



Universität  
Basel

# UNINOVA

Das Wissenschaftsmagazin der Universität Basel — N°130 / November 2017



Dossier Quantencomputer

## Rechner der Zukunft.

**Gespräch**

Leben in der  
Klassengesellschaft.

**Debatte**

Genauigkeit  
in der Wissenschaft.

**Album**

Wie ein Kraut  
unsere Wälder erobert.

**Essay**

Gibt es eine politisch  
korrekte Sprache?

kunstmuseum basel

Marc Chagall, Selbstbildnis, 1914, Kunstmuseum Basel, Stiftung im Obersteig, Depotium im Kunstmuseum Basel, © 2017, Prokurator Zürich, Foto: Kunstmuseum Basel, Martin P. Bühler

chagall.

# CHAGALL

DIE JAHRE  
DES DURCHBRUCHS  
1911 — 1919

16. 9. 2017 — 21. 1. 2018

Neubau: St. Alban-Graben 20

CREDIT SUISSE  
Partner Kunstmuseum Basel

NOVARTIS

**Team**  
**An dieser Ausgabe haben  
 mitgearbeitet:**



**1 Dominik Zumbühl** leitet das Department Physik der Universität Basel und erforscht als Experimentalphysiker unter anderem den Quantentransport, die Quantenkohärenz, Elektronenspins und Kernspins in Nanostrukturen. Sich selbst bezeichnet der 43-Jährige als einen von der Physik faszinierten Menschen, der davon angetrieben ist, neue Gesetze der Natur zu entdecken, und der versucht, diese in nützliche Technologien zu entwickeln. **Seiten 16–17**

**2 Benedikt Vogel** hat die Redaktion beim Zustandekommen des Dossiers dieses Hefts tatkräftig unterstützt. Nach dem Studium der Germanistik und Physik mit Doktorabschluss arbeitete er rund 20 Jahre als Redaktor und ist heute selbständiger Wissenschaftsjournalist in Berlin. **Seiten 14–33**

**3 Luca Gaggini** untersucht als Doktorand in der Forschungsgruppe Naturschutzbiologie den Einfluss von invasiven Pflanzenarten auf Biodiversität und Ökosystemfunktionen. Sein Forschungsprojekt über das Drüsige Springkraut in den Wäldern der Region haben wir fotografisch begleiten lassen. **Seiten 38–49**

## Eine neue Art des Rechnens.

Noch existieren sie erst im Labor, sie gelten aber als großes Versprechen für die Zukunft: Quantencomputer sollen komplexe Probleme lösen und in Echtzeit riesige Datenmengen berechnen können. Heutige Verschlüsselungsverfahren etwa würden im Nu geknackt. Weltweit liefern sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einen Wettlauf, um den ersten voll funktionsfähigen Quantencomputer zu bauen.

Anders als herkömmliche Rechner beruhen Quantencomputer auf den Effekten der Quantenmechanik. In der Welt der kleinsten Teilchen gelten Regeln, die sich mit unserer Alltagserfahrung nicht in Einklang bringen lassen: Teilchen können sich zugleich in verschiedenen Zuständen befinden, auf merkwürdige Weise miteinander verbunden sein und sich verändern, sobald wir sie beobachten. Quantencomputer machen sich diese Phänomene zunutze, was es ihnen erlaubt, wesentlich mehr Informationen zu speichern und diese viel schneller zu verarbeiten, als es mit klassischer Elektronik je möglich sein wird.

Während die theoretischen Konzepte weit fortgeschritten sind, braucht es bis zum funktionierenden Quantencomputer nicht nur Rechen- und Speichereinheiten, die über längere Zeit stabil bleiben und miteinander verbunden werden können. Gefragt sind etwa auch neue Ansätze zur Fehlerkorrektur sowie neuartige Messinstrumente und Fertigungstechnologien. An alledem wird in Basel geforscht.

In diesem Heft stellen wir Ansätze zum Rechnen mit Quanteninformationen vor und zeigen, wie an der Universität Basel im Zusammenspiel von theoretischen Entwürfen und raffinierten Experimenten an der Zukunft des Rechnens gearbeitet wird. Wir wünschen Ihnen bei der Lektüre viele neue Einblicke!

Reto Caluori,  
 Redaktion UNI NOVA



Klassenunterschiede sind real:  
Oliver Nachtwey im Gespräch, Seite 8



Quantenforschung entsteht im Wechselspiel von Theorie und Experiment.

**6 Kaleidoskop**

**8 Gespräch**

Die westlichen Gesellschaften sind durchzogen von strukturellen Asymmetrien, die Merkmale von Klassengesellschaften sind, sagt der Soziologe Oliver Nachtwey.

**12 Nachrichten**

Lasker-Preis, Uni auf Baselbieter Märkten, Politikwissenschaft.



**Titelbild**

Mario Palma, Doktorand in der Forschungsgruppe von Prof. Dominik Zumbühl, platziert einen Chip an der Spitze eines Kryostaten, mit dem sich Experimente bei extrem tiefen Temperaturen durchführen lassen.

**Dossier Quantencomputer**

# Rechner der Zukunft.

**16 Die zweite Revolution.**

Die Quantenphysik verspricht revolutionäre neue Technologien – mit weitreichenden Konsequenzen.

**19 Bausteine des Quantencomputers.**

Ein Qubit kann ein Bit Information speichern – es ist der elementare Baustein eines künftigen Quantencomputers.

**21 57 Sekunden sind Weltrekord.**

Basler Wissenschaftler haben es geschafft, den Spin eines Elektrons während knapp einer Minute in einer Richtung zu halten: Weltrekord.

**22 Rechnen mit Qubits.**

Quantenbits, kurz Qubits, bilden die zentralen Rechen- und Speicherbausteine eines Quantencomputers.

**24 Das Majorana-Fermion.**

Für einen Quantenrechner braucht es stabilere Speicherbausteine als die Qubits. Eine mögliche Lösung ist ein Elementarteilchen namens Majorana-Fermion.

**26 Silizium für den Superrechner.**

Die klassischen Silizium-Chips könnten auch für die Entwicklung leistungsstarker Quantencomputer wichtig werden.

**29 Rechnen in einer Welt voller Störungen.**

Ein Quantencomputer muss in der Lage sein, in einer Art dauernder Selbstdiagnose Fehler zu erkennen.

**31 Quantensensoren und Mikroskopie.**

Quantenbasierte Sensoren sind bereits Realität. Basler Physiker haben extrem empfindliche Messinstrumente entwickelt.



Genetische Analysen helfen, die Ausbreitung von Neophyten zu verstehen, Seite 38

**34 Mein Arbeitsplatz**

Das Departement Biomedizin betreibt einen Reinraum mit besonders strengen Vorschriften – ein Labor für höchste Qualitätsstandards.

**36 Debatte**

**Wie genau ist die Wissenschaft?**

Der Historiker Tobias Straumann und der Evolutionsbiologe Dieter Ebert diskutieren.

**38 Album**

**Das Kraut aus dem Osten.**

Das Drüsige Springkraut verdrängt nicht nur seine einheimischen Verwandten, sondern auch die umgebende Pflanzenwelt und bremst das Wachstum der Bäume.

**50 Forschung**

**Stammzellen gegen Hirnlähmung.**

Das Potenzial von Stammzellen könnte zur Behandlung der Zerebralparese eingesetzt werden.

**52 Forschung**

**Wie Schneeflocken entstehen.**

Damit sich Schneeflocken bilden, braucht es neben der Kälte oft auch biologische Partikel als Eiskeime.

**54 Forschung**

**Frühe Sprachförderung.**

Je früher Kinder mit Migrationshintergrund ausserhalb der Familie betreut werden, desto rascher lernen sie Deutsch.

**56 Forschung**

Zebrafische, Vorhofflimmern und Demenz.

**57 Bücher**

Neuerscheinungen von Forschenden der Universität Basel.

**58 Essay**

**Gibt es eine politisch korrekte Sprache?**

Die Philosophin Deborah Mühlebach über politische Sprachkritik und darüber, was Wörter bewirken.

**60 Porträt**

**Die Völkerrechtlerin und die Seeräuberei.**

In Sachen Piraterie und Kriminalität auf See kennt sich die Juristin Anna Petrig bestens aus.

**62 Alumni**

**66 Mein Buch**

**67 Agenda**

**Impressum**

UNI NOVA,  
Das Wissenschaftsmagazin der Universität Basel.  
Herausgegeben von der Universität Basel,  
Kommunikation & Marketing (Leitung: Matthias Geering).

UNI NOVA erscheint zweimal im Jahr, die nächste Ausgabe im Mai 2018. Das Heft kann kostenlos abonniert werden; Bestellungen per E-Mail an [uni-nova@unibas.ch](mailto:uni-nova@unibas.ch). Exemplare liegen an mehreren Orten innerhalb der Universität Basel und an weiteren Institutionen in der Region Basel auf.

**KONZEPT:** Matthias Geering, Reto Caluori, Urs Hafner

**REDAKTION:** Reto Caluori, Christoph Dieffenbacher

**ADRESSE:** Universität Basel, Kommunikation & Marketing, Postfach, 4001 Basel.

Tel. +41 61 207 30 17

E-Mail: [uni-nova@unibas.ch](mailto:uni-nova@unibas.ch)

UNI NOVA ONLINE: [unibas.ch/uninova](http://unibas.ch/uninova), [issuu.com/unibas](http://issuu.com/unibas)

**GESTALTUNGSKONZEPT UND GESTALTUNG:** New Identity Ltd., Basel

**ÜBERSETZUNGEN:** Sheila Regan und Team, UNIWORKS ([uniworks.org](http://uniworks.org))

**BILDER:** S. 6: Mehmed A. Akšamija, Sarajevo. siba.4859; S. 7: Annetrudi Kress; Cosmos; S. 12: Albert and Mary Lasker Foundation; S. 18: Enrique Sahagún/Scixel; S. 33: Enrique Sahagún/Scixel; S. 52: Peter Stein/Shutterstock; S. 56: Departement Pharmazeutische Wissenschaften der Universität Basel; SNF/Swiss Atrial Fibrillation Cohort; S. 62: Lumenfilm; S. 63: Jorge Royan/[royan.com.ar](http://royan.com.ar) (CC-BY-SA 3.0); S. 65: Yonsei University, Seoul; S. 67: John Englart/Takver (CC-BY-SA-2.0).

**ILLUSTRATION:** Studio Nippoldt, Berlin

**KORREKTORAT:** Birgit Althaler, Basel (deutsche Ausgabe), Lesley Paganetti, Basel (englische Ausgabe).

**DRUCK:** Birkhäuser+GBC AG, Reinach BL

**INSERATE:** Universität Basel, Leitung Marketing & Event, E-Mail: [bea.gasser@unibas.ch](mailto:bea.gasser@unibas.ch)

UNI NOVA ist Mitglied des Swiss Science Pool ([swissciencepool.com](http://swissciencepool.com))

**AUFLAGE DIESER AUSGABE:**

14 000 Exemplare deutsch

1200 Exemplare englisch

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck nur mit Genehmigung der Herausgeberin.

**ISSN 1661-3147** (gedruckte Ausgabe deutsch)

**ISSN 1661-3155** (Online-Ausgabe deutsch)

**ISSN 1664-5669** (gedruckte Ausgabe englisch)

**ISSN 1664-5677** (Online-Ausgabe englisch)

[facebook.com/unibas](http://facebook.com/unibas)

[instagram.com/unibas](http://instagram.com/unibas)

[twitter.com/unibas](http://twitter.com/unibas)



Historische Pressefotos

# Alltag im Umbruch.

Sarajevo, Istanbul, Belgrad und Ankara durchliefen nach dem Zerfall des Osmanischen Reichs einen rasanten Modernisierungsprozess. Eingefangen wurde diese dynamische Zeit in den Bildern von Pressefotografen, die zwischen 1920 und 1940 in den grossen türkischen und jugoslawischen Zeitungen erschienen sind. Sie legen Zeugnis ab von der kulturellen, politischen und städtischen Entwicklung.

Ein Forschungsprojekt am Fachbereich Nahoststudien hat zusammen mit internationalen Partnern die Bilder online zugänglich gemacht und eine Wanderausstellung konzipiert. Nach ihrer Vernissage in Basel wird die Ausstellung nun auch in Belgrad, Istanbul, Sarajevo, Graz und Cambridge zu sehen sein. Auf der Fotografie von 1939 ist ein katholisches Bauernpaar aus dem Umland Sarajevos abgelichtet. Beide tragen die für die Region charakteristische Kleidung. ■

[bit.ly/SIBA-unibasel](http://bit.ly/SIBA-unibasel)





### Neurowissenschaften

## Spielen für die Wissenschaft.

Mit Online-Games beschreitet das Forschungsprojekt Cosmos neue Wege in der Erhebung psychologischer Daten. Vier Videospiele sollen dazu beitragen, die Funktionsweise des menschlichen Gehirns besser zu verstehen. Die einzelnen Games messen unterschiedliche kognitive Fähigkeiten wie Reaktion, Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis. Der fliegenfressende, von Teich zu Teich hüpfende Frosch etwa ist ein Go/No-Go-Test, der Rückschlüsse zum Verhalten unter Zeitdruck zulässt. Die Forschenden untersuchen, welche molekularen Mechanismen für bestimmte kognitive oder emotionale Funktionen wichtig sind. Die Online-Plattform dient dabei als Werkzeug, um die nötigen grossen Fallzahlen zu erreichen. ■

[cosmos.psych.unibas.ch](http://cosmos.psych.unibas.ch)

### Natura Obscura

## Im Zaubergarten der Natur.

Seit 200 Jahren widmet sich die Naturforschende Gesellschaft in Basel der Natur und Wissenschaft und hat – oft eng vernetzt mit der Universität – zur Entwicklung des Wissens- und Forschungsstandorts Basel beigetragen. Zum Jubiläum legt die Gesellschaft mit *natura obscura* einen Band vor, in dem 200 Naturforschende von einem Stück Natur erzählen, das sie persönlich fasziniert.

Entstanden ist ein Lesebuch mit prächtigen Bildern, wie diese Aufnahme einer *Cuthona coerulea*: einer im Meer lebenden Schnecke ohne Schale, die trickreiche Verteidigungsstrategien entwickelt hat, um den Verlust des schützenden Gehäuses zu kompensieren. ■

[ngib.ch/jubilaeum](http://ngib.ch/jubilaeum)





**«Die ökonomischen und kulturellen Ressourcen sind ungleich verteilt und reproduzieren sich ungleich.»**

**Oliver Nachtwey**

# «Wir leben in einer Klassengesellschaft.»

Die Menschen müssten offen über ihre unterschiedlichen ökonomischen Interessen streiten, findet der Soziologe Oliver Nachtwey. Die Klassengesellschaft sei nie vorbei gewesen.

Interview: Urs Hafner Foto: Christian Flierl

Oliver Nachtwey ist neuer Professor für Soziologie an der Universität Basel. Anfang August, ein paar Tage nach seinem Arbeitsbeginn, ist sein Büro am Petersgraben nicht einfach zu finden, weil es noch nicht angeschrieben ist. Der Raum sieht frisch renoviert aus, das leere Regal wartet auf das erste Buch. In der Ecke steht der Aluminiumkoffer bereit für die Wochenendreise nach Frankfurt, wo Nachtwey noch wohnt. Er werde bald in die Stadt Basel ziehen, betont der junge Soziologe, bevor er Kaffee und Wasser serviert, er wolle hier leben und sich einbringen. Eben habe er sich spontan das erste Mal in den Rhein gewagt. Er trägt einen modischen Haarschnitt, Bart und Anzug, am Handgelenk eine elegante deutsche Uhr.

**UNI NOVA:** Herr Nachtwey, fühlen Sie sich in der Schweiz wie im Sozialismus?

**OLIVER NACHTWEY:** Den Sozialismus stelle ich mir ein wenig anders vor ... Die Lebensqualität hier ist sehr hoch. Als Kind war ich ein paar Mal im Wallis in den Ferien, wo es mir jeweils sehr gut gefiel.

**UNI NOVA:** Ich hatte weniger an das Befinden als an Zahlen gedacht: Die Rechtsliberalen behaupten, wir würden im Sozialismus oder Semi-Sozialismus leben, weil die Staatsquote über 50 Prozent betrage.

**NACHTWEY:** (lacht) Die Staatsquote, also der Anteil des Bruttoinlandprodukts, der

durch staatliche Hände geht, ist ein höchst ungenaues Mass, um sozialistische oder auch nur soziale Verhältnisse zu bestimmen. In Deutschland ist die Staatsquote nach den sozialstaatlichen Kürzungen kaum gesunken. Eine hohe Staatsquote kann für Verschiedenes stehen: für viel Bürokratie, für hohe Militärausgaben, für niedrige Löhne, die staatliche Transferleistungen erfordern. Da muss man genau hinschauen. Eine Gegenfrage an die Rechtsliberalen könnte lauten: Ist die hohe Staatsquote auch dann ein Übel, wenn der Staat imstande ist, marode Banken vor dem Untergang zu retten und die Volkswirtschaft vor grösserem Schaden zu bewahren?

**UNI NOVA:** Lassen wir also die Sozialismusfrage offen. In Ihrem aufsehenerregenden Buch über die «Abstiegsgesellschaft» beschreiben Sie plausibel, wie in Europa die unteren Mittelschichten und die Unterschichten verarmen, während die Oberschichten ökonomisch zulegen. Leben wir wieder in einer Klassengesellschaft?

**NACHTWEY:** Wir haben schon immer in einer Klassengesellschaft gelebt, sie kehrt nicht zurück – wobei ich die Verhältnisse in der Schweiz noch zu wenig kenne, um qualifizierte Aussagen machen zu können. Die westlichen Gesellschaften jedenfalls sind nach wie vor durchzogen von strukturellen Asymmetrien, die Merk-

male von Klassengesellschaften sind: Die ökonomischen und kulturellen Ressourcen sind ungleich verteilt und reproduzieren sich ungleich. Von den Fünfziger- bis in die Achtzigerjahre schien es, als würden die Klassenunterschiede an Bedeutung verlieren – der Soziologe Ulrich Beck hat von der «Fahrstuhlgesellschaft» gesprochen: Ökonomisch ging es allen immer besser. Aber selbst damals blieben die strukturellen Unterschiede bestehen.

**UNI NOVA:** Das Wirtschaftswunder hat den Blick der Wissenschaft getrübt?

**NACHTWEY:** Eine Zeit lang, ja. Und nun haben die sozialen Klassen wieder an Sichtbarkeit gewonnen: Die Reichsten und Mächtigsten, also die obersten fünf bis zehn Prozent der Bevölkerung, stellen ihren Wohlstand unverhohlen zur Schau. Reichtum wird per se als Zeichen von Leistung gedeutet; wer viel verdient, gilt als Leistungsträger, egal, wie er zu seinem Geld gekommen ist. Wenn die Performance eines Unternehmens sinkt, wird dem Topmanager der Lohn nicht gekürzt. Die Unterschichten dagegen werden grösser und verlieren quasi den Anschluss an die Gesellschaft. In Deutschland zählt ein Viertel aller Jobs zum prekären Niedriglohnbereich, im deutschen Parlament sitzt noch ein einziger Arbeiter.

**UNI NOVA:** Wer «Klasse» sagt, evokiert den Marxismus, aber die Theorien vom Klas-

senbewusstsein, von der Klasse an sich und für sich, vom Proletariat und so weiter: Sie stimmen nicht.

**NACHTWEY:** So einfach ist es nicht. Auch für den Soziologen Ralf Dahrendorf, der alles andere als ein Marxist war, sondern ein überzeugter Liberaler, waren kapitalistische Gesellschaften notwendig Klassengesellschaften. Er hat schon in den Neunzigerjahren gesagt, die Bedeutung der Klassen werde wieder zunehmen. Der Begriff Klasse meint, dass die Menschen aufgrund des Umstands, dass sie sich in unterschiedlichen ökonomischen Lagen befinden, verschiedene Interessen haben. Und daraus entstehen zwangsläufig Konflikte: Die Klassen streiten und kämpfen gegeneinander, sie müssen aber auch verhandeln und Lösungen suchen. Im Idealfall entstehen aus dem Streit Integration und Befriedung. Wer die Existenz der Klassengesellschaft

leugnet, redet einem scheinbaren Konsens das Wort, der in gesellschaftlicher Anomie enden kann.

**UNI NOVA:** Anomie: Sie gehen also davon aus, dass die Normen der Gesellschaft erodieren, dass sie vor dem Auseinanderfallen steht?

