweizer Arbeitskollegen und kommt drei Tage lang nicht wieder heraus. «Ich brauchte diese Zeit, um die Fülle an neuen Eindrücken zu verarbeiten», erzählt er heute. Seit da hat Armut für ihn einen bestimmten Klang: «Tock, tock, die Hammerschläge mit denen Hunderte von indischen Frauen am Strassenrand sitzend Steine zu Schotter zerkleinern für den Strassenbau – diese Arbeit machen bei uns die Kieswerke.» Auch die Menschenmassen und die Gerüche sind überwältigend: Essensdunst, Gewürze, Fäkalien.

So unsant die Ankunft, so prägend ist der Aufenthalt für den jungen Schmidt. Für die Entwicklungsorganisation Intercooperation arbeitet er an einem Projekt zur Viehwirtschaft. «Wir wohnten

jeweils eine Zeit lang in verschiedenen Dörfern, sprachen und arbeiteten mit den Menschen», erzählt er. Unter anderem berät er Bauernfamilien zu Themen der Viehzucht und wertet einfache Feldversuche mit Futterpflanzen aus. Seine Lebensumstände sind wie die der Einheimischen denkbar einfach. Ein karges Zimmer, ein Wassereimer als Dusche, ein Loch im Hof als Toilette. Schmidt erkennt, dass den Bauern und Bäuerinnen vor allem eine berufliche Ausbildung fehlt und dass es in der Entwicklungszusammenarbeit viel zu tun gibt. Und er merkt, dass er seine Berufung gefunden hat.

**KURZ HEIM UND WIEDER WEG** Zurück in der Schweiz schliesst er sein Studium ab und reist bald wieder für ein Intercooperation-Projekt nach Indien, genauer, nach Orissa (heute Odisha), einer der ärmsten Gegenden des Landes – diesmal für drei Jahre. Mit dabei sind nun auch seine Frau Käthi Hüsey und das knapp einjährige Töchterchen Zarah. «Wir lebten in einer Kleinstadt mit 100 000 Einwohnern. Ausser meinem Chef, seiner Frau und einer englischen Pflegefachfrau waren wir die einzigen Ausländer», erzählt Schmidt. Obschon er und seine Frau intensiv Oriya lernen, die lokale Sprache, bleiben soziale Kontakte mit Einheimischen schwierig.

«Beruflich aber war es eine enorm bereichernde Zeit», sagt Schmidt. «Wir holten in den Dörfern die Bedürfnisse der Bauern ab, bauten darauf auf und planten Projekte, um ihnen zu helfen.» Zum Beispiel in der Milchproduktion. Kühe wurden vor allem gehalten, um Dung für die Felder zu produzieren. Mit einfachen Massnahmen, dem richtigen Futter etwa, liess sich auch die Milchleistung steigern. «Dann braucht es aber sofort eine Kühlkette und einen Vertrieb. Bei solchen Dingen haben wir die Bauern unterstützt und sie dabei immer besser verstehen gelernt.»

Nach drei Jahren kehrt die Familie in die Schweiz zurück, fasst Fuss, meldet die Tochter für den Kindergarten an. Schmidt wird Ausbilder in landwirtschaftlicher Beratung, inklusive Kurzreisen nach Albanien oder Simbabwe. Dennoch zieht es Schmidt und seine Frau – sie ist Ethnologin – bald wieder weg, diesmal nach Kirgistan. «Wir wollten wieder in einer anderen Kultur leben, unseren Erfahrungsschatz erweitern», sagt Schmidt. In der Hauptstadt Bischkek lebt die Familie in einem kleinen Haus und Tochter Zarah besucht eine Privatschule, in der russisch gesprochen wird. Das ist zu Beginn, als die Sprache noch neu ist, hart, wie Papa Schmidt erzählt. Heute ist seine Tochter Diplomatin – ihre Russischkenntnisse waren dabei wegweisend. «Familiär waren diese Jahre toll, die Lebensqualität war hoch und es gab eine Expat-Community, bei der wir Anschluss fanden.» Auch beruflich läuft es: In einem Helvetas-

Projekt baut Schmidt einen landwirtschaftlichen Beratungsdienst auf, ähnlich wie die kantonalen Beratungsdienste in der Schweiz – und unterstützt damit das Land und seine Menschen auch dabei, sich vom Zusammenbruch der Sowjetunion aus weiterzuentwickeln.

Nach drei Jahren folgt wiederum die Rückkehr nach Winterthur. «Wir wollten, dass die Kinder während der Pubertät in der Schweiz leben», sagt Schmidt. Zwar hatten sie in Bischkek Freunde, aber um diese zu sehen, mussten sie von den Eltern durch die Millionenstadt gefahren werden. «Dagegen waren sie in der Schweiz viel freier und unabhängiger.» Während der nächsten 14 Jahre arbeitet er bei Helvetas in verschiedenen Funktionen, unter anderem als Regionalkoordinator und damit Verbindungsmann zwischen Geldgebern und unterstützten Ländern, als Co-Direktor der Abteilung Internationale Programme und als Co-Leiter der Beratungsdienste. «Das waren spannende Aufgaben, langweilig wurde mir nie.» Zudem bereist Schmidt als Teil seiner Aufgaben rund 30 Länder auf vier Kontinenten.