**NACHTWEY:** Nicht zwangsläufig. Aber Phänomene wie die deutsche Pegida-Bewegung, die im Internet kursierenden Verschwörungstheorien unter Gleichgesinnten oder auch die anonymen Hasskom-

## «Es gibt heute zu viele prekäre Jobs, die den Leuten keine Sicherheit mehr bieten.»

Oliver Nachtwey

mentare, die, wie wir wissen, etwa auch von gut ausgebildeten Technikern abgesetzt werden, weisen darauf hin, dass sich soziale Pathologien in beunruhigendem Mass ausbreiten. Viele Menschen fressen Frustration und Ängste in sich hinein, während der Leistungsdruck auf dem Arbeitsmarkt steigt. Die Anzahl Krankheits-tage in den Unternehmen sinkt, also die Leute gehen arbeiten, obschon sie nicht wirklich fit sind, gleichzeitig aber nehmen psychosoziale Erkrankungen zu.



**MICHAEL, MANAGER HR SYSTEMS**

**ICH WILL MICH ENTFALTEN.  
WIR WACHSEN  
ÜBER UNS HINAUS.**

Lidl lohnt sich – auch für unsere Mitarbeitenden: Angefangen bei einem tollen Team und viel Raum für Ideen bis hin zu einmaligen Weiterbildungsangeboten und besten Aufstiegsmöglichkeiten bietet Lidl vielfältige Möglichkeiten für gemeinsames Wachstum.



Karrierechancen auf [karriere.lidl.ch](https://karriere.lidl.ch)

**UNI NOVA:** Wieso wehren sich die Leute nicht, wenn sie unter Druck stehen?

**NACHTWEY:** Das tun sie, aber auf eine destruktive Weise. Sie melden sich lautstark im Rechtspopulismus zurück. Das ist aus ihrer Sicht eine Art Notwehr ...

**UNI NOVA:** ... Notwehr?

**NACHTWEY:** Weil sie sich nicht mehr angehört fühlen. Die Angehörigen der Unterschichten und der abstiegsbedrohten Mittelschichten haben im öffentlichen Leben an Bedeutung und Sichtbarkeit verloren. Von den etablierten Volksparteien sehen sie sich immer weniger repräsentiert. Die Vereine verschwinden und die Gewerkschaften schwächeln. In diesen zivilgesellschaftlichen Organisationen konnten die Leute früher ihre Wut und Empörung artikulieren und fanden Resonanz. Die Gewerkschaft bot Schutz vor den Zumutungen des Markts, der Stammistisch spendete Trost und empfahl nach dem letzten Bier Mässigung. Die Erosion dieser Milieus führt zur Anomie.

**UNI NOVA:** Das heisst also, dass früher, als es noch lebendige Vereine und starke Gewerkschaften gab, alles besser war?

**NACHTWEY:** Es gibt heute zu viele prekäre Jobs, die den Leuten keine Sicherheit mehr bieten, aber ich sehne mich nicht nach den guten alten Zeiten zurück, die es so nie gab. Die Verhältnisse waren auch rückschrittlich, etwa in der Frage der Emanzipation von Frauen. Deshalb kann man die Uhr nicht einfach zurückdrehen. Die Situation ist heute offen, vieles ist möglich. Das Problem ist nicht das Wegfallen der Vereine, sondern: Was tritt an ihre Stelle, welche Formen der Vergemeinschaftung sind sinnvoll? Das Internet, das den sozialen Wandel beschleunigt, kann ein Medium der Emanzipation wie der Regression sein. Global sehe ich im Moment beides: autoritäre und demokratische Tendenzen, den ins Stocken geratenen Arabischen Frühling und die Occupy-Bewegung einerseits, die neuen Autokraten andererseits. Ich glaube, Bernie Sanders hätte anstelle von Hillary Clinton Trump geschlagen. Auf Deutschland bezogen: Es gibt Pegida, aber es gibt auch die «Willkommenskultur», die von rund

sechs Millionen Menschen getragen wurde. Deutschland hat die Flüchtlinge aufgenommen und ist nicht zusammengebrochen.

**UNI NOVA:** Das deutsche Feuilleton bezeichnet Sie als linken Wissenschaftler. Was sagen Sie dazu?

**NACHTWEY:** Wenn es in der Zeitung steht, wird es wohl stimmen ...

**UNI NOVA:** Was macht ein linker Soziologe?

**NACHTWEY:** Ich interessiere mich für Arbeit, für soziale Gerechtigkeit, für Wirtschaft und politische Phänomene. Mein Ideal ist, zu wissenschaftlich fundierten Ergebnissen über gesellschaftliche Ungerechtigkeit und sozialen Wandel zu gelangen. Meine Erkenntnisse sollen interessierten Bürgerinnen und Bürgern ermöglichen, die Welt besser zu verstehen und diese vielleicht sogar besser zu machen. Ich steige nicht auf den Feldherrenhügel und sage, wo es langgeht.

**UNI NOVA:** Nicht wie Lenin also. Und wie arbeitet ein konservativer Soziologe?

**NACHTWEY:** Eigentlich sollte er zu ähnlichen Resultaten kommen wie der linke Soziologe, aber er wird sie anders interpretieren. Viele konservative Soziologen behaupten, den Gegensatz von Rechts und Links gebe es nicht mehr, oder sie stünden nicht rechts, sondern arbeiteten, wie der grosse Soziologe Max Weber gefordert hat, frei von Werturteilen objektiv. Wer so argumentiert, ist jedoch selbst ideologisch, weil die eigenen Überzeugungen immer in die Forschung mit einfließen. Linke Soziologinnen und Soziologen analysieren eher die Folgen des sozialen Wandels bezüglich sozialer Gerechtigkeit, Konservative schauen eher darauf, wie die gesellschaftliche Stabilität erhalten werden kann. Linke kritisieren die negativen Folgen des Markts für die Einkommensverteilung, Konservative die – ebenfalls negativen – Auswirkungen auf die traditionelle Familie.

**UNI NOVA:** In der Schweiz dominiert eine empiristische Soziologie, die mit der Berechnung ihrer kleinteiligen Daten beschäftigt und – anders als Sie – im öffentlichen Diskurs kaum präsent ist. Werden Sie den wissenschaftlichen Streit suchen?

**NACHTWEY:** Ich streite nicht gern. Zunächst möchte ich meine Kolleginnen und Kollegen besser kennenlernen, deren Arbeit ich schätze. Allerdings würde es einer so vielfältigen Wissenschaft wie der Soziologie guttun, wenn man mehr kollegiale Kontroversen führen würde, um den sozialen Wandel besser zu verstehen. Streiten sollten wir aber in der Gesellschaft. So paradox es klingt: Konflikte fördern die soziale Integration – sofern der Kampf darum nicht, wie dem einflussreichen und mit dem NS-Regime sympathisierenden Staatstheoretiker Carl Schmitt vorschwebte, in der Vernichtung des Gegners enden soll. In der Auseinandersetzung entsteht Reibung, aber auch der Kompromiss und manchmal sogar ein wenig Wärme. ■

### Oliver Nachtwey

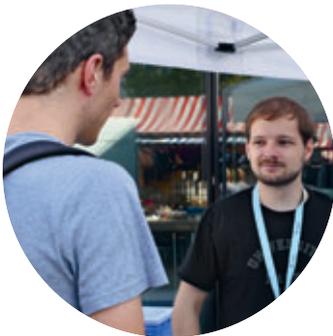
Geboren 1975, seit 1. August 2017 Professor für Sozialstrukturanalyse an der Universität Basel. Vorher lehrte und forschte Oliver Nachtwey an der Technischen Universität Darmstadt und am Institut für Sozialforschung in Frankfurt am Main. Der Wirtschaftssoziologe befasst sich mit Arbeit, Ungleichheit, Protest und Demokratie. Er schreibt für Tages- und Wochenzeitungen sowie Online-Portale. Seine 2016 bei Suhrkamp erschienene Studie «Die Abstiegs-gesellschaft. Über das Aufbegehren in der regressiven Moderne» stiess auf ein grosses Echo und ist zum Bestseller geworden – eine für ein gehaltvolles Sachbuch seltene Auszeichnung.

# Preis, Präsenz und Politikwissenschaft.

## Uni am Markt

### Unterwegs im Baselbiet.

Von Reigoldswil bis Birsfelden, von Reinach bis Gelterkinden: Die Universität präsentiert sich im Herbst der Baselbieter Bevölkerung auf acht verschiedenen regionalen Märkten. In ungezwungener Atmosphäre suchen ortsansässige Uni-Mitarbeitende das Gespräch mit den Marktbesucherinnen und -besuchern. Ziel der Initiative «Uni am Markt» ist es, die Universität im Baselbiet besser sichtbar zu machen und auch mit Personen in Kontakt zu treten, die noch keinen direkten Bezug zur Hochschule haben. Bei einem Glas Most beantworten Mitarbeitende aus unterschiedlichen Fachbereichen Fragen rund um die Universität und kommen so ins Gespräch mit der Bevölkerung. Nächste Termine: Sissach (15. November) und Muttenz (22. November). ■



## Lasker-Preis

### Grosse Ehre für Michael Hall.

Professor Michael N. Hall vom Biozentrum der Universität Basel erhält den diesjährigen Lasker-Preis für medizinische Grundlagenforschung – eine der höchsten und prestigeträchtigsten Auszeichnungen in der biomedizinischen Forschung. Die in New York ansässige Albert and Mary Lasker Foundation würdigt den 64-jährigen Biochemiker für die Entdeckung und Erforschung des Proteins Target of Rapamycin, kurz TOR. Durch das An- und Abschalten verschiedener Signalwege kontrolliert es das Wachstum und die Grösse von Zellen. Michael Hall – hier mit Claire Pomeroy, Präsidentin der Lasker Foundation, und Willard J. Overlock, Vorsitzender des Stiftungsvorstands – hat damit ein Schlüsselement für die Steuerung des Zellwachstums entdeckt, das auch mit der Entstehung von Krankheiten wie Krebs, Herz-Kreislauf-Beschwerden und Diabetes in Zusammenhang steht. ■



Michael Hall über das Protein, welches das Wachstum von Zellen reguliert:  
[youtu.be/yRsSBSiRQ-o](https://youtu.be/yRsSBSiRQ-o)

## Neues Studienfach

# Glänzender Start für Politikwissenschaft.

95 Studierende – etwa gleich viel Frauen wie Männer – haben im September ein Bachelorstudium in Politikwissenschaft aufgenommen, das in diesem Semester erstmals in Basel angeboten wird. Zu Beginn ihres Studiums werden sie die Grundlagen in vergleichender Politikwissenschaft, internationalen Beziehungen und politischer Theorie erarbeiten. Schon im Bachelorstudium können die Studierenden einen Schwerpunkt auf eine bestimmte Weltregion legen und diesen Fokus dann im ebenfalls neu angebotenen Masterstudium vertiefen. Die thematischen Schwerpunkte des Fachs bilden Friedens- und Konfliktforschung, Demokratie, europäische Integration, Aussenpolitikanalyse, die Europäische Union sowie die politische Repräsentation. Insgesamt traten im September über 1900 neue Studierende ihr Studium an der Universität Basel an, davon allein 1500 im Bachelorstudium. Der Einstieg wurde den Studienanfängern erstmals mit einer Start-Smart-Woche erleichtert, die einen Einblick ins universitäre Leben vermittelte und den neuen Studierenden Gelegenheit bot, Kontakte zu knüpfen. ■

## Rankings 2017–2018

# Weiterhin unter den Top 100.

Wie im Vorjahr reiht sich die Universität Basel auch im aktuellen «Times Higher Education World University Ranking» unter die 100 weltweit besten Hochschulen ein und verbessert sich um drei Plätze auf Rang 95. Auf dieselbe Position platziert sie das Academic Ranking of World Universities, das jährlich von der Shanghai Jiao Tong University publiziert wird. Hier gelang der Universität Basel dieses Jahr die Rückkehr auf Platz 95, nachdem sie 2016 im sogenannten «Shanghai-Ranking» erstmals aus den Top 100 gefallen war. ■

# Das Magazin für noch mehr Wissen. Jetzt abonnieren.



Das Wissenschaftsmagazin der Universität Basel bequem zu Hause erhalten. Schnell und einfach im Internet bestellen.

[unibas.ch/uninova](http://unibas.ch/uninova)



Coupon ausschneiden und senden an:

**Universität Basel, Kommunikation, Petersgraben 35, Postfach, 4001 Basel**

UNI NOVA erscheint zweimal im Jahr und kann kostenlos abonniert werden.

Bitte senden Sie mir UNI NOVA in folgender Sprache:

Deutsch  Englisch

Bitte senden Sie UNI NOVA an:

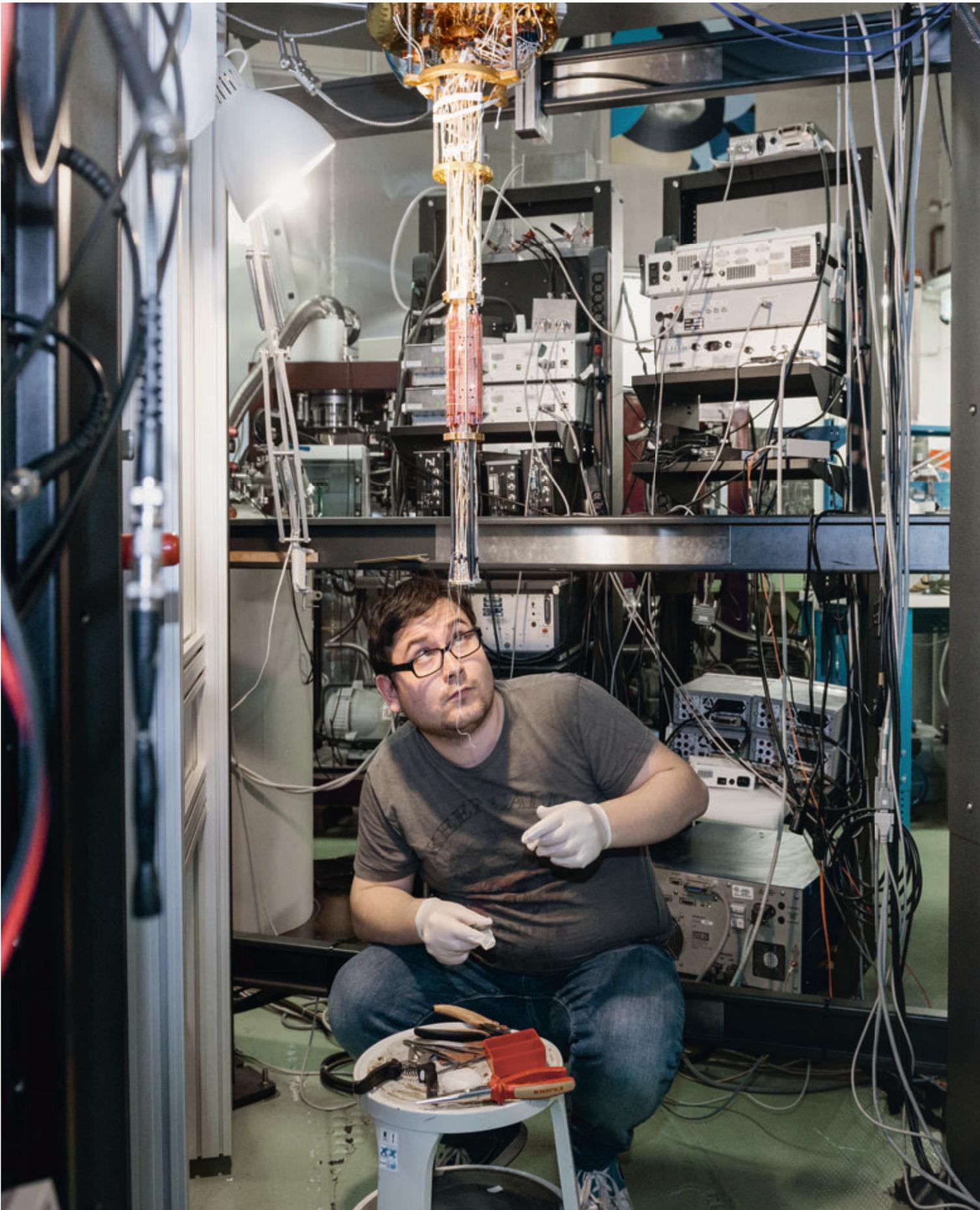
\_\_\_\_\_  
Name, Vorname

\_\_\_\_\_  
Strasse, Hausnummer oder Postfach

\_\_\_\_\_  
PLZ, Ort

\_\_\_\_\_  
E-Mail

\_\_\_\_\_  
Datum, Unterschrift





# Rechner der Zukunft.

Fotos: Christian Flierl

**Die Nutzung von Quanteneffekten gilt als neue Schlüsseltechnologie: Einmal funktionsfähig, werden Quantencomputer Probleme lösen, die sich heute nicht berechnen lassen.**

---

**Seite 16**

«Die Quantenphysik stellt Technologien in Aussicht, die unsere Lebenswelt tiefgreifend verändern werden.»

---

**Seite 19**

Qubits sind die zentralen Bausteine des Quantencomputers. Ein aussichtsreiches Konzept dafür stammt aus Basel.

---

**Seite 26**

Silizium-Chips bilden die Grundlage heutiger Computer. Das Material soll auch bei Quantencomputern eine Rolle spielen.

# Die zweite Revolution der Quantenphysik.

Die Quantenphysik verspricht revolutionäre neue Technologien wie den Quantencomputer – mit weitreichenden Konsequenzen für Wirtschaft und Gesellschaft. Die Universität Basel nimmt seit Jahren eine Vorreiterrolle in der Quantenforschung ein.

Text: Dominik Zumbühl



**Dominik Zumbühl** ist Professor für Experimentelle Physik und Vorsteher des Departements Physik der Universität Basel.

Im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts stellten Physiker wie Max Planck, Albert Einstein, Erwin Schrödinger und Werner Heisenberg unser Verständnis der Natur auf eine neue Grundlage. Mit der Quantenmechanik entstand damals eine Theorie, die die menschliche Vorstellungskraft auf die Probe stellt. Ihre Vordenker waren verblüfft und verstört zugleich. Sie versuchten in Gedankenexperimenten, die paradoxen Konsequenzen der neuen Theorie zu veranschaulichen. Im bekanntesten schildert Schrödinger eine Katze, die – folgt man den Gesetzen der Quantenphysik – lebendig und tot zugleich ist. So absurd solche Überlegungen anmuten: Die Quantentheorie gilt heute als eine zentrale Errungenschaft der modernen Naturwissenschaften. Sie hat unser Weltbild revolutioniert.

Seit rund zwanzig Jahren sorgt die Quantenphysik für eine zweite Revolution. Wissenschaftler führen mit immer neuen Experimenten vor Augen: Wir können die verrückte Welt der Quantenphysik nutzen, um mit ihr nützliche Dinge anzustellen, zu denen wir mit der klassischen Physik nicht in der Lage waren. Hochempfindliche Quantensensoren erlauben es heute, Magnetfelder schneller und genauer zu messen als je zuvor. In naher Zukunft könnte die Quantenphysik abhörsichere Kommunikationskanäle möglich machen. Bereits früher waren medizinische Diagnostikgeräte wie die Magnetresonanztomografie entwickelt worden, die auf den Gesetzen der Quantenphysik beruhen.

## Ein Rechner für völlig neue Fragestellungen

Die Quantenphysik hat ein atemberaubendes Innovationspotenzial. Vor den Hintergrund verfolgen Physiker der Universität Basel die Vision eines Rechners, der sich die Gesetze der Quantenmechanik zunutze macht.

Ein Quantencomputer kann eine Vielzahl von Rechenoperationen parallel ausführen; er ist daher unvorstellbar schnell und löst innerhalb von Stunden Probleme, für die heutige Supercomputer Milliarden von Jahren bräuchten. Während aktuelle Spitzenrechner eine Milliarde Transistoren enthalten, wären es bei einem Quantencomputer eine Milliarde Quantenbits (Qubits). Während klassische Bits nur den Zustand 0 oder 1 annehmen können, lassen sich mit Qubits mehr als nur zwei Zustände definieren. Ihre schiere Rechenkraft könnte in Zukunft Antworten auf Fragen ermöglichen, die wir bisher erst gar nicht zu stellen wagten. Denkbar wird etwa, dass wir Moleküle und damit Materialien mit bisher ungekannten Eigenschaften kreieren können: neuartige pharmazeutische Wirkstoffe zum Beispiel. Oder Supraleiter für den verlustfreien Transport von Strom bei Zimmertemperatur. Oder chlorophyllähnliche Stoffe, die Sonnenlicht in nutzbare Energie umwandeln. Bisher wurden innovative Stoffe eher zufällig entdeckt. Dank Quantencomputern könnten Wissenschaftler künftig Materialien mit Wunscheigenschaften gezielt designen.

Der Quantencomputer ist ein grosses Versprechen. An seiner Umsetzung arbeiten erstklassige

Forscherteams von Harvard bis Tokio. Eine der Grundlagen ihrer Arbeit ist eine Idee, die der Physiker Daniel Loss vor zwanzig Jahren formuliert hat: Der Drehimpuls (Spin) einzelner Elektronen soll als kleinster Informationsträger eines Quantencomputers genutzt werden. Solche Qubits gelten in Labors rund um den Globus als aussichtsreiche Kandidaten zum Bau eines Quantencomputers. Der Urheber der Idee, Daniel Loss, arbeitet in Basel. Hier widmet er sich der Entwicklung eines Basler Qubits. Dieses aus einem Halbleitermaterial gefertigte Qubit ist extrem klein und schnell. Silizium ist ein bestens erprobter Werkstoff von Computerchips, Silizium-Qubits haben daher entscheidende Vorteile gegenüber anderen Qubit-Konzepten. Die Entwicklung eines Qubits ist die übergeordnete Zielsetzung der Basler Physik. Zwölf Professorinnen und Professoren arbeiten mit dem Knowhow ihrer Forscherteams auf dieses gemeinsame Ziel hin.

#### **Basler Forscher laufen in der Spitzengruppe mit**

Damit kein Missverständnis entsteht: Das Department Physik der Universität Basel ist kein Industrielabor, das in den nächsten Monaten und Jahren einen Quantencomputer baut. Wir betreiben Grundlagenforschung. Solche Forschung braucht viel Zeit, hat aber das Potenzial, echte Innovationen hervorzubringen. Zur Erinnerung: Nach der Entdeckung des Transistors 1947 ist ein halbes Jahrhundert vergangen, bis Personalcomputer und Mobiltelefone in unseren Alltag Einzug hielten und unsere Arbeitswelt umpflügten. Der Marathonlauf mit Blick auf den Quantencomputer hat gerade erst begonnen. Firmen wie Microsoft, Google und Intel setzen heute auf den Quantencomputer, weil sie realisieren, dass die zunehmende Miniaturisierung des klassischen CMOS-Chips an Grenzen stösst. Basel hat den Ehrgeiz, in der Spitzengruppe mitzulaufen.

Bisher sind wir gut unterwegs. Basler Physiker haben in den letzten Jahren acht der renommierten ERC-Grants des Europäischen Forschungsrats erworben, die letzten beiden durch unsere Professorinnen Jelena Klinovaja und Ilaria Zardo. Die Förderzusagen attestieren unserer Forschung Spitzenniveau. Die Leuchtkraft der Basler Quantenforschung lockt viele Nachwuchsforscherinnen und -forscher an. Seit Herbst 2016 existiert die Doktorandenschule «Quantum Computing and Quantum Technologies», die zurzeit 20 Doktorandinnen und Doktoranden zusammenbringt. Ebenfalls dank grosszügiger Unterstützung der Georg H. Endress Stiftung können wir ab Januar 2018 einen grenzüberschreitenden Postdoc-Cluster mit der Universität Freiburg einrichten. Zehn zusätzliche Wissenschaftler werden damit im Be-

reich Quantencomputing arbeiten. Diese Initiative orientiert sich am Vorbild US-amerikanischer Stiftungen, die Postdocs an Top-Forschungsplätzen finanzieren.

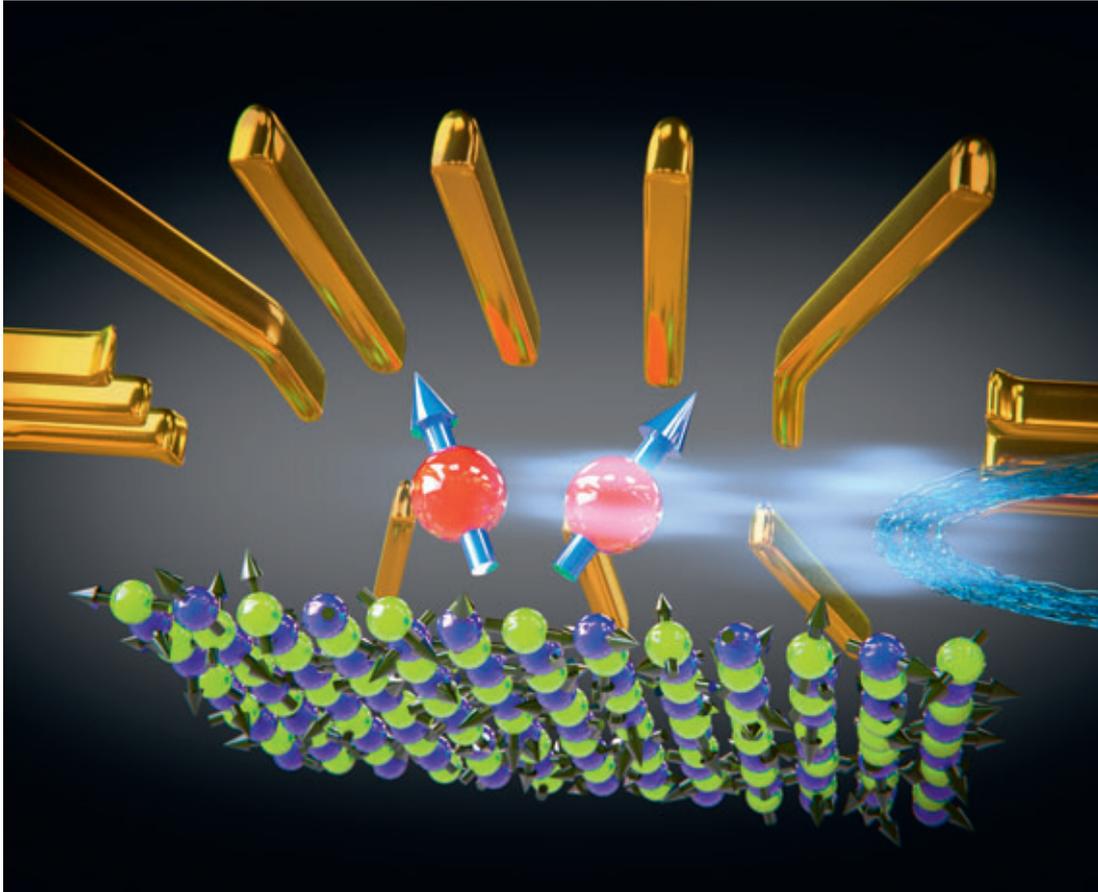
#### **Kooperation mit Industriepartner IBM**

Wir stehen in der Quantenphysik vor wichtigen Weichenstellungen, die den strategischen Schwerpunkt der Universität Basel weiter stärken werden. Dazu gehört die Teilnahme am milliardenschweren EU-Flagship-Projekt zu Quantentechnologien, das im kommenden Jahr starten soll. Zurzeit bewerben wir uns beim Schweizerischen Nationalfonds um einen Nationalen Forschungsschwerpunkt zum Quantencomputing unter Basler Leitung. In diesem Forschungscluster wollen wir gemeinsam mit dem Industriepartner IBM und weiteren Partneruniversitäten Silizium-Qubits auf der Grundlage von Elektronenspins bauen. In zwölf Jahren – so das ambitionierte Ziel – wollen wir eine Anordnung von fünfzehn Qubits unter voller Kontrolle haben. Das ist dann noch kein Quantencomputer, aber es ist ein Blueprint für einen Quantenchip.

Die ersten Konzepte für einen Quantencomputer sind seinerzeit in Europa entstanden. Auf dieser Basis haben wir heute die Chance, die Grundlagen für ein neues Silicon Valley zu legen. Die Forschung am Quantencomputer ist ein Investment in eine Zukunftstechnologie und damit in das industrielle Fundament der Schweiz. In unseren Laboren wächst zudem eine Generation von Fachleuten heran, die diese Zukunftstechnologie verstehen, handhaben und vermitteln können. Nur mit ihnen kann es gelingen, die zweite Revolution der Quantenphysik für die Gesellschaft fruchtbar zu machen. ■

**«Heute haben wir die Chance, die Grundlagen für ein neues Silicon Valley zu legen.»**

**Dominik Zumbühl**



Modell des Basler Qubits: In einem Quantenpunkt sind zwei einzelne Elektronen (rot) gefangen, deren Spinzustände (Pfeile) die Informationseinheiten (Qubits) bilden. Kontakte aus Gold erlauben, die Elektronen mit elektrischen Feldern in Schach zu halten. Die Struktur ist rund einen halben Mikrometer gross und in ein Halbleitermaterial eingebettet – hier aus Gallium- und Arsen-Atomen (grün/violett). Ein angrenzender Sensor dient der Messung der Spins.

# Qubits – Bausteine des Quantencomputers.

Ein Qubit kann ein Bit Information speichern – die kleinstmögliche digitale Informationsmenge. Es ist der elementare Baustein eines künftigen Quantencomputers. Qubits aus Halbleitermaterialien, wie sie in Basel erforscht werden, zählen zu den aussichtsreichsten Kandidaten.

Text: Benedikt Vogel

**W**ie herkömmliche Computer verarbeiten und speichern auch Quantencomputer Informationen digital: Informationen werden in einem System kodiert, das nur aus zwei Zeichen (0 und 1) besteht. Diese Zeichen enthalten jeweils ein Bit Information, und diese lässt sich mit jedem technischen System speichern, das man ein- und ausschalten kann. In Computern wird ein Bit gespeichert in einem schaltbaren Stromkreis, der entweder eingeschaltet (ON = 1) oder ausgeschaltet (OFF = 0) ist. Computer zerlegen komplexe Informationen wie Zahlen und Texte in Bits und verarbeiten diese durch sehr viele, sehr schnelle Ein-Aus-Schaltvorgänge.

## ON und OFF gleichzeitig

Auch ein zukünftiger Quantencomputer zerlegt komplexe Informationen in Bits. Er verwendet zu ihrer Verarbeitung und Speicherung aber nicht schaltbare Stromkreise, sondern ein quantenphysikalisches System, das die Zustände ON und OFF annehmen kann. Während der schaltbare Stromkreis entweder ON oder OFF ist, existieren im quantenphysikalischen System die Zustände ON und OFF gleichzeitig – auch wenn dies unserer Alltagserfahrung widerspricht. Für ein solches System, das sich durch die Überlagerung (Superposition) von zwei Zuständen auszeichnet, hat sich der Name Quantenbit (Qubit) eingebürgert.

Doch man darf sich von der schicken Bezeichnung nicht blenden lassen: Auch ein Qubit enthält für sich genommen nur ein Bit Information, genauso viel wie ein schaltbarer Stromkreis. Die speziellen Eigenschaften, die sich aus der Superposition erge-

ben, kann ein Qubit erst ausspielen, wenn es mit anderen Qubits in einer speziellen Art gekoppelt wird – nämlich mit der für die Quantenphysik charakteristischen Verschränkung. Erst wenn mehrere Qubits zu Gruppen (Quantenregistern) verschränkt werden, entstehen sehr leistungsfähige Systeme zur Informationsverarbeitung.

## 100 Millionen auf einem Quadratcentimeter

Die Herstellung von Qubits ist auf sehr unterschiedlichen Wegen denkbar. «In der Physik kennen wir viele Systeme, die zwei genau definierte Zustände haben und bei denen die Regeln der Quantenphysik gelten. In den letzten 20 Jahren sind denn auch unzählige Vorschläge gemacht worden, wie sich Qubits bauen lassen», sagt Daniel Loss, Physikprofessor an der Universität Basel, «die meisten sind allerdings wieder fallen gelassen worden». Denn physikalische Systeme, die als Qubits dienen sollen, müssen spezielle Eigenschaften aufweisen. Dazu gehören neben den quantenphysikalischen Eigenschaften noch einige mehr: Die Qubits müssen klein genug sein, dass man idealerweise 100 Millionen davon auf einem Plättchen von einem Quadratcentimeter Fläche unterbringt; nur so lässt sich ein handlicher Computer bauen. Auch müssen sich Qubits schnell von ON auf OFF schalten lassen und umgekehrt – idealerweise eine Milliarde Mal pro Sekunde, wie bei elektrischen Schaltkreisen in modernen Computern üblich.

Diese Anforderungen zeigen: Ein taugliches Qubit zu konstruieren ist eine Herkulesaufgabe. Auch ein Vierteljahrhundert nach den ersten Versuchen sind Wissenschaftler noch längst nicht am Ziel. Allerdings haben sie seit den Neunzigerjahren be-



**Daniel Loss**

ist Professor für Theoretische Physik an der Universität Basel. 2017 erhielt er den König-Faisal-Preis in der Sparte Wissenschaft.

trächtliche Fortschritte erzielt. Möglich wurden sie unter anderem dank eines Konzepts, das Loss mit dem US-Amerikaner David DiVincenzo 1998 publizierte. Die beiden skizzierten darin einen konkreten Weg, wie sich Qubits realisieren und zum Bau eines Quantencomputers nutzen lassen.

### Elektronenspin als Schaltelement

Die Veröffentlichung der beiden Physiker ist heute der meistzitierte wissenschaftliche Aufsatz über Quantencomputing. Er bildet die Grundlage für die Erforschung und den Bau von Qubits aus Halbleitermaterialien in Spitzenlabors von Universitäten und Industrieunternehmen weltweit. Eine führende Forschungsgruppe sind die Festkörper-Spezialisten um Loss. Ihre Grundidee: Sie wollen den Spin eines Elektrons als Qubit nutzen. Das ist eine kühne Idee – schliesslich ist ein Elektron extrem klein und sein Spin extrem schwach. Der Spin produziert wegen der Eigenrotation ein Magnetfeld, das «nach oben» oder «nach unten» zeigt, also exakt zwei Zustände hat. Zudem unterliegt der Elektronenspin den Gesetzen der Quantenphysik. Ideale Voraussetzungen also, dieses System als elementaren Baustein eines Quantencomputers zu nutzen.

Soll der Spin eines Elektrons als Qubit dienen, muss man seine Richtung jederzeit erstens zuverlässig bestimmen und zweitens umschalten können. Dies wollen die Wissenschaftler mit dem Konzept des Quantenpunkts erreichen. Ein Quantenpunkt ist – stark vereinfacht – ein (gedachtes) kugelförmiges Volumen von typischerweise einem Zehntausendstel Millimeter Durchmesser in einem Festkörper. In der Kugel ist ein freies (also nicht in einem Atom gebundenes) Elektron «eingesperrt». Der Festkörper ist schichtweise aus zwei Halbleitermaterialien (etwa Silizium und Germanium) aufgebaut und stark abgekühlt – nur ein Zehntel Kelvin über dem absoluten Nullpunkt. Das freie Elektron wird mit

elektrischen Feldern in Schach gehalten. In dieser Anordnung lässt sich der Spin des Elektrons elektrisch schalten («nach oben»/«nach unten») – und damit zur Speicherung einer kleinsten Informationseinheit (0/1) verwenden.

### Phänomenale Leistung

Vor 20 Jahren war die Realisierung eines Qubits in Form eines Quantenpunkts noch eine kühne Vision. Sie ist unterdessen in verschiedenen Materialsystemen und Anordnungen Realität geworden und wird auch von Firmen wie Intel vorangetrieben. Damit der in einem Quantenpunkt enthaltene Elektronenspin für die Datenverarbeitung eingesetzt werden kann, muss die Superposition der beiden Spin-Zustände («nach oben»/«nach unten») möglichst lange anhalten, und die Richtung des Spins muss sich sehr schnell umschalten lassen.

Forscher haben es geschafft, die Superposition während einer Millisekunde aufrechtzuerhalten und in dieser kurzen Zeit mittels elektrischer Felder eine Million Schaltvorgänge vorzunehmen. «Damit schalten Qubits mit einer Taktfrequenz im Gigahertz-Bereich, wie wir sie von modernen Computern kennen», sagt Loss: «Mit den Quantenpunkten gelingt es uns auch, mehrere Qubits zu verschränken. Das ist die Voraussetzung, um künftig eine Vielzahl davon zu einem Rechner zu kombinieren, dessen phänomenale Leistungsfähigkeit daher rührt, dass er Rechenoperationen wegen der quantenphysikalischen Eigenschaften der Qubits parallel ausführen kann.»

### Drei weitere Kandidaten

Neben Quantenpunkten aus Halbleitermaterialien werden heute drei weitere Konzepte für die Herstellung von Qubits diskutiert und erprobt: Firmen wie IBM und Google wollen Qubits aus supraleitenden Materialien fertigen, also aus Stoffen, die stark abgekühlt Strom widerstandslos leiten. Diese Qubits lassen sich relativ schnell schalten, sind aber – Stand heute – rund tausendmal grösser als Quantenpunkte aus Halbleitern.

Mehrere Forschungsgruppen wollen Qubits auf der Grundlage gefangener Ionen (etwa Kalziumionen) herstellen. Diese haben den Vorteil, dass sie nochmals hundertmal kleiner sind als Quantenpunkte. Sie lassen sich allerdings nur träge schalten und können nicht kompakt zu Qubit-Clustern verbaut werden. Dies, weil die Ionen sehr weit voneinander platziert werden müssen, damit sie sich nicht gegenseitig unkontrolliert beeinflussen. Eine vierte Gruppe sind topologische Qubits, eine Kombination aus dem Halbleiter- und dem Supraleiter-Ansatz. Das Konzept steht noch am Anfang, aber Microsoft steckt viel Geld in die entsprechende Forschung. ■

**«Mit den Quantenpunkten gelingt es uns auch, mehrere Qubits zu verschränken. Das ist die Voraussetzung, um künftig eine Vielzahl zu einem Rechner zu kombinieren.»**

Daniel Loss

# 57 Sekunden sind Weltrekord.

Der Quantencomputer, an dem Basler Physiker arbeiten, will den Elektronenspin als Träger digitaler Informationen nutzen. Dafür muss der Spin genug lange stabil gehalten werden. In Basel wurde kürzlich ein neuer Weltrekord aufgestellt.

Text: Benedikt Vogel

Im Labor an der Klingelbergstrasse in Basel: Wo früher ein Beschleuniger für Elementarteilchen stand, haben Wissenschaftler ein Experiment aufgebaut, mit dem sie Elektronen auf kleinstem Raum fixieren können. Neben zwei Heliumtanks und einem Turm aus Messgeräten ragt ein Kolben in den Raum. Er trägt an seiner Spitze einen 5 mal 5 Millimeter grossen Chip aus dem Halbleitermaterial Galliumarsenid. Damit untersuchen Forschende um Physikprofessor Dominik Zumbühl, wie ein Elektron so manipuliert werden kann, dass es sich zum Bau eines Quantencomputers eignet.

Erst kürzlich konnten die Wissenschaftler einen Weltrekord vermelden: Sie schafften das Kunststück, den Spin eines Elektrons während 57 Sekunden in einer Richtung zu halten und daran zu hindern, in die Gegenrichtung zu kippen. Damit übertrafen sie den eigenen 1-Sekunden-Rekord von 2008 bei Weitem, aber auch jenen von 30 Sekunden, den ein australisches Team im Frühjahr 2017 mit einem Silizium-Chip aufgestellt hatte. «Dieses Ergebnis ist ein Zwischenschritt auf dem langen Weg zu einem Quantencomputer», sagt Zumbühl. «Wenn wir einen solchen Hochleistungsrechner bauen wollen, müssen wir den Elektronenspin erstens stabil halten und zweitens auch gezielt steuern können.»

## Den Spin am Kippen hindern

Um die Bedeutung des neuen Weltrekords zu ermessen, muss man sich vergegenwärtigen, dass die Basler Physiker mit einem unvorstellbar kleinen Gegenstand hantieren. Das Elektron ist ein Teilchen fast ohne Ausdehnung: Hätte ein Stecknadelpfeil die Grösse unserer Sonne, fänden im Durchmesser eines menschlichen Haars immer noch mehr als 1000 Elektronen Platz. Dieser Winzling trägt eine elektrische Ladung, die wegen der Eigenrotation ein – extrem schwaches – Magnetfeld erzeugt: den Spin. Weil ein Magnetfeld stets eine Richtung hat, wird der Elektronenspin gern durch einen Pfeil veranschaulicht. Unter dem Einfluss eines von aussen angelegten Magnetfelds kann der Spin zwei Richtungen einnehmen: «nach oben» oder «nach unten». Im natürlichen Zustand tendiert der Spin dazu, vom Zustand «nach oben» auf den energetisch tieferen Zustand «nach unten» zu kippen.

Diesen Kippvorgang – Physiker sprechen von Relaxation – suchen die Wissenschaftler um Zumbühl zu verhindern oder möglichst lange zu verzögern. Denn nur solange sich der Elektronenspin in einer Richtung halten lässt, kann er als zuverlässiger Informationsträger verwendet werden. Den Forschern ist nun ein Experiment geglückt, in dem der Elektronenspin 57 Sekunden «nach oben» zeigte. Eine stabile und zweckmässige Versuchsanordnung auf kleinstem Raum zu kreie-

ren, war eine grosse Herausforderung. Das Elektron – platziert auf dem erwähnten Chip – muss dabei mit ausgeklügelten Techniken auf 60 Millikelvin – knapp über dem absoluten Nullpunkt – gekühlt werden. Während des mehrtägigen Versuchs wurden Tausende von Relaxationen gemessen – ihr Durchschnittswert betrug 57 Sekunden.