**VOM AUFBRUCH ZUM PUTSCH** Trotzdem: Zunehmend ungeduldig warten er und seine Frau darauf, erneut in ein neues Leben aufzubrechen – nach Myanmar. Im Januar 2017 kommen sie dort an, in einem Land, das nach jahrzehntelanger Militärherrschaft endlich demokratisch ist oder zumindest auf dem Weg dazu. «Das waren fantastische Jahre», bekräftigt Schmidt. Das Land war im Aufbruch, Schmidt leitete ein 50-köpfiges, junges und motiviertes Team, startete neue Projekte – auch solche, bei denen es um die Demokratisierung von Myanmar ging – und reiste viel durchs Land.

Dann kam zuerst Covid-19 mit einem strengen Lockdown und dann, am 1. Februar 2021, der Militärputsch. Erfahren hat Schmidt davon von seinem Sohn, der ihn aus der Schweiz anrief. «20 Minuten später waren Telefon und Internet tot.» Zwei Tage fiel das Land in eine Schockstarre, dann gingen die Menschen auf die Strasse, zu Hunderttausenden. «So gewaltige Protestdemonstrationen hatte ich noch nie gesehen», sagt Schmidt und schüttelt noch heute den Kopf, wenn er daran denkt. Einige Tage liess das Militär dies zu, danach wurden die Proteste brutal niedergeschlagen. «Das macht mich einfach sehr traurig, für die Menschen dort, auch für meine ehemaligen Mitarbeitenden. Die mussten dabei zuschauen, wie ihre persönliche Zukunft niedergeknüppelt wurde.» Bis heute wurden unter dem Terror der Militärjunta fast 3000 Menschen getötet, viele Tausende mehr eingesperrt und gefoltert.

Im Juli 2021 flogen Schmidt und seine Frau zurück in die Schweiz, wie zuvor geplant. Diesmal war es schwieriger, anzukommen und sozialen Anschluss zu finden. «Zuvor mit den Kindern ging das



automatischer, weil man sie einschulen und sich organisieren musste», sagt Peter Schmidt. Mit der Zeit wurde es besser. Heute arbeitet er bei Helvetas in Zürich im modernen Grossraumbüro, zurzeit an einer Machbarkeitsstudie für Reisanbau in Peru mit weniger Methanemissionen. Auf Flugreisen verzichtet er mittlerweile, aus ökologischen Gründen. Geblieben ist sein Wunsch, Menschen darin zu stärken, ihre Chancen wahrzunehmen: Zurzeit unterstützt er privat zwei afghanische Migranten dabei, eine Lehrstelle zu finden. ○

**PETER SCHMIDT** studierte an der ETH Agronomie und schloss mit einem Master in Agrarsoziologie ab. Danach ging er als Berater zur damaligen Intercooperation, die 2011 mit Helvetas fusionierte. Während seiner mehr als 30 Jahre in der Entwicklungszusammenarbeit lebte Schmidt mit seiner Familie länger in Indien, Kirgistan und Myanmar, wo er verschiedene Projekte aufbaute und leitete. Zudem war er Berater in rund 30 weiteren Ländern in Asien, Afrika, Europa und Lateinamerika. Heute ist er beim Helvetas-Büro in Zürich für mehrere Projekte zu sozial gerechten und ökologischen Wertschöpfungsketten in der Landwirtschaft verantwortlich.



# AGENDA

## ENTDECKEN

○ 9. Mai 2023, 18.15 – 19.15 Uhr

### Roboterhunde für den Mond

Er könnte einmal über den Mond spazieren: ANYmal ist ein vierbeiniger, geländegängiger Roboter der ETH Zürich. Er führt verschiedene Geräte zur Gesteinsanalyse mit sich, mit dem Ziel, auf dem Südpol des Mondes wertvolle Ressourcen aufzuspüren. Im Robotic Systems Lab können Besuchende den Roboter live in Aktion sehen.

Kostenlose Anmeldung sowie Infos zu weiteren Führungen unter:

—> [tours.ethz.ch](https://tours.ethz.ch)



Bild: ETH Zürich

○ 27. März – 1. April 2023

### Informatiktage

Erste Coding-Erfahrungen sammeln, virtuelle Welten erleben, eine Vorlesung von Disney Research besuchen oder ein Rechenzentrum ansehen: Das Programm des Departements Informatik und der Informatikdienste richtet sich an alle Altersgruppen, von IT-Laien bis hin zu kleinen und grossen Experten. Während Vater und Tochter einen selbstfahrenden Roboter programmieren, können Jugendliche neue Games testen, mehr über die Informatik-Olympiade erfahren oder sich am Stand des ETH AI Centers über künstliche Intelligenz informieren.

Mehr unter:

—> [informatiktage.ch/eth](https://informatiktage.ch/eth)



Bild: rhz reisen

Die Kirchen bei Stepanzinda liegen am Fusse des 5047 Meter hohen Kazbek.