## Spinrichtung mit einem Trick bestimmt

Teil der Versuchsanordnung war ein Mechanismus, mit dem sich feststellen lässt, wie lange der Spin «nach oben» zeigt, bevor er kippt. Die Bestimmung der Spinrichtung ist sehr anspruchsvoll, denn das äusserst schwache Magnetfeld des Elektrons lässt sich nur schwer messen. Die Physiker griffen deshalb zu einem Trick: Sie bestimmten die Spinrichtung nicht über das Magnetfeld, sondern entwickelten eine Messanordnung, die sich die Ladung und das höhere Energieniveau des «Nach-oben»-Zustands zunutze macht.

Die Relaxationszeit von 57 Sekunden ist ein wissenschaftlicher Erfolg. Ob der Quantencomputer einmal Realität wird, hängt allerdings nicht mit der Relaxation, sondern mit der Kohärenz zusammen. Das ist die Dauer, während welcher der Spin zuverlässig in einer Richtung («nach oben» oder «nach unten») gehalten werden kann. Die Erforschung der Relaxation hilft den Pionieren des Quantencomputers, die Kohärenz des Elektronenspins zu nutzen. ■

# Rechnen mit Qubits.

Quantenbits, kurz Qubits, bilden die zentralen Rechen- und Speicherbausteine eines Quantencomputers. Ihre quantenmechanischen Eigenschaften ermöglichen eine neue Art des Rechnens.

## Klassisches Bit

Ein klassisches Bit hat zwei Zustände: Es kann entweder den Wert 0 oder den Wert 1 annehmen.



## Qubit

Ein Qubit hat viel mehr mögliche Zustände: Denn in der Welt der Quantenphysik ist eine Überlagerung der beiden Zustände möglich. So kann das Qubit gleichzeitig die Werte 0 und 1 annehmen sowie beliebig viele Zustände dazwischen.



## Überlagerung

Die Quantentheorie erlaubt die Überlagerung von Zuständen. Das bedeutet, dass sich ein Qubit gleichzeitig in den Zuständen 0 und 1 befinden kann. Dadurch kann ein Quantencomputer auch gleichzeitig verschiedene Berechnungen vornehmen.

Als Qubit kann zum Beispiel der Eigendrehimpuls (Spin) von Elektronen dienen. Dieser kann gleichzeitig die Zustände 0 und 1 («oben»/«unten») annehmen sowie alle weiteren Zustände, die durch die Überlagerung entstehen.

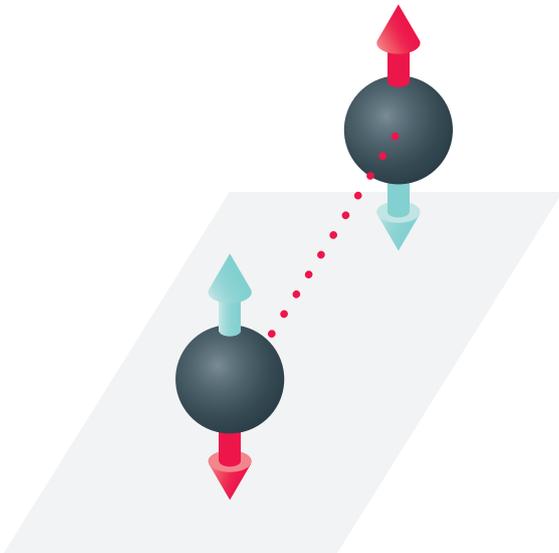
Bestimmt man den Zustand eines Qubits, geht die Überlagerung verloren und aus der Messung resultiert wieder ein klassisches Bit – eine 0 oder eine 1. Das Potenzial eines Quantencomputers entsteht erst durch die Verbindung und Verschränkung mehrerer Qubits.



## Verschränkung

Mehrere Quantenteilchen können miteinander verschränkt sein. Sie sind dann so miteinander verbunden, dass eine Änderung am einen Teilchen auch eine Änderung am anderen bewirkt – auch wenn sie weit auseinanderliegen. Die Messung eines Teilchens legt auch das Ergebnis für das andere fest. Gelingt es, zwei Qubits miteinander zu verschränken, ist ihr gemeinsamer Zustand eine Überlagerung aller Einzelzustände.

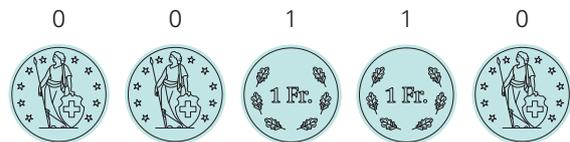
Die Zahl der Kombinationen in einem Quantenregister wächst dann exponentiell mit der Anzahl der Qubits.



## Quantenregister

Qubits lassen sich miteinander zu Registern verbinden. Durch die Verschränkung wird es möglich, grosse Mengen von Daten parallel zu verarbeiten. Dank der Überlagerung und der Verschränkung kann ein Quantencomputer eine Vielzahl möglicher Rechenschritte gleichzeitig ausführen.

Darauf beruht seine Schnelligkeit. Beispiel Schach: Statt einen Zug nach dem andern wie ein herkömmlicher Schachcomputer, würde ein Quantencomputer zugleich alle möglichen Züge berechnen.



Mit fünf klassischen Bits lässt sich zur selben Zeit nur eine von insgesamt 32 möglichen Kombinationen repräsentieren, in diesem Beispiel: 00110



Ein Quantenregister kann eine Überlagerung von allen  $2^n$ -Zuständen annehmen. Bei fünf Qubits sind bereits 32 Zustände gleichzeitig möglich:

00000 / 00001 / 00010 / 00011 / 00100 / 00101 / 00110 /  
 00111 / 01000 / 01001 / 01010 / 01011 / 01100 / 01101 /  
 01110 / 01111 / 10000 / 10001 / 10010 / 10011 / 10100 /  
 10101 / 10110 / 10111 / 11000 / 11001 / 11010 / 11011 /  
 11100 / 11101 / 11110 / 11111

Entsprechend steigt die Menge der gespeicherten Information, mit der ein Quantencomputer rechnen kann. ■

# Die wundersame Eigenschaft des Majorana-Fermions.

Künftige Quantencomputer versprechen, herkömmliche Computer um Längen zu schlagen, weil sie mit hoher Leistung parallele Rechenoperationen ausführen können. Das Problem: Noch können die quantenmechanischen Speicherbausteine, die Qubits, Information nicht lange speichern.

Text: Tim Schröder

**A**ls Speicher dient Qubits ihr Spin, also die Ausrichtung des Magnetfeldes eines Elementarteilchens wie beispielsweise des Elektrons. Dieser Spin kann bestimmte Zustände annehmen – das heisst, im Raum unterschiedlich ausgerichtet sein. Übertragen auf den Computer entsprächen verschiedene Ausrichtungen dem Zustand AN und AUS, also im binären Code der 1 und der 0.

Qubits sind heute noch ausgesprochen instabile Speicher, die sensibel auf Störungen in der Umwelt reagieren – insbesondere auf Wärme oder elektromagnetische Felder, wie sie in elektronischen Systemen auftreten. Innerhalb weniger Sekunden oder gar in Sekundenbruchteilen kann der Spin kippen, sodass die Information verloren geht.

Für den Quantenrechner der Zukunft braucht es also gewissermassen stabilere Speicherbausteine. Auf dieses Ziel hin arbeiten Forscherinnen und Forscher der Universität Basel, unter ihnen Physik-Professorin Jelena Klinovaja, eine Expertin für die Physik kondensierter Materie. Jelena Klinovaja gehört zu jenen Spezia-

listen, deren Steckpferd die Suche nach einem ganz besonderen Elementarteilchen ist, das – so die Theorie – deutlich unempfindlicher auf störende elektromagnetische Felder reagieren dürfte und damit ein vielversprechender Kandidat für den Quantencomputer der Zukunft wäre.

## Postulat eines italienischen Physikers

Konkret gemeint ist das Majorana-Fermion, ein Elementarteilchen, das vor mehr als 70 Jahren der italienische Physiker Ettore Majorana aufgrund theoretischer Berechnungen postuliert hatte. Im Detail geht es beim Majorana-Fermion, wie so oft in der Physik, um zwei Gegenspieler: ein Elementarteilchen und sein Antiteilchen. Beispiele für solche Paare gibt es zur Genüge, das Proton und das Antiproton etwa oder das Elektron und das Positron. Allen Paaren ist gemein, dass die Partner recht ähnliche Eigenschaften haben, aber auch, dass es stets irgendeinen wesentlichen Unterschied gibt. Anders beim Majorana-Fermion. Aufgrund theoretischer Überlegungen kam

Ettore Majorana zu dem Schluss, dass es Materieteilchen geben müsse, die zugleich ihr Antiteilchen sind.

Diese exotischen Teilchen haben zudem eine beinahe wundersame Eigenschaft: Tauscht man zwei solche identische Teilchen durch eine Drehung umeinander aus, kann diese Veränderung als Speicher für die Quanteninformation genutzt werden. Da dieser Austausch nicht von einem speziellen Weg abhängig ist, nennt man diese Art von Qubits oft auch «topologisch». Dabei steht der Begriff «topologisch» dafür, dass eine Eigenschaft unabhängig von der Art der Veränderung – im konkreten Fall dem Austausch und dem dabei beschriebenen Weg – erhalten bleibt.

## Nachweis von Majorana-Zuständen

Tatsächlich gelang es vor wenigen Jahren einem niederländischen Forscherteam in einem komplizierten Versuchsaufbau, erstmals sichere Anzeichen für die Existenz von Teilchen mit Majorana-Eigenschaften zu messen. Sie befestigten einen Nanodraht aus Halbleitermaterial

auf einem Supraleiter und veränderten die Magnetfelder und Spannungen in dem System so, dass an den Enden des Nanodrahts Signale messbar wurden, die theoretisch denen von Majorana-Teilchen entsprachen. Dieses Prinzip wurde weltweit von mehreren Arbeitsgruppen perfektioniert – so auch von Jelena Klinovaja und anderen Forschenden der Universität Basel.

Um die exotischen Majorana-Teilchen überhaupt nachweisen zu können, kommt es vor allem darauf an, sehr reine Materialien für die Experimente zu synthetisieren. «Ich bin Theoretikerin», betont Jelena Klinovaja. «In meiner Arbeitsgruppe konzentrieren wir uns darauf, Materialsysteme zu entwickeln, mit denen sich mit hoher Wahrscheinlichkeit quantenmechanische Zustände erzeugen lassen, die denen eines Majorana-Fermions oder noch exotischeren Teilchen – den sogenannten Parafermionen – entsprechen.»

Die theoretischen Überlegungen gehen dann in die praktische Arbeit anderer Arbeitsgruppen an der Universität Basel ein, die diese nutzen, um massgeschneiderte Halbleiter- und Supraleiteroberflächen zu erzeugen. «Das ist das wirklich Tolle an der Arbeit in Basel – Theorie und Experiment finden hier Tür an Tür statt», sagt Jelena Klinovaja. «Unsere theoretischen Überlegungen können direkt praktisch umgesetzt werden.»

#### Störungen genauer verstehen

Jelena Klinovajas Arbeit erinnert ein wenig an die Erforschung eines Gegenstands, von dem nur der Schatten sichtbar ist: Das Teilchen konnte sie noch nicht fas-

sen, wohl aber seinen elektromagnetischen Schatten – seine Eigenschaften. Was ihre Arbeit so schwer macht, ist die Tatsache, dass sie quasi die Nadel im Heuhaufen sucht. Majorana-Zustände treten nur in extrem geringer Zahl auf. «Es ist fast so, als würden wir mit einem System arbeiten, das so gross wie die Erde ist, aber wir müssen eine einzige Person finden», sagt die Forscherin. Hinzu kommen weitere Herausforderungen: Majorana-Zustände sind verglichen mit anderen Elementarteilchen zwar robuster, was sie zum vielversprechenden Qubit-Speicher künftiger Quantencomputer macht. «Unsere theoretischen Überlegen zeigen aber auch, dass es andere Störgrössen in der Umwelt gibt, welche auch die Majorana-Teilchen beeinflussen.»

Bevor ein Einsatz im Quantencomputer in greifbare Nähe rückt, müssen diese Störgrössen genauer verstanden sein. Jelena Klinovaja will diese Effekte auf die Majorana-Teilchen und auch Parafermionen daher künftig genauer untersuchen. Ein fast geisterhafter Forschungsansatz: Majorana-Zustände konnten noch nicht hundertprozentig nachgewiesen werden, Klinovaja und ihre Kollegen wollen aber trotzdem die Eigenschaften der Majorana-Fermionen erforschen. Das ist fast so, als versuchten sie anhand eines unscharfen Schattens die Eigenschaften und Schwachstellen des entsprechenden Gegenstands zu ergründen – eine enorme Herausforderung. Dass Klinovaja soeben mit einem angesehenen ERC-Starting-Grant ausgezeichnet wurde, um diese Forschung voranzutreiben, unterstreicht die Bedeutung ihrer Arbeit auf diesem hochkompetitiven Gebiet. ■



**Jelena Klinovaja**

ist Assistenzprofessorin für Physik an der Universität Basel. Im September sprach ihr der Europäische Forschungsrat einen ERC-Starting-Grant zu, der ihre Forschung mit 1,2 Millionen Euro fördert.

**«Das ist das wirklich Tolle an der Arbeit in Basel – Theorie und Experiment finden hier Tür an Tür statt.»**

Jelena Klinovaja

# Silizium für den Superrechner.

Silizium-Chips bilden die Grundlage heutiger Computer. Basler Forscher sind überzeugt, dass dieses bewährte Material auch eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung leistungsstarker Quantencomputer spielen wird.

Text: Leonid Leiva

**Q**uantencomputer sollen eines Tages Rechenaufgaben lösen, die für unsere heutigen Rechner schlicht unbezwingbar sind. Doch noch ist nicht klar, wie ein solcher Superrechner aussehen wird. Offen ist zum Beispiel, aus welchem Material die informationstragenden Quantenbits (kurz: Qubits) bestehen werden. Qubits aus supraleitenden Ringen oder aus mit Laserlicht in der Schwebe gehaltenen geladenen Atomen (Ionen) haben bisher einen deutlichen Entwicklungsvorsprung. Sie weisen aber ein grundlegendes Manko auf: Möchte man aus ihnen praxistaugliche Rechner mit Millionen von Bits bauen, würde die Maschine viel zu gross werden. «Die begrenzte Skalierbarkeit ist ein Problem, das diese Ansätze zum Scheitern verurteilen könnte», sagt der Physiker Prof. Richard Warburton.

Warburton und sein Team an der Universität Basel wollen deshalb einen anderen, in klassischen Computern bereits bewährten Pfad beschreiten. Sie setzen auf Silizium als Material für die Realisierung von Qubits. Was sie dazu ermutigt: Sowohl jüngste wissenschaftliche Fortschritte als auch das zunehmende Interesse wichtiger Firmen lässt den Halbleiter als realistische Option auch für Quantenrechner erscheinen. «Der Zeitpunkt scheint genau richtig zu sein», sagt Warburton. Er verweist darauf, dass der global führende Computerchip-Hersteller Intel seit 2015 gemeinsam mit niederländischen Forschern an der Entwicklung von Silizium-Qubits arbeitet und dabei rund 50 Millionen Franken investiert.

Für Silizium bestehen ausgereifte Fertigungsverfahren; mit keinem anderen Werkstoff hat die Computerindustrie so viel Erfahrung. Silizium-Chips haben sich über Jahrzehnte rasant entwickelt – ganz entsprechend der einstigen Vorhersage von Intel-Gründer Gordon Moore, wonach sich die Anzahl Transisto-



**Richard Warburton** ist Professor für Experimentelle Physik der Kondensierten Materie.

ren pro Flächeneinheit auf dem Chip alle 18 Monate verdoppeln wird. Die heute erreichte Informationsdichte ist nur möglich, wenn der Abstand zwischen den einzelnen Bits einige 10 bis 100 Nanometer (milliardstel Meter) beträgt. Das erfordert hochpräzise Fabrikationsmethoden. Deshalb wollen Warburton und seine Mitstreiter zum Bau der Silizium-Qubits mit der Firma IBM einen Partner mit umfassender Expertise in Sachen Nanofabrikation mit ins Boot holen.

## Silizium hinkt noch hinterher

Experimente mit Silizium als Material für Spin-Qubits hatten einen relativ späten Auftritt auf der Bühne der Quantencomputer-Forschung. Der Elektronenspin in einem Kristall aus Siliziumatomen ist ein sehr fragiler Informationsträger. Den Spin, das magnetische Moment des Elektrons, kann man sich vereinfacht als eine Kompassnadel vorstellen, die das Elektron mit sich trägt. Das Problem bei Silizium ist, dass einige Atomkerne – nämlich die des Isotops Silizium-29 – einen eigenen Spin aufweisen. Diese Kernspins wirken auf die Elektronenspins. Die Störung kann umgangen werden, indem das Silizium-29 entfernt wird.

Warburtons Qubits werden deshalb aus hochreinem Silizium bestehen. Er setzt dabei auf sogenannte Quantenpunkte, nanometerkleine Strukturen, in denen die Bewegungen eines Elektrons stark eingeschränkt sind. Aufgrund der räumlichen Enge verhält sich das Elektron im Quantenpunkt ungefähr so, als ob es an ein Atom gebunden wäre. Quantenpunkte werden auch «künstliche Atome» genannt, weil in ihnen die Elektronen nur bestimmte Zustände einnehmen. Das erleichtert die Kontrolle über die in den Elektronen codierte Information.

Damit ein Quantencomputer funktioniert, braucht es zudem die Verschränkung mehrerer Qubits. Dieses quantenmechanische Phänomen bedeutet, dass die Veränderung oder Messung des Zustands eines Qubits eine sofortige Veränderung der damit verschränkten Qubits bewirkt. Verschränkung heisst also, dass zwei oder mehrere Qubits so eng miteinander gekoppelt sind, dass man ein Qubit nicht stören kann, ohne seine Verschränkungspartner ebenfalls zu verändern. Diese Kopplung zu erzeugen und aufrecht zu erhalten, ist jedoch alles andere als einfach.

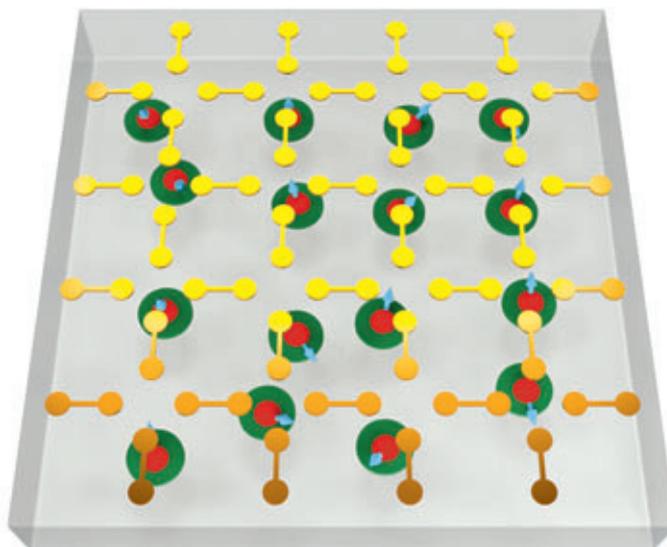
### Verbindung über «Doppelpaddel»

Elektronenspins können direkt über ihre Magnetfelder miteinander verschränkt werden. Das geht aber nur, wenn sie sehr nahe beieinanderliegen. Denn die Kräfte der Elektronenspins werden bereits bei kurzen Distanzen sehr schwach. Die eng nebeneinanderliegenden Qubits würden aber ein Problem schaffen: Es bliebe kein Platz auf den Chips für nötige Leitungen und Schalter. Die Lösung bieten weiter auseinanderliegende Qubits. Um diese miteinander zu koppeln, wäre aber die direkte Wechselwirkung unter den Elektronenspins zu schwach. Als Alternative, um die Qubits miteinander zu verschränken, können elektrostatische Kräfte genutzt werden. Das ist der Ansatz, den die Basler Forscher um Richard Warburton verwenden wollen. Die Idee, 2012 von einem Team um den ebenfalls in Basel tätigen Physiker Daniel Loss vorgeschlagen, macht sich ein sogenanntes

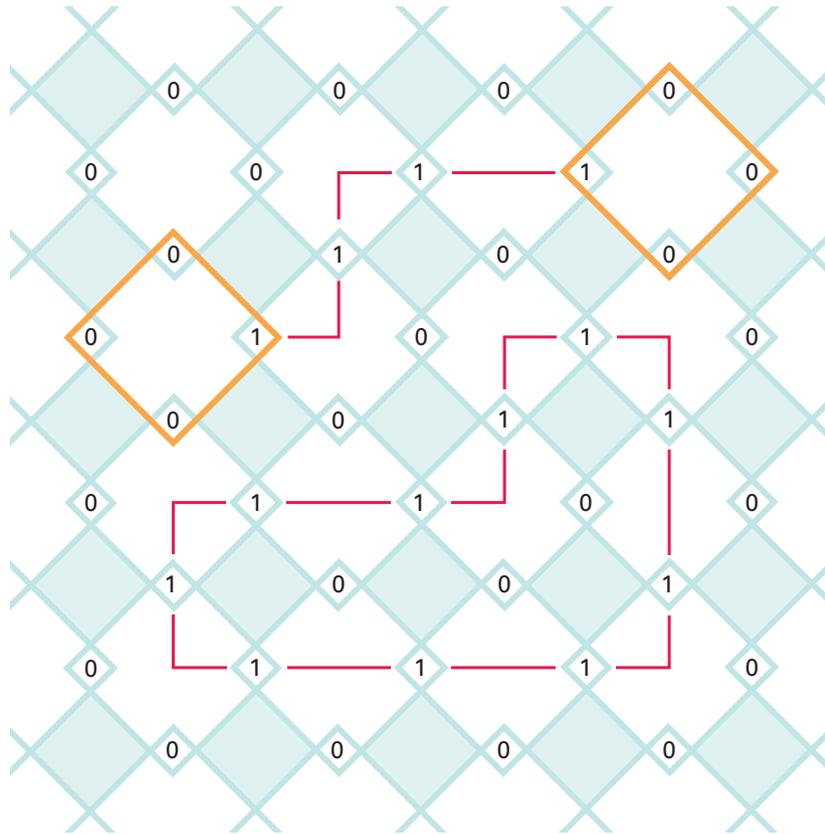
Floating Gate zunutze. Das ist nichts anderes als ein speziell geformter metallischer Draht, der wie ein Doppelpaddel aussieht. Über das Floating Gate – so der Grundgedanke – lassen sich die Spins der beiden Elektronen verschränken und Silizium-Qubits realisieren.

### Schritt zur Miniaturisierung

Mit der elektrischen Steuerung und Verschränkung der Qubits ist Warburton überzeugt, das bisher grösste Hemmnis in der Entwicklung des Quantencomputers aus dem Weg räumen zu können – nämlich das Problem der Aufskalierung. Funktionierende Quantencomputer gibt es bereits heute, aber diese ersten Exemplare weisen nur ein Dutzend miteinander verschränkte Qubits auf. Um Quantenrechner zu realisieren, die wirklich einen wesentlichen Fortschritt bedeuten, muss die Anzahl Qubits um Grössenordnungen wachsen. Mit den Floating Gates rückt diese Möglichkeit näher. Das von Richard Warburton geplante Forschungsvorhaben an der Universität Basel soll unter anderem den Beweis erbringen, dass diese Art elektrostatischer Kopplung von Spin-Qubits technisch umsetzbar ist. «Wenn uns die genau kontrollierte Verschränkung zweier Qubits in Silizium gelingt, wäre das ein grosser Schritt in Richtung eines stark miniaturisierten, leistungsstarken Quantencomputers mit Millionen verschränkter Qubits», sagt Warburton. ■



Verschränkung von Qubits: Mittels eines «schwebenden Gatters» (Doppelpaddel) lassen sich die darunterliegenden Elektronenspins (rote Punkte) gezielt miteinander verbinden – und auch wieder voneinander trennen.



Beispiel für einen Surface Code: Auf einer gedachten Oberfläche befindet sich eine Art Parkett aus Quadraten, an deren Ecken physikalische Qubits sitzen, zum Beispiel Elektronen. Sie sind hier in den Zuständen 1 und 0 so angeordnet, dass jedes Quadrat eine gerade Anzahl von Einsen enthalten soll, Abweichungen sind Fehler. Dieses Muster erlaubt Schleifen (rot), aber keine Linien aus Einsen. Taucht eine Linie auf, dann müssen die Werte der Qubits 1 oder 0 falsch sein, die darauf liegen. Man kann aber Endpunkte für solche Linien finden, diese bestehen aus Quadraten (orange, oben), die jeweils einen Fehler enthalten. Indem man diese zu Schleifen zusammenführt (Beispiel rot, unten), kann man die Fehler entfernen.

# Rechnen in einer Welt voller Störungen.

Quanteninformation ist extrem empfindlich und kann durch minimale Einflüsse gestört werden. Für die Fehlerkorrektur benötigt ein Quantencomputer ausgeklügelte Reparaturmechanismen. Wie diese aussehen könnten, veranschaulicht ein Ausflug in die Gedankenwelt des Physikers James Wootton.

Text: Roland Wengenmayr

**Q**uanteninformation ermöglicht Algorithmen, die komplexe Aufgaben lösen können, an denen herkömmliche Computer scheitern. Die Rechenkraft von Quantencomputern beruht auf einer geschickten Überlagerung der Quantenzustände von Qubits. Während der Computer seine quantenlogischen Operationen durchführt, sind die Qubits zeitweilig miteinander verschränkt. Dieser besondere Quantenzustand ist besonders anfällig für Störungen. Sobald er kollabiert, ist der Mehrwert der Quanteninformation verloren.

Eine Störung stellt allein schon das gewollte Auslesen von Quanteninformation im Zuge einer Messung dar. Zu Störungen führen aber auch äussere physikalische Einflüsse auf das Quantensystem, und unsere Welt ist voll davon. In der Mikrowelt ist es zum Beispiel die allgegenwärtige Wärmeenergie, die selbst bei tiefen Temperaturen an den physikalischen Trägern der Quanteninformation – zum Beispiel Elektronenspins – permanent rüttelt. Auch das Erdmagnetfeld kann eine Quanteninformation zerstören, da Spins ja nichts anderes sind als kleine Magnete, erklärt James Wootton, theoretischer Physiker an der Universität Basel. Wootton gebraucht dafür das Bild von Gremlins: Kleine Monster greifen von überall die hochsensible Welt der Quanteninformation an.

## Verfahren zur Fehlererkennung

James Wootton erforscht neue Methoden, die erlauben, Quanteninformation sicher gegen Störungen zu verpacken. Ein Quantencomputer muss in der Lage

sein, in einer Art permanenter Selbstdiagnose Fehler zu erkennen. Je nach Verfahren repariert er diese Fehler sofort oder er verfolgt sie über die Rechenoperation hinweg und korrigiert sie am Schluss aus dem Ergebnis heraus. Diagnosen und Korrekturen müssen subtil geschehen, denn die eigentliche Quanteninformation darf niemals gelesen werden, während der Computer noch rechnet. Das Lesen entspräche einer Messung und würde die für die weitere Informationsverarbeitung genutzten Quanteneigenschaften vernichten.

Man kann sich das Verfahren wie einen Briefumschlag vorstellen, den man ungeöffnet gegen Licht hält, um herauszufinden, ob auch ein Brief drinsteckt. Lesen darf man diesen aber nicht. Das trickreiche Korrekturverfahren geht noch weiter: Es soll sogar falsche oder verloren gegangene Buchstaben erkennen und ersetzen können – und dies wiederum, ohne dabei den Text zu lesen.

## Physikalische und logische Qubits

Das Verfahren zur Fehlererkennung und -behebung heisst Surface Code. Der Surface Code verpackt die Quanteninformation so, dass sie gegen Störungen weitgehend geschützt ist. Zudem bietet er Diagnosemöglichkeiten, um Fehler in den Qubits erkennen und korrigieren zu können, ohne die eigentliche Quanteninformation anzutasten. Dazu werden die Qubits in zwei Sorten aufgeteilt. Die Basis bildet eine Vielzahl von physikalischen Qubits. Diese heissen physikalisch, weil jedes Qubit Quanteneigenschaften eines echten Teilchens nutzt – zum Beispiel den Spin



**James Wootton** ist theoretischer Physiker und forscht als Postdoc an der Universität Basel.

eines Elektrons. Sie bilden sozusagen die Hardware und sind auf einer Oberfläche – daher der Name Surface Code – in einem regelmässigen Parkettmuster angeordnet, beispielsweise an den Ecken der Quadrate eines Schachbrettmusters (siehe Grafik). Auch andere Muster sind möglich.

Die physikalischen Qubits sind in der Lage, ihre Wechselwirkungen untereinander zu kontrollieren, ohne die eigentliche Quanteninformation zu lesen. Diese steckt in logischen Qubits, die – gewissermaßen als encodierte Software-Teilchen – über das Parkett der physikalischen Qubits verteilt sind. Die logischen Qubits können sich durch gezielte Manipulation der physikalischen Qubits bewegen und Operationen ausführen. Bei den Korrekturzyklen werden sie vom Surface Code nicht direkt gelesen. Wegen der breiten Verteilung der logischen Qubits über viele physikalische Qubits hinweg wirken sich lokale Fehler nicht so störend aus – ungefähr so wie ein kleiner Webfehler in einem Teppichmuster nicht auffällt.

**«Man kann sich das Verfahren wie einen Briefumschlag vorstellen, den man ungeöffnet gegen Licht hält, um herauszufinden, ob auch ein Brief drinsteckt. Lesen darf man diesen aber nicht.»**

James Wootton

### Information stabil halten

Wie kann man die Quanteninformation möglichst stabil in logische Qubits verpacken? Wootton betrachtet den Surface Code in seinen theoretischen Überlegungen als zweidimensionale Welt, die er mit exotischen Teilchen besiedeln kann. Seine Lieblingsteilchen heissen Anyonen. Dies sind keine echten Teilchen, sondern werden als Quasiteilchen vom Kollektiv der physikalischen Qubits hervorgebracht. Anyonen sind zugleich ihre eigenen Antiteilchen. Deshalb kann Wootton Anyonen-Paare auf seinem 2-D-Spielfeld aus dem Nichts entstehen und wieder verschwinden lassen. Mehr noch: Schiebt er eines der beiden Anyonen über einen Rand des Spielfelds, sozusagen auf die Auswechselbank, dann muss dessen auf dem Spielfeld verbliebener Partner stabil überleben. Das erfordern die Regeln der Quantenphysik. So werden Anyonen zu stabilen Transportern für logische Quantenbits.

Anyonen können in der zweidimensionalen Welt zudem Dinge tun, die in 3-D unmöglich sind. Wenn eines ein anderes in einer Schleife umkurvt, so verändert sich das Anyon in der Schleife. Damit können Anyonen quantenlogische Operationen ausführen. Quantenphysiker sprechen von «braiding» (flechten). Da die Anyonen immer von mehreren physikalischen Qubits zusammen getragen werden, ist die Quanteninformation wesentlich stabiler verpackt, als dies in einem einzigen physikalischen Qubit der Fall wäre. Ebenso wirken die Regeln für die Anyonen stabilisierend. Die quantenlogischen Operationen kann man sich zudem wieder wie verschiedene Teppichmuster vorstellen, in denen «Webfehler» erkennbar sind. Der Quantencomputer kann sie – je nach Algorithmus – sofort korrigieren oder mitprotokollieren, ohne die Quanteninformation selbst zu lesen.

Experimente werden in Zukunft beweisen müssen, ob die theoretischen Konzepte von James Wootton realisierbar sind. Noch ist das Zukunftsmusik. Die derzeit am besten kontrollierbaren Experimente mit verschränkten Qubits benutzen Ionen, also elektrisch geladene Atome, die wie Abacus-Kugeln aufgereiht in speziellen Fallen schweben. Zunächst muss der Forschung an Quantencomputern der technologische Sprung von einer Dimension in zwei Dimensionen gelingen. Erst dann werden Versuche mit Surface-Code-Fehlerkorrekturen möglich. ■

# Quantensensoren revolutionieren die Mikroskopie.

Während der Einsatz von Quantencomputern noch in der Zukunft liegt, sind quantenbasierte Sensoren bereits Realität. Basler Physiker haben extrem empfindliche Messinstrumente entwickelt, die eine Abbildung in bisher unerreichter Auflösung ermöglichen.

Text: Christel Möller



**Patrick Maletinsky** ist Georg-H.-Endress-Stiftungsprofessor für Experimentalphysik am Departement Physik der Universität Basel.



**Martino Poggio** ist Argovia-Professor am Departement Physik und Swiss Nanoscience Institute der Universität Basel.

**M**artino Poggio und sein Team nutzen in ihrer Forschung die besonderen Eigenschaften von Nanodrähten, um neuartige Sensoren zu entwickeln, die elektrische Felder, Kräfte, Ladungen und Spins messen können. Nanodrähte sind extrem dünne, langgestreckte Kristalle, die ein fast fehlerfreies Kristallgitter aufweisen. Sie sind mit einem Durchmesser von etwa 100 Nanometern fast tausendmal dünner als ein menschliches Haar, haben je nach Anwendung unterschiedliche Formen und Grössen, besitzen eine sehr geringe Masse und im Verhältnis zum Volumen eine enorm grosse Oberfläche. Neben Nanodrähten, die aus soliden Materialblöcken herausgeätzt oder -gefräst werden, arbeitet Martino Poggio auch mit Drähten, die sich selbst aus ihren molekularen Bausteinen aufbauen.

## Nanodrähte für verschiedene Anwendungen

Diese sich selbst aufbauenden Nanodrähte können dank einer besonderen Geometrie beispielsweise in der Rasterkraftmikroskopie eingesetzt werden, um sowohl die Grösse als auch die Richtung von elektrischen Feldern zu bestimmen. Aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften vibrieren die Nanodrähte beim Abtasten der Oberfläche entlang zweier senkrecht zueinanderstehender Achsen mit etwa derselben Frequenz. Wenn nun ein elektrisches Feld auf den Sensor wirkt, verändert dies die Vibration der beiden Achsen. Das im Poggio-Team entwickelte Rasterkraftmikroskop ist in der Lage, die senkrecht zueinander laufenden Richtungen zu beobachten und so aus den Vibrationsänderungen ein genaues Kräftebild einer Probe zu erstellen.

Bei einem anderen Typ von Nanodrähten integrieren die Physiker ganz gezielt Quantenpunkte, die aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu Atomen auch «künstliche Atome» genannt werden. Mit einer Ausdehnung von 10 bis 100 Nanometern sind die Quantenpunkte deutlich grösser als natürliche Atome und besitzen eine regulierbare Anzahl von Elektronen, die in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt sind. Durch einen Laser angeregt, senden die Quantenpunkte einzelne Lichtteilchen (Photonen) ähnlicher Wellenlänge aus. Wird der Nanodraht durch Wärme oder ein elektrisches Feld in Schwingung versetzt, verändert sich aufgrund der entstehenden mechanischen Spannung im Quantenpunkt die Wellenlänge des ausgesendeten Lichts. «Aus der gemessenen Wellenlänge können wir dann die Bewegung und Position des Nanodrahtes mit einer bisher nicht erreichten Empfindlichkeit von nur 100 Femtometern bestimmen», berichtet Martino Poggio. Zum Vergleich: Ein Femtometer entspricht  $10^{15}$  Metern oder dem Billiardstiel Teil eines Meters.

Mit den sensiblen Sensoren aus dem Labor des Argovia-Professors lassen sich heute bereits kleinste elektrische und magnetische Felder analysieren. Denkbar ist auch, mehrere Quantenpunkte auf einem Nanodraht zu platzieren, über Bewegung miteinander zu verbinden und so Quanteninformation weiterzugeben.

## Diamanten mit Fehlstellen

Wie sein Kollege untersucht auch Patrick Maletinsky eine Nanostruktur, in der einzelne Elektronen «gefangen» sind und die als quantenbasierter Sensor

## «Wir nutzen die Sensoren vor allem, um neuartige Materialien und ihre magnetischen Eigenschaften zu untersuchen.»

Patrick Maletinsky

eingesetzt werden kann. Er verwendet dazu besondere Diamanten, die in ihrem Kristallgitter natürliche Defekte aufweisen. An zwei benachbarten Positionen im Diamant-Kristallgitter ist ein Kohlenstoffatom durch ein Stickstoffatom ersetzt worden und in unmittelbarer Nachbarschaft befindet sich eine Leerstelle. In solch einer Fehlstelle, auch Stickstoff-Vakanz-Zentrum (NV-Zentrum) genannt, kreisen einzelne Elektronen, die sich anregen und manipulieren lassen.

Das Maletinsky-Team integriert einzelne solcher NV-Zentren in nur wenige 100 Nanometer grosse, aus Diamant gefertigte Spitzen von Rasterkraftmikroskopen. Durch äussere elektrische oder magnetische Felder angeregt, kommt es zu einer Änderung des Elektronenspins der freien Elektronen in den NV-Zentren. Mittels einer eleganten optischen Messmethode ermitteln die Wissenschaftler diese Spinänderung und erhalten so ein Bild des einwirkenden Feldes mit einer Auflösung von nur wenigen Nanometern.

«Wir nutzen die Sensoren vor allem, um neuartige Materialien und ihre magnetischen Eigenschaften zu untersuchen», kommentiert Patrick Maletinsky. Dank des quantenbasierten Messprinzips konnte er die Empfindlichkeit der Messungen gegenüber herkömmlichen Methoden um ein bis zwei Grössenordnungen verbessern und ist nun in der Lage, bisher unsichtbare magnetische Felder abzubilden. Die Diamantsensoren lassen sich sowohl bei Raumtemperatur als auch bei extrem tiefen Temperaturen einsetzen. Dies ist beispielsweise für die Untersuchung von supraleitenden Materialien wichtig,

da sie ihre besonderen Eigenschaften erst bei etwa  $-200\text{ °C}$  entfalten. Auch biologische Proben lassen sich mit diesen Sensoren analysieren, da die Diamanten keine Wechselwirkungen mit biologischem Material eingehen und bei Raumtemperatur verwendet werden können.

### Mit Quantensensoren auf den Markt

Um die vielfältig einsetzbaren Diamantsensoren auch für andere Forschungsgruppen und Anwender verfügbar zu machen, hat Patrick Maletinsky zusammen mit Mathieu Munsch, einem ehemaligen Postdoc am Departement Physik, das Unternehmen Qnami gegründet. «Qnami produziert die hochempfindlichen Sensoren, berät Kunden aus Forschung und Industrie und geht auf individuelle Wünsche ein», beschreibt Maletinsky sein Start-up. Geplant ist auch die Entwicklung eines kompletten, mit Diamantsonden ausgestatteten Rasterkraftmikroskops, was den potenziellen Kundenkreis noch deutlich erweitern wird.

Die Entwicklung von Sensoren, die auf den Gesetzen der Quantenmechanik basieren, ist durch das bessere Verständnis der Quantenwelt erst möglich geworden. Die neuen Sensoren werden die Mikroskopie revolutionieren, Türen für weitere spannende Anwendungen öffnen und auch die Entwicklung des Quantencomputers unterstützen. ■



Die aus Diamant gefertigte Spitze eines Rasterkraftmikroskops: In der Diamantspitze verändert sich der Spin (Pfeil) von frei kreisenden Elektronen, wenn sie einem magnetischen oder elektrischen Feld ausgesetzt sind. Die Elektronen werden zur Aussendung eines Lichtsignals angeregt, das ausgelesen werden kann. Mit diesem Quantensensor lassen sich präzise Bilder im Nanometermassstab erstellen.

# Labor für höchste Qualitätsstandards.

Für Arzneimittel und Präparate, die für die Anwendung am Menschen bestimmt sind, gelten besonders strenge Vorschriften.

Das Departement Biomedizin betreibt einen Reinraum, der dem Regelwerk der «Good Manufacturing Practice» genügt. Dort produzieren Forschende künstliche Gewebe und Impfstoffe für Immuntherapien.

Foto:  
Basile Bornand

**Paul Zajac** zu sehen in der Bildmitte, ist Privatdozent für Experimentelle Medizin. Am Departement Biomedizin forscht er an Impfstoffen gegen Krebs.