○ 7.–17. Oktober 2023

## Sattgrüne Berglandschaften

ETH-Alumni-Reise nach Georgien

Umgeben von spektakulären Bergen hat Georgien trotz bewegter Geschichte seine kulturelle Identität, seine vielseitige Küche und eine uralte Weinbautradition bewahrt. Sein reiches Erbe zeigt sich in mittelalterlichen Städten, freskengeschmückten Kirchen und Höhlenklöstern.

Im pulsierenden Tiflis entwickelte sich neben der labyrinthischen Altstadt eine innovative moderne Architektur. Die Bergbaustadt Tschiatura, ein Industriedenkmal, ist mit seinen einst über 50 Seilbahnen ein Kuriosum. An der Schwarzmeerpromenade in Batumi endet die vielseitige Reise, geführt von Lorenzo Amberg, einem ehemaligen Botschafter in Tiflis.

Informationen und Anmeldung unter:

—> [alumni.ethz.ch/events](https://alumni.ethz.ch/events)

○ Erlebnissonntage: 19. März und 2. April 2023

## Treffpunkt Science City



Bild: Shutterstock

Ein Blick in den Nachthimmel offenbart unendliche Weiten – und wirft grosse Fragen auf: Gibt es noch anderes Leben? Wie ist das Universum damals entstanden, und woraus besteht es heute? Werden wir bald zum Mars fliegen? Oder gar andere Planeten besiedeln? An den Erlebnissonntagen des Treffpunkts Science City dreht sich alles um das Universum. Die grossen und kleinen Besucher:innen können bei Vorträgen, Demos und Führungen in das Thema eintauchen.

Weitere Infos und Anmeldung unter:

—> [www.treffpunkt.ethz.ch](http://www.treffpunkt.ethz.ch)

## HÖREN

○ ETH-Podcast

### Wie die ETH mein Leben prägte

Zwei ehemalige Studierende schauen im ETH-Podcast darauf zurück, wie sie die Zeit an der ETH geprägt hat. Rückblickend ist das Unmögliche möglich, man muss nur einen Schritt nach dem anderen machen.

Mehr zu diesem und weiteren Podcasts der ETH unter:

—> [podcast.ethz.ch](http://podcast.ethz.ch)

## LESEN

### Slow Pandemics

Zur Neugestaltung des Alltags im kommenden Zeitalter der Krankheiten

Der medizinische Fortschritt und mehr Wohlstand haben dazu beigetragen, dass wir nicht nur länger leben, sondern auch länger gesund bleiben. Doch nun zeigen sich die Schattenseiten: Die nächste Pandemie wird durch lebensstilbedingte Krankheiten geprägt sein und sich – anders als das Coronavirus – langsam und ohne grosse mediale Aufmerksamkeit verbreiten. Krankheiten als Folge des modernen Lebensstils mit weniger Bewegung und mehr Fast Food, Leistungsdruck, Einsamkeit und die Abhängigkeit von digitalen Hilfsmitteln sind Teil der neuen Normalität.



ISBN: 978-3-907396-13-1

Diese «langsamen Pandemien» entstehen im Alltag und lassen sich nicht durch einen Spitalaufenthalt oder ein Medikament behandeln. Sie erfordern ein neues Gesundheitssystem, das den Alltag in den Mittelpunkt rückt – und den Einbezug aller öffentlichen und privaten Akteure, die unsere Umwelt und unser Verhalten prägen. Der Fokus auf einen gesunden Lebensstil eröffnet dabei neue Märkte für Prävention – aber nur mit einer neuen Verantwortung gegenüber der Gesellschaft, der Zusammenarbeit aller Akteure in einem datenbasierten Gesundheitssystem und der Neudefinition von Lebensqualität.

# OUT OF FOKUS

Illustration: Michael Meister



Emotionen: gesehen von Michael Meister

**IMPRESSUM** Herausgeber: ETH Alumni / ETH Zürich, ISSN 2235-7289 Redaktion: Corinne Johannssen, Karin Köchle (Co-Leitung), Fabio Bergamin, Christoph Elhardt, Victoria Engler, Nicol Klenk, Michael Walther, Felix Würsten Mitarbeit: Santina Russo Insetateverwaltung: ETH Alumni, globe@alumni.ethz.ch, +41 44 632 51 24 Insetatemanagement: 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 Auflage: 38 900 deutsch, 16 200 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







# Management lernen, wo Zukunft entsteht.

Als Innovationsschmiede bietet die ETH Zürich das optimale Umfeld für eine Management-Weiterbildung, die den technologischen Wandel fundamental integriert.

Im berufsbegleitenden MAS MTEC Programm lernen Sie, neue Technologien effektiv und ergebnisorientiert einzusetzen und Ihr Team souverän in die Zukunft zu führen.

**Info-Event** 30. März  
**Live-Chat** 4. April



[mas-mtec.ethz.ch/info](https://mas-mtec.ethz.ch/info)



# Entdecke unser Young Engineers Program

maxon unterstützt mit dem Young Engineers Program (YEP) innovative Projekte mit vergünstigten Antriebssystemen und technischer Beratung. Erfahre mehr: [www.drive.tech](http://www.drive.tech)