- 1 Die Reinraumanlage ist in verschiedene Hygienezonen unterteilt. Vorbereitende Arbeiten werden in einem abgetrennten Bereich durchgeführt, wo sich auch Brut- und Kühlschränke befinden. Nach jedem Arbeitsschritt erfolgt eine Reinigung oder eine Desinfektion.
- 2 Durch eine Schleuse gelangen Produkte und Materialien in den hochsterilen Bereich. Wer hier arbeitet, trägt sterile Kleider und muss zuvor ein spezielles Training absolviert haben.
- 3 Die Sicherheitswerkbank bildet den Bereich der höchsten Reinheitsstufe. Hier werden die medizinischen Produkte hergestellt und abgefüllt – hier zum Beispiel werden Zellen für die Herstellung von therapeutischen Impfungen gewonnen.
- 4 Ein Partikelzähler misst, ob die zulässige Anzahl von Partikeln in der Luft überschritten wird. Zusätzlich schützen Filter und eine Frontklappe aus Glas vor einer Kontamination.
- 5 Weitere Sensoren überwachen Temperatur, Druck und Feuchtigkeit, aber auch Gerätefunktionen und Luftströme.
- 6 Zwischen den verschiedenen Hygienezonen herrscht eine Druckdifferenz. Sie sorgt dafür, dass die Luft ausschliesslich aus einem reinen in einen weniger reinen Bereich gelangt. Die Steuerung von Zu- und Abluft erzeugt einen konstanten Überdruck.
- 7 Werden die zulässigen Werte überschritten, schlägt ein Warnsystem Alarm.





# Wie genau ist die Wissenschaft?

Um die Welt präzise abzubilden, unterscheiden sich die Geistes- von den Naturwissenschaften grundsätzlich. Auch mit dem Problem ungenauer Befunde gehen sie verschieden um.

**W**er Geschichte studiert, erfährt schon im ersten Semester, dass es so etwas wie objektive Fakten nicht gibt, denn wir nehmen die Vergangenheit immer höchst selektiv wahr. Vieles, was geschehen ist, wird erst gar nicht überliefert, und die Art und Weise, wie wir Quellen interpretieren, ist immer abhängig von unseren persönlichen Präferenzen, die durch alle möglichen Faktoren beeinflusst sind. Einige dieser Faktoren sind uns bewusst, andere nicht. Die vollständige Offenlegung der eigenen Erkenntnisinteressen bleibt Utopie.

Doch hat die historische Disziplin durchaus den Anspruch, als Wissenschaft aufzutreten. Die Studierenden werden mit den Methoden der Quellenkritik, der Literaturlauswertung und des Schreibens vertraut gemacht. Allen Forschungen liegt das Ziel zugrunde, die Argumentation und die empirische Grundlage so transparent wie möglich zu gestalten. Der Grad der Wissenschaftlichkeit wird daran gemessen, wie gut eine historische Arbeit intersubjektiv nachvollziehbar und überprüfbar ist.

In der Wirtschaftsgeschichte ist der Anspruch der Wissenschaftlichkeit noch stärker ausgeprägt als in der allgemeinen Geschichte. Der Grund dafür ist, dass nicht nur qualitative Quellen, sondern auch serielle Daten die empirische Basis ausmachen und oft mithilfe von statistischen Analysen ausgewertet werden. Wie die Ökonomie versucht die quantitative Wirtschaftsgeschichte (Kliometrie), den Einfluss bestimmter Faktoren auf ein klar definiertes Phänomen zu identifizieren und zu gewichten.

Wie nun sollen die Studierenden diese widersprüchlichen Signale interpretieren? Gehen die Geistes- und Sozialwissenschaften tatsächlich wissenschaftlich vor? Oder handelt es sich doch nur um einen zum Scheitern verurteilten Versuch, gewisse

Regelmässigkeiten des menschlichen Denkens und Handelns zu beschreiben? Aus einer streng erkenntnistheoretischen Sicht ist zweifellos Letzteres der Fall. Es ist unplausibel, anzunehmen, dass sich die Menschen nach allgemein gültigen Regeln verhalten, die es zu entdecken gilt. Die Naturwissenschaften sind hingegen durchaus in der Lage, Gesetzmässigkeiten zu identifizieren. Wer also Geschichte oder Ökonomie studiert, sollte sich immer bewusst sein, wie unpräzise das vermittelte Wissen ist.

Aus einer ethischen Sicht verdienen die Geistes- und Sozialwissenschaften das Etikett «wissenschaftlich» aber durchaus. Denn es ist ihr Ideal, ihre Forschung so systematisch wie möglich zu gestalten und ihre Ergebnisse so transparent wie möglich darzustellen. Nach Abschluss des Studiums sind Ökonominen und Historiker vielleicht nicht im Besitz von allgemeingültigen Wahrheiten, aber sie sind in der Lage, seriöse Arbeit von Scharlatanerie zu unterscheiden. Dies ist in der heutigen Welt keineswegs gering zu schätzen.

Dass die Studierenden ein starkes methodisches Bewusstsein entwickeln, erfordert allerdings, dass dem Ideal konsequent nachgelebt wird. Das ist leider nicht immer der Fall. In der Ökonomie werden bisweilen die Daten so lange «befragt», bis sie «ein Geständnis ablegen». Manchmal ist auch die Datenqualität äusserst zweifelhaft, und dennoch wird da-

mit ein Modell gefüttert. In der Geschichte werden gelegentlich Autoren, deren Meinung aus politischen Gründen nicht passen, einfach nicht zitiert. Deswegen ist aus meiner Sicht die Frage nach der Wissenschaftlichkeit in den Sozial- und Geisteswissenschaften letztlich eine Frage des Charakters derer, die sie ausüben. ■



**Tobias Straumann**

ist Titularprofessor für Geschichte der Neuzeit und lehrt am Wirtschaftswissenschaftlichen Zentrum der Universität Basel sowie an der Universität Zürich. Er forscht vor allem über europäische Geld- und Finanzgeschichte sowie über Wirtschaftsgeschichte und -politik der Schweiz.

**N**aturwissenschaften, die exakten Wissenschaften, werden oft mit dem Aufdecken von Fakten und Gesetzmässigkeiten in Zusammenhang gebracht. Bereits in der Schule lernt man Physik, Chemie und Biologie in Form von klaren Begriffen und Gegebenheiten. Die Naturwissenschaften werden in diesem Sinn von den Geisteswissenschaften abgegrenzt. In der modernen Biologie, aber nicht nur dort, ist das aber immer weniger der Fall: Aussagen werden zunehmend durch Wahrscheinlichkeiten ersetzt.

Was wir vom Wetterbericht kennen, etwa die Aussage einer 50%-Schauerneigung, gibt es auch in der Biologie und Medizin. Impfstoffe reduzieren die Wahrscheinlichkeit, eine bestimmte Infektion zu bekommen, einzelne Genvarianten erhöhen das Brustkrebsrisiko und Pflanzensamen haben eine gewisse Wahrscheinlichkeit, im nächsten Frühling zu keimen. Die Ursachen dieser Ungenauigkeiten sind in jedem Fall anders und können oft selbst nicht kontrolliert werden. Wenn ich nur einen Samen habe, kann ich nicht sagen, ob er keimen wird. Habe ich aber 100 Samen, lässt sich eine Aussage machen, welcher Prozentsatz keimen wird. Um Befunde auszudrücken, braucht es deshalb Statistik – Angaben zu den Häufigkeiten, mit denen eine Aussage zutrifft.

Um Aussagen in einen Rahmen zu setzen, vergleichen Wissenschaftler Wahrscheinlichkeiten miteinander. Zum Beispiel wird die Wirkung einer Behandlung (Medikament, Dünger, Toxin, Bestrahlung) mit einer andern (kein Wirkstoff, Placebo) verglichen. Wenn der Unterschied zwischen den Objekten, die unterschiedliche Behandlungen erfahren haben, gross ist, spricht man von einem signifikanten Behandlungseffekt. Ob der Unterschied gross genug ist für einen signifikanten Effekt, hängt von einer Konvention ab, die etwa so lauten könnte: Wenn man zwanzigmal ein Experiment mit einer wirkungslosen Behandlung durchführt, dann darf es einmal

durch Zufall signifikant sein. Das heisst, hin und wieder findet man einen signifikanten Effekt, den es eigentlich nicht gibt. Umgekehrt kann es durch Zufall passieren, dass eine wirkungsvolle Behandlung keinen signifikanten Effekt produziert. Mit einem höheren Aufwand lassen sich solche falschen Folgerungen reduzieren, aber man kann sie nie ausschliessen. Goldstandard ist es, ein Experiment, das einen Effekt aufgezeigt hat, zu wiederholen. Wenn es einen Zusammenhang aufgedeckt hat, wird es das wahrscheinlich wieder tun. Leider werden Experimente gerade dann

oft nicht wiederholt, wenn sie ein positives Ergebnis brachten, aber wiederholt, wenn das Ergebnis negativ war. So wird die Wahrscheinlichkeit herabgesetzt, den wahren Zusammenhang zu finden.

Dies und noch mehr trägt zu der sogenannten Replikationskrise bei, die seit einiger Zeit die Lebenswissenschaften erschüttert. Laut verschiedenen Studien ist ein grosser Teil aller biologischen und medizinischen Befunde nicht wiederholbar. Kann man der Biologie noch trauen? Ich denke, ja, denn die Fortschritte, die das Feld gesamthaft macht, zeigen das ganz klar. Der Fortschritt könnte aber schneller sein, denn jedes falsche Ergebnis ist ein Schritt zurück. Als Wissenschaftler habe ich ein gesundes Misstrauen bei der Beurteilung neuer Erkenntnisse entwickelt. So beurteile ich neue wissenschaftliche Ergebnisse im Rahmen dessen, was wir schon zu wissen glauben. Wenn etwas absolut neu ist und sich mit keinen vorherigen Ergebnissen vergleichen lässt, bin ich automatisch skeptischer. Dazu kommt die Qualität des wissenschaftlichen Ansatzes: Neben Inspiration und

Motivation braucht gute Wissenschaft wohlüberlegte und saubere Herangehensweisen, die leider selten sind. Diese Herangehensweisen müssen wir an der Universität vermitteln. Gute wissenschaftliche Ansätze und ein Verständnis für quantitative und statistische Zusammenhänge sind ein notwendiges Grundwerkzeug der modernen Wissenschaft. ■



**Dieter Ebert**

ist Professor für Zoologie und Evolutionsbiologie an der Universität Basel. Seine Forschungsgruppe befasst sich mit den ökologischen und genetischen Grundlagen schneller evolutiver Prozesse, etwa lokaler Anpassung, der Koevolution von Wirten und Parasiten und der Evolution in strukturierten Populationen.

# Das Kraut aus dem Osten.

Fotos: Christian Flierl  
Texte: Christoph Dieffenbacher



Wie andere invasive Neophyten verdrängt es einheimische Arten, verändert die umgebende Pflanzenwelt und bremst das Wachstum der Jungbäume in seiner Nähe – das Drüsige Springkraut (*Impatiens glandulifera*). Die ursprünglich aus dem westlichen Himalaja stammende Pflanze gelangte bereits 1839 nach England und kam von dort aus als beliebte Zierpflanze in viele europäische Gärten. Seit einigen Jahrzehnten hat sich die Art explosionsartig unseren Bach- und Flussufern entlang und in Wäldern verbreitet und greift in die bestehende Pflanzenvielfalt ein. Der Neuankommling wirkt offenbar über die unterirdischen Verbindungen zwischen Bäumen und Mykorrhizapilzen: Blätter und Wurzeln des Neophyten enthalten einen Stoff, der das Wachstum der Mykorrhizapilze bremst. Bei jungen Buchen, die vom eingewanderten Springkraut umgeben sind, finden sich 60% weniger Wurzelpilze als bei jenen ohne benachbarte Neophyten.

Im Laufental im Kanton Baselland zum Beispiel kommt das rasch nachwachsende Drüsige Springkraut mittlerweile stellenweise grossflächig und dicht vor. Doktorand Luca Gaggini (Bild), unterstützt von Dr. Hans-Peter Rusterholz und Prof. Dr. Bruno Baur der Forschungsgruppe Naturschutzbiologie der Universität Basel, untersucht hier den Einfluss der eingewanderten Pflanze auf die unterirdische Vielfalt von Pilzen und Pflanzen.

Eine Vermutung für das immer häufigere Vorkommen dieses invasiven Neophyten in Wäldern ist, dass die Forstwirtschaft die Verbreitung des Drüsiges Springkrauts begünstigt. Die aktuellen Ergebnisse der Forschung werden den Studierenden jeweils an Exkursionen vor Ort vermittelt.





## Album

Schleuderkapseln: Samen des violett blühenden eingewanderten Drüsigen Springkrauts. Eine Pflanze produziert bis zu 2500 Samen pro Vegetationsperiode, die sie mittels Schleuderkapseln bis zu 7 Meter weit verstreut (links).

Immer seltener: Die gelb blühende einheimische Variante der Pflanze, das Wald-Springkraut (*Impatiens noli-tangere*), wird von der eingewanderten zunehmend verdrängt (rechts).



Das Drüsige Springkraut  
ist in feuchten und nährstoff-  
reichen Böden in der  
ganzen Schweiz verbreitet.  
Mit Stechzylindern  
werden die Wurzelproben  
gesammelt und  
verpackt.



Album



## Album

Sieben und Waschen:  
Im Labor werden die Wurzeln  
und Rhizome extrahiert,  
indem die Bodenproben ge-  
siebt und gewaschen  
werden. Die Fragmente  
werden darauf gefrier-  
getrocknet und gemahlen.

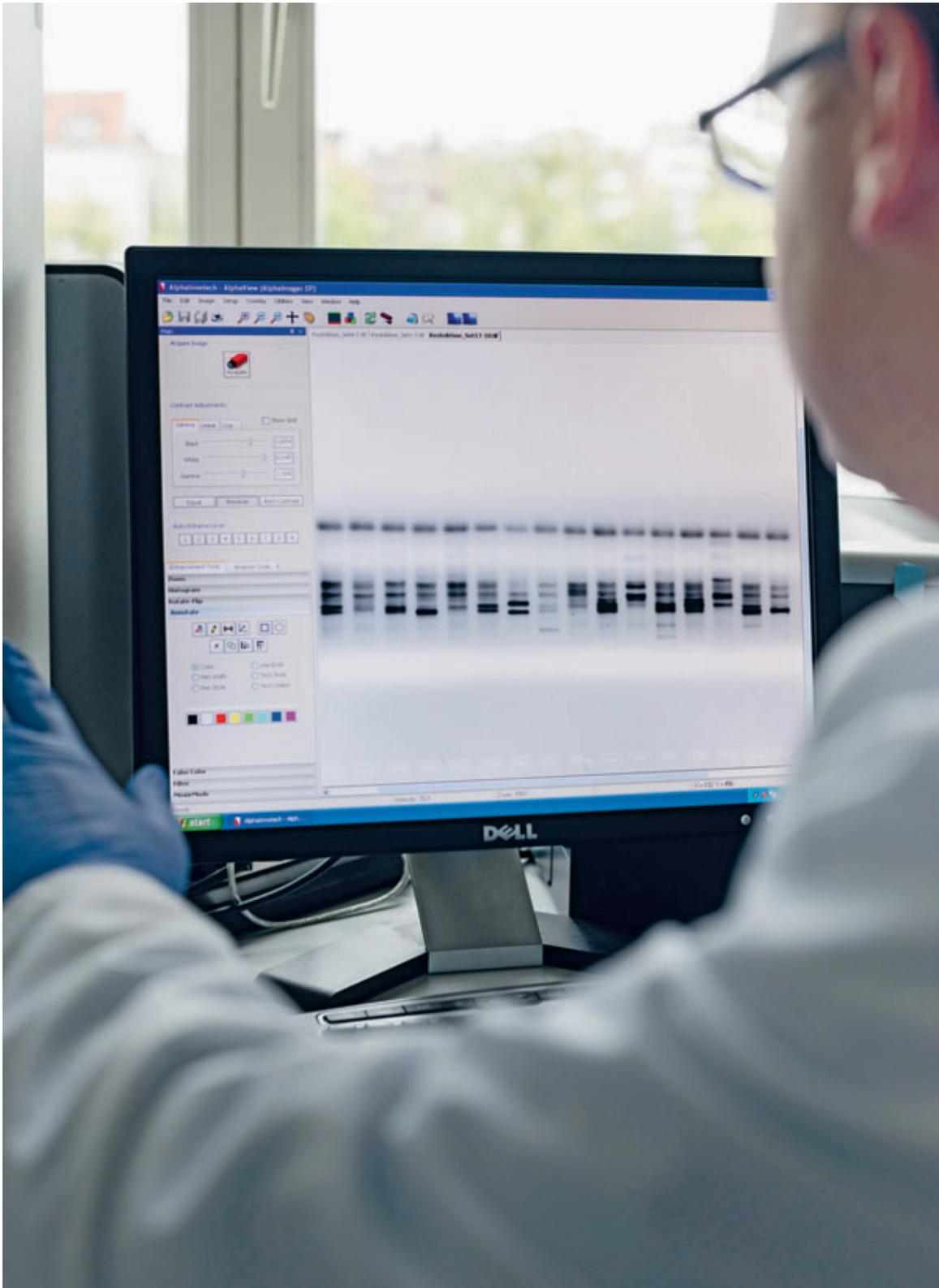


## Album

Ausreissen: Fachleute raten zur Entfernung des Neophyten aus Wäldern und Gärten – herausgerissene Wurzeln des Drüsigen Springkrauts, das ein relativ kleines, oberflächiges Wurzelwerk bildet (links).

Mit DNA-Analysen kann die unterirdische Pflanzenvielfalt bestimmt werden. Die Gelelektrophorese dient als Kontrollschritt während der Untersuchung des genetischen Materials (rechts).





Analyse im Labor:  
Das gesammelte Material  
wird im Labor an der  
St.-Johanns-Vorstadt in Basel  
genetisch analysiert mit  
dem Ziel, die Unterschiede  
in der unterirdischen  
Pflanzenvielfalt zu bestim-  
men – mit und ohne den  
Neophyten.





**Luca Gaggini** ist Doktorand in der Forschungsgruppe Naturschutzbiologie und untersucht den Einfluss von invasiven Pflanzenarten auf die einheimischen Wälder – im Kanton Tessin wie in der Region Basel.

**J**ahrzehntelang galt in der Medizin die Lehrmeinung, dass das Nervengewebe des zentralen Nervensystems nicht regenerationsfähig sei. Medizinstudierende lernten: «Der Mensch kommt mit einer bestimmten Anzahl von Nervenzellen zur Welt, und da sich Nervenzellen nicht teilen, gibt es im adulten menschlichen Hirn keine Neurogenese.» Punkt. Doch dieses Dogma begann in den Neunzigerjahren zu kippen. Untersuchungen zeigten damals nämlich, dass auch im erwachsenen Hirn Regionen existieren, in denen Nervenzellen neu gebildet werden. So entstanden Ideen, die regenerative Medizin mit Stammzellen auch aufs Gehirn anzuwenden.

Raphael Guzman hat diese Entwicklung seit seinem Studium hautnah mitverfolgt. Der 46-jährige gebürtige Berner ist heute stellvertretender Chefarzt für Neurochirurgie am Universitätsspital und leitet der Arzt am Universitäts-Kinderspital beider Basel, und er hält eine Professur für Kinder-Neurochirurgie an der Universität Basel – derzeit die einzige auf diesem Gebiet schweizweit. Nicht minder wichtig als die klinische Tätigkeit ist seine Forschung: Guzman leitet am Departement Biomedizin ein Forschungslabor, das sich mit Stammzellentherapie bei Zerebralparese beschäftigt.

#### **Therapie kurz nach Geburt**

«Allein in der Schweiz kommen jährlich etwa 150 Kinder mit zerebralen Lähmungen zur Welt, zum Beispiel infolge Sauerstoffmangels während der Geburt», erklärt Guzman. Am Universitäts-Kinderspital werden die Betroffenen von einem interdisziplinären Expertenteam behandelt, und dabei werden der Klinik kleine Patienten aus der ganzen Schweiz, Italien und Deutschland zur Evaluation zugewiesen. Guzmans Konzept sieht vor, die Kinder künftig mit autologen, also körpereigenen Stammzellen kurz nach der Geburt zu behandeln. Seine Laborstudien, die vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützt werden, sollen die Grundlage für klinische Studien schaffen.

Als die Neurogenese – die Bildung von neuen Nervenzellen – bei Erwachsenen Mitte der Neunzigerjahre zu einem ernsthaften Forschungsthema wurde, machte Guzman in Bern gerade das Staatsexamen. «In den Neuro-Fächern herrschte gerade Aufbruchsstimmung, und es wurden viele Ideen für therapeutische Ansätze in die Welt gesetzt», erinnert er sich. Er arbeitete damals im Inselspital bei einer der ersten Zelltherapiestudien mit: Bei Parkinsonpatienten wurden dopaminproduzierende neuronale Zellen ins Hirn transplantiert. Danach forschte Guzman zehn Jahre lang an der Stanford University in Kalifornien und war dort an Projekten beteiligt, die das Wissen

# Mit Stammzellen gegen Hirnlähmung.

Text: Irène Dietschi

Die Zerebralparese ist eine Körperbehinderung als Folge eines frühkindlichen Hirnschadens. Zur Behandlung dieser Gehirnlähmung erforscht Raphael Guzman in seinem Labor am Departement Biomedizin, das Potenzial von Stammzellen einzusetzen. Der Neurochirurg hofft, betroffenen Kindern künftig schon bei der Geburt helfen zu können.

über die Neuroregeneration mittels neuronalen Stammzellen entscheidend voranbrachten.

### Versuch, Zellen zu ersetzen

Die Forschenden kamen dabei zum Beispiel der weissen Hirnsubstanz näher auf die Spur. «Man denkt beim Hirn automatisch zuerst an die Nervenzellen, doch diese benötigen eine grosse Infrastruktur an Supportzellen», erklärt Guzman. Zu ihnen gehören die sogenannten Gliazellen: Als «Stoff» der weissen Substanz bilden sie sozusagen die zweite Garde der Hirnzellen: In ihr verlaufen die Axone, also die Fortsätze der Nervenzellen, welche die Impulse von einer Nervenzelle zur andern transportieren. Um die Axone herum liegt wie ein schützender Wintermantel die Myelinschicht, die von den Oligodendrozyten produziert wird; diese sind essenzielle Supportzellen. «Ohne die Unterstützung der Oligodendrozyten gehen Axone und Nervenzellen zugrunde», erklärt Guzman.

Wird nun Hirngewebe beschädigt, etwa infolge eines Schlaganfalls, versucht der Körper von sich aus, die Zellen durch die Neurogenese zu ersetzen. «Es entstehen neue Oligodendrozyten, egal ob es sich um ein erwachsenes Hirn oder um das eines Neugeborenen handelt», sagt Guzman. Aber: «Diese Neubildung von Oligodendrozyten scheint quantitativ nicht ausreichend zu sein.»

Deshalb begannen Guzman und andere Stammzellforscher, bei diesem Mechanismus der weissen Substanz anzusetzen. Im Labor hatten sie bald Erfolg: «Es zeigte sich: Wenn wir unseren Versuchstieren die Stammzellen in die Halsschlagader spritzen, wandern sie ins Hirngewebe. Und mehr noch – die transplantierten Zellen kurbeln die körpereigenen Reparaturmechanismen an. Das heisst, das beschädigte Hirn beginnt selbst, in grosser Zahl neue Zellen zu produzieren, insbesondere myelinbildende Oligodendrozyten.» Die Tiere, denen man zuvor einen Hirnschlag induziert hatte, verbesserten nach der Stammzellenbehandlung zusehends ihre Körperfunktionen.

### Körpereigene Reparatur stimulieren

Diese Erkenntnisse führten zu einem neuen therapeutischen Konzept: Man kam weg von der Idee, Zellen zu «ersetzen», wie etwa bei den ersten Parkinsonstudien. Stattdessen sollten transplantierte Stammzellen die körpereigenen Reparaturmechanismen wie die Neurogenese stimulieren. «From cell replacement to trophic support», titelte Guzman ein Editorial, das er in einer Fachzeitschrift über diesen Paradigmenwechsel veröffentlichte.

In seiner laufenden Forschungsarbeit in Basel will der Wissenschaftler mit seinem Team die zell-



**Raphael Guzman** ist Professor für Neurochirurgie und stellvertretender Chefarzt für Neurochirurgie am Universitätsspital Basel.

biologischen Erkenntnisse vertiefen. «Wir wollen zum Beispiel herausfinden, welche Proteine für den Regenerationsprozess verantwortlich sind», sagt der Neurochirurg. Um aus den praktisch unbegrenzten Möglichkeiten schnelle Erkenntnisse zu gewinnen, arbeitet Guzman eng mit internationalen und lokalen Forschungsgruppen zusammen, so in Basel mit dem Neonatologen Sven Wellmann.

### Therapie als Ziel

Dabei stellt sich die Frage: Ist es zwingend nötig, die zellulären Mechanismen bis ins letzte Detail zu verstehen, um das Konzept beim Menschen zu erproben – zumal es im Tierversuch zu funktionieren scheint? «Eine schwierige Frage, auch aus ethischer Sicht», antwortet Guzman. Man müsse sehr sorgfältig abwägen, ob und wann für eine klinische Anwendung genügend Wissen vorhanden sei. Gleichzeitig hält er das Anliegen für berechtigt: «Bevor man bis zum Sankt-Nimmerleins-Tag im Labor die Grundlagen erforscht, muss es einen Zwischenweg geben, um in-nerst vernünftiger Frist zum Patienten zu gelangen.»

Was die Stammzellentherapie bei Zerebralparese betrifft, so scheint diese «vernünftige Frist» bereits in Reichweite zu sein. «Ein Kollege der University of Texas bereitet zurzeit eine multizentrische klinische Studie vor, deren Protokoll wir in Basel wahrscheinlich übernehmen können», sagt Guzman – vorausgesetzt natürlich, die Studie schafft die Hürde bei Swissmedic und der Ethikkommission. Dann könne man hoffentlich in zwei, drei Jahren mit der Behandlung starten.

Natürlich sei er auch als Arzt interessiert, klinische Studien voranzutreiben. «Ich sehe ja diese Kinder in der Sprechstunde, und ich bekomme ihre motorischen und zum Teil kognitiven Entwicklungsrückstände von Nahem mit. Das tut weh.» Seine Forschung, die vor allem im Labor stattfindet, sei am Ende Mittel zum Zweck, sagt Guzman. «Das Ziel ist eine Therapie – damit sich Kinder, die einen ungünstigen Start ins Leben haben, vielleicht besser entwickeln können.» ■

# Wie Schneeflocken entstehen.



Kalte Temperaturen allein genügen nicht. Damit sich Schneeflocken bilden, braucht es häufig auch biologische Partikel als Eiskeime.

Nach solchen Teilchen suchen Basler Forschende der Umweltgeowissenschaften auf dem Jungfraujoch wie im nördlichsten Norwegen.

Text: Yvonne Vahlensieck

**D**ie meisten Fahrgäste, die mit der Bahn hinauf zum Jungfrauoch im Berner Oberland fahren, wünschen sich am Ziel blauen Himmel und Sonnenschein. Nicht so die Umweltforscherin Claudia Mignani: Sie hofft auf dichte Wolken, Schnee und Temperaturen im Minusbereich. Denn genau diese Wetterbedingungen braucht die Doktorandin für ihr Forschungsprojekt, bei dem sie herausfinden will, wie eigentlich der Schnee entsteht.

Diese Frage ist nur scheinbar einfach zu beantworten, denn aus reinem Wasser können sich Eiskristalle erst ab  $-36^{\circ}\text{C}$  bilden. Dass Wolkentropfchen trotzdem auch bei wärmeren Temperaturen gefrieren können, liegt an winzigen Teilchen in der Luft wie Staub, Russ, Pilzsporen und Bakterien. Diese Partikel dienen als sogenannte Eiskeime, an die sich beispielsweise Wasser aus den Wolken anlagern kann und dabei gefriert. «Die so entstandenen winzigen Eiskristalle wachsen auf dem Weg zum Boden weiter heran und fallen schliesslich als Schneeflocken zur Erde», erklärt Mignani.

Ziel der Wissenschaftlerin ist es, die Häufigkeit und Beschaffenheit von Eiskeimen genauer zu untersuchen. Die hochalpine Forschungsstation auf dem Jungfrauoch ist dafür ein idealer Ort: «Hier sind wir mitten in den Wolken und können die Eiskristalle genau dort sammeln, wo sie gebildet werden.» Die Möglichkeit dazu bietet sich oft, denn die Forschungsstation befindet sich fast die Hälfte der Zeit in den Wolken.

### Winzige Partikel finden

Trotz dieser guten Voraussetzungen ist es nicht einfach, Eiskeime zu finden und zu analysieren: Sie sind nicht nur mikroskopisch klein, sondern treten auch relativ selten auf. «Nicht jede Schneeflocke enthält einen Eiskeim», sagt Emiliano Stopelli, der dazu ebenfalls eine Doktorarbeit an der Universität Basel verfasst hat. Durch eine sogenannte Eismultiplikation können auch Schneeflocken entstehen, die keinen Eiskeim enthalten. «Dies geschieht zum Beispiel, wenn beim Zusammenstoss von zwei Eisstückchen kleine Splitter abbrechen, aus denen dann neue

Eiskristalle wachsen», so Stopelli. Nach seinen Feldmessungen schwankt die Konzentration der Eiskeime am Jungfrauoch je nach Wetterbedingungen und Jahreszeit zwischen weniger als einem bis zu mehreren hundert Eiskeimen in einem Kubikmeter Luft.

Deshalb haben die Basler Umweltwissenschaftler eine neue Methode entwickelt, mit der sie eine grosse Anzahl an Schneeproben schnell auf Eiskeime testen können: Dafür fängt Mignani die frisch gebildeten Schneeflocken in speziell geformten Behältern auf und versiegelt sie in Plastikbeuteln. Später kühlt sie die inzwischen geschmolzenen Proben in einem Wasserbad wieder langsam auf Minusgrade ab und erfasst, bei welcher Temperatur sie gefrieren. «So können wir die Proben identifizieren, die Eiskeime enthalten, welche in dem von uns analysierten Temperaturbereich aktiv sind», so Mignani. Anhand der Ergebnisse dieser Analyse und unter Einbezug weiterer Faktoren kann sie dann die Konzentration der Eiskeime in der Luft berechnen.

### Bakterien als Eiskeime

Bei ihren Untersuchungen konzentrieren sich die Forschenden auf Temperaturen zwischen  $0$  und  $-15^{\circ}\text{C}$ . In diesem Bereich sind Teilchen biologischer Herkunft wie Pollen, Sporen, Bakterien und Bodenpartikel als Eiskeime aktiv. «Wir glauben, dass biologische Partikel bei diesen wärmeren Temperaturen am besten einen Niederschlag auslösen können. Nach unseren Ergebnissen am Jungfrauoch kann dies sehr häufig entlang von Wetterfronten geschehen», meint Stopelli.

Es ist aber noch wenig darüber bekannt, welche dieser biologischen Eiskeime in der Atmosphäre dominieren. Deshalb versucht Mignani, die in der Luft umherschwirrenden Teilchen genauer zu identifizieren. Dazu saugt sie die Luft wie mit einem Staubsauger durch einen Partikelsammler, in dem die Teilchen auf einer dünnen Silizium-Scheibe hängen bleiben. Diese Scheiben werden anschliessend unter Bedingungen, die eine Eisbildung ermöglichen, langsam abgekühlt: «Dort, wo sich Eiskeime auf der Scheibe befinden, bilden sich kleine Eiskristalle. Diese Stel-

len schauen wir uns dann stark vergrössert mit einem Rasterelektronenmikroskop an, um die einzelnen Eiskeime zu identifizieren.»

Falls es sich bei den Eiskeimen um lebende Bakterien handelt, ist es manchmal auch möglich, diese im Labor zu vermehren und mit einer DNA-Analyse die genaue Art zu bestimmen: So ist es Stopelli gelungen, aus mehreren Schneeproben Kulturen des Bakteriums *Pseudomonas syringae* heranzuziehen. Von dieser pflanzenschädlichen Bakterienart ist vor allem die Landwirtschaft betroffen, denn sie befällt Nutzpflanzen wie Sojabohnen, Rüben und Weizen. Mikrobiologen spekulieren darüber, dass die Bakterien mit den Wolken weite Strecken zurücklegen, dann als Eiskeim in Schneeflocken zur Erde fallen und sich so weiterverbreiten könnten. Diese Annahme hält Stopelli für möglich: «Es ist spannend zu sehen, dass die Bakterien mehrere Tage oder Wochen in grossen Höhen bei kalten Temperaturen und hoher UV-Strahlung überleben können.»

### Globale Zusammenhänge

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse glauben die Umweltwissenschaftler, dass die biologischen Partikel bei der Bildung von Niederschlägen eine nicht unwesentliche Rolle spielen: «Unsere Grundlagenforschung trägt dazu bei, die Bildung von Eis in Wolken besser zu verstehen. Dies ist sehr wichtig, da Eis die Eigenschaften von Wolken verändert, was wiederum das Wetter und das Klima beeinflusst», sagt Mignani. Bis jetzt fliesst die Verteilung und Häufigkeit der biologischen Eiskeime nur sehr bedingt in die Berechnung von Klimamodellen ein, denn die Herkunft der biologischen Eiskeime ist kaum bekannt. Deshalb reist Mignani für ihr Forschungsprojekt auch mehrmals in die arktische Region: Im Observatorium Halde am nördlichsten Zipfel Norwegens packt sie dann ebenfalls ihre Geräte aus, um Luft- und Schneeproben zu sammeln. Wenn sie jeweils dort ist, wünscht sie sich persönlich manchmal auch einen klaren Himmel. Denn dann bekommt sie mit etwas Glück ein Nordlicht zu sehen. ■

# Sprachförderung: Je früher, desto besser.

Text: Samuel Schlaefli

Je früher Kinder mit Migrationshintergrund von Betreuungsangeboten ausserhalb der Familie profitieren, desto schneller lernen sie Deutsch – und desto kleiner sind später ihre Defizite in der Schule. Das zeigt eine Langzeitstudie von Basler Entwicklungspsychologen.

**B**asel-Stadt ist ein Kanton mit Migrationshintergrund: Über 100 Sprachen werden hier gesprochen, und über die Hälfte der Kinder sprechen zu Hause kein Deutsch. Der Kanton erkannte bereits vor einigen Jahren, dass dies weitreichende Auswirkungen auf Spielgruppen, Kindergärten und Schulen haben wird. «Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Frühförderung waren schon damals eindeutig», sagt Alexander Grob, Professor für Entwicklungs- und Persönlichkeitspsychologie an der Universität Basel: «Je früher sozial benachteiligte Gruppen beim Spracherwerb gefördert werden, desto weniger Probleme haben später Lehrerinnen und Lehrer im Unterricht und desto tiefer fallen die sozialen und ökonomischen Folgekosten für die Gesellschaft aus.»

## Basler Pionierprojekt

Der frühere Erziehungsdirektor Christoph Eymann liess sich von Grob beraten und initiierte das Projekt «Mit ausreichenden Deutschkenntnissen in den Kindergarten». Seine Idee: Eltern im Kanton Basel-Stadt sollen anderthalb Jahre vor dem Eintritt ihrer Kinder in den Kindergarten einen Fragebogen zu deren

Deutschkenntnissen ausfüllen. Dieser ist heute in den zehn in Basel am meisten gesprochenen Sprachen verfügbar. Wo nötig, hilft eine interkulturelle Vermittlerin beim Übersetzen und Ausfüllen. Weisen die Antworten auf ein sprachliches Defizit hin, werden die Eltern durch ein «selektives Obligatorium» verpflichtet, ihre Zwei- bis Dreijährigen in eine Spielgruppe oder Kindertagesstätte mit integrierter Sprachförderung zu schicken – für ein Jahr und an mindestens zwei Halbtagen pro Woche.

«Das Projekt in Basel ist wegen des frühen Zeitpunkts der Intervention einzigartig», sagt Grob. Seine Forschungsgruppe hat es mit einer aufwendigen Längsstudie während acht Jahren wissenschaftlich begleitet. Jährlich werden rund 1800 Eltern anderthalb Jahre vor dem Eintritt ihres Kinds in den Kindergarten für eine Einschätzung der Sprachkenntnisse ihrer Kinder angeschrieben. Das Team hat während vier Jahren eine Teilstichprobe von je rund 120 Kindern ausgewählt und ihren Lernprozess vier Jahre lang beobachtet. Insgesamt nahmen 586 Kinder an der Studie teil.

Über die gesamte Dauer erhoben die Forschenden viermal Daten zum Lernfort-

schrift der Kinder: im Vorkindergartenalter (durchschnittlich 3,3 Jahre), beim Eintritt in den Kindergarten (4,8 Jahre), am Ende des Kindergartens (6,2 Jahre) und am Ende des ersten Primarschuljahrs (7,3 Jahre). Dabei wurden nicht nur ihre Deutschkenntnisse analysiert, sondern auch der Lebenskontext, etwa die Unterstützung durch Eltern, Spielgruppe oder Schule. Die Forschenden beobachteten zum Beispiel, wie die Eltern mit ihren Kindern kommunizierten und wie viele Kinderbücher in welcher Sprache in den Haushalten verfügbar waren. Sie interessierten sich auch dafür, wie die Lehrpersonen die Deutschkenntnisse, die soziale Integration und die Selbstkompetenzen der Kinder einschätzten.

## Lebenskontext entscheidend

«Am meisten erstaunt hat mich, dass 75 Prozent der Kinder mit Deutsch als Zweitsprache einen Förderbedarf hatten», erzählt Grob. «Die Hälfte verstand und sprach praktisch kein Wort Deutsch.» Wenig erstaunlich hingegen war für ihn der Befund: Je früher und je öfter ein Kind eine ausserfamiliäre Betreuungseinrichtung besuchte, desto besser waren seine späteren Deutschkenntnisse. «Bis etwa

sechs Jahren bedeutet es für ein Kind keinen Aufwand, eine Sprache zu lernen. Es bekommt sie einfach mit», erklärt Grob: «Doch dafür muss das Kind einem entsprechenden Kontext ausgesetzt sein.» Genau dieser wird durch das «selektive Obligatorium» in Basel-Stadt geschaffen.

Erkenntnisse aus der Psycholinguistik bestärken die Wichtigkeit einer frühen Intervention, bestätigt Prof. Heike Behrens, Professorin für kognitive Linguistik und Spracherwerbsforschung an der Universität Basel: «In den ersten drei Lebensjahren herrschen optimale Bedingungen für den Spracherwerb, weil viele verschiedene Entwicklungsstränge zusammenkommen und aufeinander aufbauen.» Es zeichne sich auch ab, dass sprachliche Defizite in dieser Phase später kaum noch kompensiert werden können. Gleichzeitig sei das Alter aber nicht der alleinige ausschlaggebende Faktor, präzisiert Behrens: Nur wenn auch andere positive Faktoren gegeben seien, gelinge der Spracherwerb.

Einer dieser Faktoren ist die sogenannte Akkulturation der Eltern, wie

Grob's Studie zeigt: Je stärker sich Eltern mit Migrationshintergrund mit der Schweiz identifizieren, je höher also ihre Motivation ist, sich zu integrieren, und je grösser ihre Sicherheit, hier bleiben zu dürfen, desto steiler ist auch die Lernkurve der Kinder. Findet hingegen keine Akkulturation statt, hat dies selbst dann einen negativen Effekt auf den Spracherwerb der Kinder, wenn die Eltern zu Hause Deutsch sprechen. Die vermittelte Sicherheit, ein neues Zuhause gefunden zu haben, scheint für den Spracherwerb also wichtiger als die daheim gesprochene Sprache.

Das ist besonders im Umgang mit Flüchtlingen politisch relevant: «Willkommenskultur bedeutet eben nicht nur, den Menschen Gelegenheit zu geben, Deutsch zu lernen», sagt Grob. «Das Aufnahmeland muss ihnen auch die Sicherheit vermitteln, dass sich dies längerfristig lohnt.» Das bedeute auch: Öffentliche Gelder für Deutschkurse für Flüchtlinge sind nur dann gut investiert, wenn die Betroffenen zumindest die Möglichkeit

erkennen, längerfristig in der Schweiz bleiben zu können.

### Potenzial der Zweisprachigkeit

Das Basler Modell des «selektiven Obligatoriums» wird mittlerweile national und international als Best-Practice-Beispiel gehandelt. So nutzen auch der Kanton Luzern und die Städte Chur, Zürich und Schaffhausen den von Grob ausgearbeiteten Fragebogen. Zurzeit wird dieser in Basel in Tigrinya und Arabisch übersetzt und damit den neuen geopolitischen Realitäten angepasst. Grob plant zugleich zusammen mit andern Universitäten eine weitere Langzeitstudie zu den «metakognitiven Kompetenzen von bilingualen Kindern». Dabei will er seine Hypothese prüfen, dass Kinder, die zweisprachig aufwachsen, sich gedanklich besser in andere hineinversetzen können. «Sollte sich dies bestätigen, muss das unbedingt gefördert werden», ist Grob überzeugt: «Besonders in zunehmend polarisierten Gesellschaften wäre die Förderung sozial-emotionaler Kompetenzen enorm wichtig.» ■



GYMNASIUM & INTERNAT  
KLOSTER DISENTIS



Gymnasium & Internat Kloster Disentis, CH-7180 Disentis  
matura@gkd.ch, der-weg-nach-oben.ch

# Via das hohe C an die besten Universitäten.



### Via Gymnasiales Assessmentjahr.

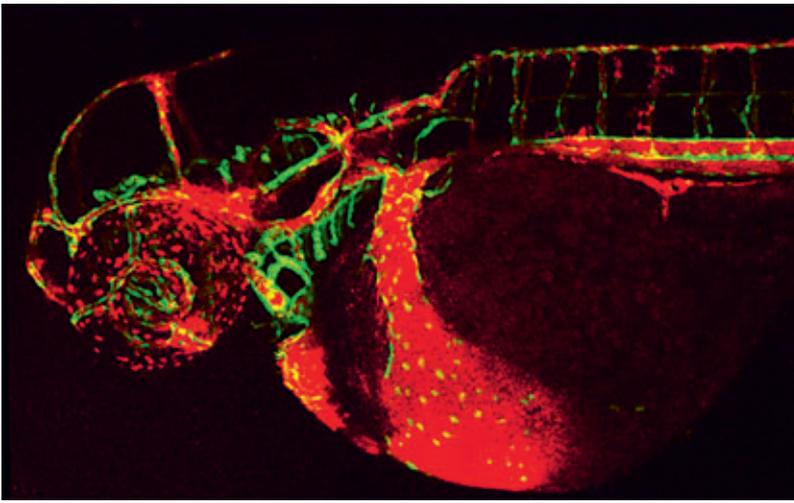
Kurz «GA»:  
Vorbereitung auf den Gymnasiumseintritt  
und die Aufnahmeverfahren.

### Via Förderstipendien (bis zur Matura).

Für Jugendliche mit ausgewiesenem  
Potential. Bewerbung:  
[www.der-weg-nach-oben.ch/stipendien](http://www.der-weg-nach-oben.ch/stipendien)

### Via Akademisches GAP-Jahr.

Im Anschluss ans 9. Schuljahr: Breites Fächerangebot, internationale Sprachzertifikate, fundierte Vorbereitung aufs Gymnasium oder andere weiterführende Schulen.



## Pharmazie

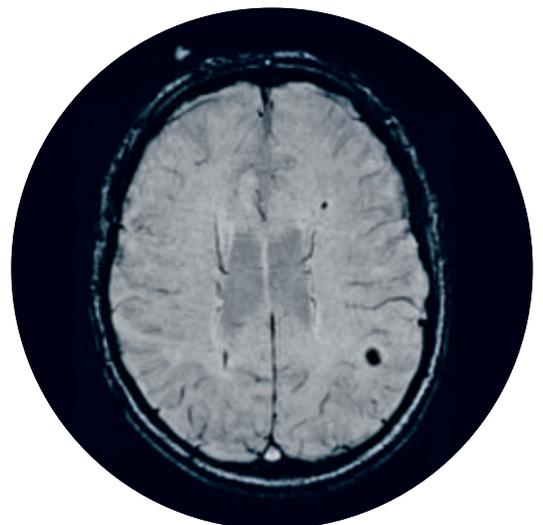
## Zebrafische für die Nanomedizin.

Mit sogenannten Nanopartikeln können Medikamente gezielt zu erkranktem Gewebe transportiert werden, was Nebenwirkungen stark vermindert. Obwohl einige solcher Transportsysteme, etwa in der Tumorthherapie, bereits zugelassen sind, lässt sich das Zirkulationsverhalten von neuartigen Nanopartikeln im lebenden Organismus schwer vorhersagen. Nun könnte der Zebrafisch nicht nur in Genetik und Entwicklungsbiologie, sondern auch als neuer Modellorganismus in der Nanomedizin dienen. Von speziellem Interesse sind dabei Mutanten, die zum Beispiel grün fluoreszierende Proteine in den Blutgefässen bilden. Nach der Injektion von rot markierten Nanopartikeln in einen solchen Zebrafisch kann deren Verteilung im Organismus genau beobachtet und analysiert werden. Ein Team des Departements Pharmazeutische Wissenschaften der Universität Basel mit Sandro Sieber, Dr. Dominik Witzigmann und Prof. Dr. Jörg Huwyler hat dafür verschiedene Nanopartikel untersucht und konnte zeigen, dass kleinste Änderungen in der Zusammensetzung die Zirkulationsdauer der Nanopartikel im Zebrafisch stark beeinflussen. Die beobachteten Unterschiede stimmen mit bekannten Ergebnissen aus Mäusen und Ratten überein. Der Zebrafisch könnte damit als Modell dienen, Nanopartikel schon in einer frühen Phase der Arzneimittelentwicklung zu testen. Potenziell erfolgreiche Formulierungen würden so besser und schneller identifiziert, womit die Zahl der Versuche mit höheren Wirbeltieren wie Ratten und Mäusen reduziert werden könnte. ■

## Medizin

## Vorhofflimmern und Demenzrisiko.

Menschen mit Vorhofflimmern, der häufigsten Herzrhythmus-Störung, haben ein erhöhtes Risiko für kleine, unerkannte Durchblutungsstörungen und auch kleine Blutungen im Gehirn – die möglicherweise zur allmählichen Abnahme der Denkleistung im Alter beitragen können. Dies berichten Basler Kardiologen um PD Dr. Michael Kühne, Prof. Stefan Osswald und Prof. David Conen in einer Einzelstudie im Rahmen der von Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Swiss-AF Studie (Swiss Atrial Fibrillation Cohort). Dabei wurden 1978 Patienten über 65 Jahren mit Vorhofflimmern mittels Bluttests, Bildgebung und Denkleistungstests jährlich untersucht. Zentral war ein 30-Punkte-Test, der unterschiedliche kognitive Funktionen wie Kurzzeitgedächtnis, Aufmerksamkeit, Sprache, Orientierung und Fähigkeit zur Benennung misst. 46% der Studienteilnehmer zeigten pathologische Werte von unter 26, jeder vierte von weniger als 23. Diese Patienten waren also kognitiv deutlich beeinträchtigt. Im Vergleich mit Probanden mit normalen Werten waren sie im Durchschnitt älter, bei ihnen bestand eine höhere Notwendigkeit einer Schlaganfall-Prophylaxe und sie nahmen zur Vorbeugung von Thrombo-Embolien häufiger Blutverdünner ein. Derzeit wird davon ausgegangen, dass 9% der über 65-Jährigen und mehr als 40% der über 90-Jährigen von einer Demenz betroffen sind. Diese ist der häufigste Grund für Pflegebedürftigkeit im Alter und die dritthäufigste Todesursache in der Schweiz nach Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs. ■





### Feudales Selbstverständnis Basels Elite in Öl

Was wissen wir eigentlich über die Basler Seidenbandfabrikanten, abgesehen von wirtschaftshistorischen Aspekten? Nicht sehr viel, denn die private Seite dieser ökonomischen Elite des 19. Jahrhunderts, ihre kulturellen Interessen, Weltanschauungen und ihr Alltag liegen heute weitgehend im Dunkeln. Einen Beitrag, dies zu ändern, leistet Martin Gaier, Privatdozent für Kunstgeschichte an der Universität Basel, mit seiner Monografie über den Basler Historienmaler Albert Landerer (1816–1893).

Im Mittelpunkt steht ein grossformatiges, 1861 fertiggestelltes Historienbild Landerers. Es zeigt den Triumph der Grafen von Thierstein über den Bischof von Basel im Jahr 1376. Zugleich ist das Bild auch ein spektakuläres Gruppenporträt von vier jungen Basler Fabrikantensöhnen – unter ihnen der Auftraggeber des Bildes –, die damit stolz ihren neu erworbenen Besitz, die Burgruine Neu-Thierstein im Kanton Solothurn, dokumentieren. In dem Gemälde offenbart sich nicht nur ein geradezu neofeudales Selbstverständnis Basler Grossbürger, sondern auch eine subversive Kritik am Basler Pietismus. ■

Martin Gaier:  
Bilder Basler Bändelherren.  
Der Historienmaler Albert Landerer  
(1816–1893) und seine Auftraggeber  
Schwabe Verlag, Basel 2017  
248 Seiten, CHF 48.00



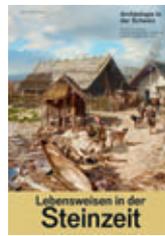
### Nacht und Stadt Urbanes Leben in der Dunkelheit

Die Nacht verzaubert die Stadt und uns Menschen. Was wir tun, was wir empfinden, was wir uns erhoffen – vieles verändert sich, wenn es dunkel wird. Die Nacht fordert uns auf, uns neu zu erfinden, und erlaubt uns zugleich, uns zurückzuziehen. Und dennoch ist sie nicht einfach da. Die Nacht ist, was die Menschen aus ihr machen: wie wir sie beleben und verschlafen, beschreiben und besingen, planen und problematisieren.

Der Kulturanthropologe Michel Massmünster beschreibt am Beispiel der Stadt Basel, wie sich Nacht und Stadt in vielseitigen Erfahrungen versammeln. Dafür durchstreift er Strassen und Plätze, taucht ein in Partys und Konzerte, lässt Szenarien und das Stadtbild auf sich wirken. Er trifft auf Menschen und begleitet sie durch lange Nächte. Er sichtet die vielfältigen Beschreibungen der Nacht in Zeitungsartikeln, Romanen und Popsongs.

Die Stadtnacht analysiert Massmünster in seiner Dissertation als relationales Geflecht aus Wissen, Praktiken, Personen und Materialitäten, das immer wieder neu greifbar wird. Die kulturanalytische Studie folgt den Spuren dieses Geflechts und erschliesst die historisch gewachsenen Imaginationen, die aktuellen Rhythmen und die ästhetischen Erfahrungen der urbanen Nacht. ■

Michel Massmünster:  
Im Taumel der Nacht.  
Urbane Imaginationen, Rhythmen  
und Erfahrungen  
Kadmos Verlag, Berlin 2017  
315 Seiten, EUR 24.90



### Archäologie in der Schweiz Das Leben in der Steinzeit

Kleinste Objekte und Reste aus lang vergangener Zeit reichen den Archäologen bereits aus, um eine Vielzahl von Erkenntnissen zur Ur- und Frühgeschichte zu liefern. Mit modernsten naturwissenschaftlichen Methoden gelangen sie zu Erkenntnissen, welche die bisherigen Vorstellungen revidieren.

So haben sich die Menschen in der Altsteinzeit beispielsweise mit mehr pflanzlicher Kost ernährt als bisher angenommen. Für die Orientierung in Raum und Zeit halfen ihnen möglicherweise Steinreihen, die sie als Kalender verwendeten. Auch die Rollenverteilung funktionierte anders als vermutet: Die Bedeutung von Frauen und Kindern wurde lange unterschätzt. Mit «Lebensweisen in der Steinzeit» erscheint das lang erwartete neue Standardwerk zur Archäologie in der Schweiz: eine reichhaltige, gut verständliche Geschichte der Steinzeit, die von Brigitte Röder, Professorin für Ur- und Frühgeschichte an der Universität Basel, mitherausgegeben wurde.

«Ein neuer, schön illustrierter Band, in dem 20 Autorinnen und Autoren einen Überblick über ihr Forschungsfeld geben, das sich in der Zwischenzeit fulminant entwickelt hat», so das Urteil von NZZ Geschichte. ■

Brigitte Röder, Sabine Bolliger  
Schreyer, Stefan Schreyer:  
Lebensweisen in der Steinzeit  
Hier & Jetzt Verlag, Baden 2017  
200 Seiten, CHF 59.00



### Migration und Föderalismus Hochkonjunktur im Baselbiet

In der Nachkriegszeit entwickelte sich die Schweiz zu einem Einwanderungsland. Die Behörden von Bund und Kantonen versuchten, der sich rasant wandelnden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Realität mit einem Spagat beizukommen. Sie wollten den steigenden Bedarf an ausländischen Arbeiterinnen und Arbeitern decken und gleichzeitig die Zuwanderung zwecks «Überfremdungsabwehr» unter Kontrolle halten.

Am Beispiel von Basel-Landschaft, dem Kanton mit der stärksten Industrialisierung und Bevölkerungszunahme der Nachkriegszeit und dem Selbstverständnis des «Entwicklungskantons par excellence», lotet der Historiker Tobias Senn Gestaltungsspielräume des Vollzugsföderalismus aus.

Seine als Dissertation an der Universität Basel entstandene Studie richtet den Blick auf die Akteure des seit 1945 kantonalisierten Arbeitsmigrationsregimes und zeigt den entscheidenden Einfluss kantonaler Behörden, interkantonalen Konferenzen sowie einzelner Spitzenbeamten auf. Diese innenpolitische Perspektive verdeutlicht, wie der Föderalismus die Schweizer Migrationspolitik prägt. Selbst in den 1960er- und 1970er-Jahren, als der Bund die Zuwanderung stabilisieren wollte, war ohne Kantone kein Staat zu machen. ■

Tobias Senn: Hochkonjunktur,  
«Überfremdung» und Föderalismus.  
Kantonalisierte Schweizer  
Arbeitsmigrationspolitik am Beispiel  
Basel-Landschaft 1945–1975  
Chronos Verlag, Zürich 2017  
532 Seiten, CHF 68.00

# Gibt es eine politisch korrekte Sprache?

Politische Sprachkritik lehrt uns, was Wörter eigentlich bewirken. Eine Einladung, sich mittels Sprache auf andere Menschen einzulassen.

Text:  
Deborah Mühlebach

**D**ie sogenannte Political Correctness (PC) ist in aller Munde. Besonders in den sozialen Medien wechseln sich Argumente gegen Sprachregulierungen mit Shitstorms gegen eine grassierende «Sprachpolizei» ab, Zeitungen reden vermehrt von einer Gefährdung unserer Redefreiheit und nicht selten hört man Wendungen wie «Ausländer oder, wie man politisch korrekt sagt, Menschen mit Migrationshintergrund». Die PC wird dabei als Rede- und Redeverbot aufgefasst: Man dürfe nicht mehr sagen, was man denkt.

«Political Correctness» bezeichnet Verhaltensweisen, die diskriminierende Sprachhandlungen ablehnen, und wird meist missbilligend verwendet. Wer jedoch politische Sprachkritik befürwortet und sie sich zu eigen macht, redet kaum von politischer Korrektheit, sondern von einer verstärkten Aufmerksamkeit dafür, was wir mit unseren Wörtern tun. Doch macht dies einen Unterschied? Schauen wir uns dazu aus einer sprachphilosophischen Perspektive an, was es bedeutet, wenn wir einen bestimmten Ausdruck durch einen sogenannt politisch korrekten ersetzen.

Wörter und Sätze sind Mittel, mithilfe derer wir uns über Dinge in der Welt verständigen. Was sie bedeuten, ist dadurch bestimmt, wie wir sie in unserer Sprachgemeinschaft verwenden. Ersetzen wir ein Wort durch ein anderes, so erhält dieses oft eine neue Bedeutung. Ein vereinfachtes Modell von sprachlicher Bedeutung lautet so: Die Bedeutung eines Satzes ist dadurch bestimmt, von welchen anderen Sätzen er abgeleitet werden kann und welche anderen Sätze wiederum von ihm abgeleitet werden können.

Wenn ich sage, «Laura ist älter als Malek», muss ich auf Nachfrage den Aussagen «Malek ist jünger als Laura» und «Laura und Malek sind nicht gleich alt» zustimmen, um nicht der Begriffsverwirrung bezichtigt zu werden. Ich bin auf diese Schlüsse auch dann festgelegt, wenn ich mir der Festlegung nicht bewusst bin. Denn unsere sprachlichen Normen für «älter» und «jünger» sind nun einmal so, dass wir sie gegensätzlich verwenden. Die Festlegungen, die mit einer Behauptung einhergehen, zeigen sich auch in unseren Handlungen. Es ist zum Beispiel sinnvoll, wenn ich zuerst Laura und erst später Malek zum

30. Geburtstag gratuliere. In der umgekehrten Reihenfolge wirkt es verwirrend. Unsere begrifflichen Normen, die den Gebrauch unserer Wörter bestimmen, und andere soziale Normen, die unser Handeln regeln, bedingen sich gegenseitig. Dabei liegt es nicht in der Macht einer einzelnen Person, die sprachliche Bedeutung eines Worts zu kontrollieren.

Bei Wörtern für Personen und soziale Gruppen wird dieser Zusammenhang politisch-moralisch brisanter. Zum einen können sich ändernde gesellschaftliche Verhältnisse dazu führen, dass sich die Bedeutung eines Ausdrucks verändert. Vor ein paar Jahrzehnten schien etwa der Schluss aus «Juan ist ein unverheirateter Mann» zu «Juan ist ein Junggeselle» offensichtlich. Inzwischen werden jedoch zu viele verschiedene Formen von langfristigen Liebesbeziehungen ohne Heirat gelebt, als dass «unverheiratet» ohne Vorbehalt mit «single» gleichgesetzt werden könnte. Zum ändern können solche Wörter abwertend oder ausschliessend wirken. Dies hängt weder hauptsächlich von der Absicht einer Sprecherin noch vom Gefühl eines Hörers ab, verletzt zu werden. Das N-Wort für schwarze Personen verliert seine stark abwertende Kraft zum Beispiel nicht, wenn die Sprecherin sagt, sie hätte es nicht beleidigend gemeint, und auch dann nicht, wenn sich der Adressat nicht verletzt fühlt. Die von diesem Wort ausgehende Abwertung entstammt in erster Linie sozialen Verhältnissen, in denen Schwarze strukturell als minderwertig gegenüber Weissen behandelt werden.

Unsere sozialen Verhältnisse bestimmen die Bedeutung der Wörter mit. Deshalb unterstellt politische Sprachkritik weder böse Absichten eines bestimmten Sprechers noch ist sie Ausdruck der Empfindlichkeit einer bestimmten Hörerin. Ebenso wenig schlägt sie vor, dass wir zum Beispiel immer dann das Wort «Dozierende» verwenden sollen, wenn wir eigentlich «Dozenten» sagen wollten. Wie der einflussreiche US-Soziologe und Bürgerrechtler W. E. B. Du Bois bemerkte, führt ein blosses Austauschen von Wörtern nicht weit: «If a thing is despised [...] you will not alter matters by changing its name. If Men despise Negroes, they will not despise them less if Negroes are called «colored» or «Afro-Americans».»

Führen wir einen neuen Ausdruck ein, der einen problematischen ersetzen soll, unterscheidet sich seine Bedeutung nur dann von jener seines Vorgängers, wenn er andere Schlüsse zulässt. Politische Sprachkritik zu betreiben heisst deshalb, neue Praktiken vorzuschlagen, in denen ungerechtfertigte abwertende Schlüsse nicht als gültige behandelt werden. An einer solchen neuen Praxis teilzuhaben heisst etwa, jenen Stimmen Gehör zu verschaffen, die uns in zahlreichen Studien darauf aufmerksam



**Deborah Mühlebach**

ist Doktorandin in Philosophie an der Universität Basel mit Gastaufenthalten am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge (USA) und der University of Sheffield (GB). Zuvor studierte sie in Zürich und Paris Philosophie, Gender Studies, Soziologie und Arabisch. In ihrer Dissertation behandelt sie sprachphilosophische Aspekte und die Kritik von abwertendem Sprachgebrauch.

machen, dass Sätze unterschiedliche Schlüsse zulassen – je nachdem, ob sie die Wörter «Dozenten», «Dozentinnen» oder «Dozierende» enthalten –, ungeachtet dessen, wen man selbst zu bezeichnen meint. Es macht oft einen Unterschied, welche Geschlechter benannt werden. Eine solche Sprachpraxis zu betreiben heisst aber auch, sich vermehrt zu überlegen, wann die Benennung unterschiedlicher Geschlechter relevant ist und wann nicht.

Der Ausdruck «Political Correctness» für eine solche neue Sprachpraxis ist bestenfalls ungenau und schlimmstenfalls kontraproduktiv. Denn mit einem Redeverbot oder dem Aufzwingen vermeintlich korrekter Wörter hat dies wenig zu tun: Zum einen ist der Gebrauch eines neuen Ausdrucks ohne veränderte Sprachpraxis witzlos. Zum ändern ist unsere Sprachgemeinschaft von ungleichen Machtverhältnissen geprägt und gewisse soziale Identitäten werden gesellschaftlich nicht als solche akzeptiert. So bleibt es schwierig, für bestimmte Personen und Gruppen Bezeichnungen zu finden, die nicht in irgendeiner Form abwertend oder ausschliessende Schlüsse zulassen. Nicht umsonst führen Schwarze in den USA seit Jahrzehnten Diskussionen über eine angemessene Selbstbezeichnung. Es gibt aber verschiedene Grade der Abwertung und unterschiedliche gemeinsame Strategien, ihr entgegenzuwirken. Verstehen wir politische Sprachkritik als Einladung, uns auf die Sichtweisen von Menschen einzulassen, die eine andere Position im Sozialgefüge einnehmen als wir selbst, so lernen wir alle mehr darüber, was unsere Wörter eigentlich tun. Wenn wir aber nur auf unsere eigenen Absichten achten, bleibt uns die Bedeutung vieler unserer Sprachhandlungen verborgen. ■

**«Das N-Wort für schwarze Personen verliert seine stark abwertende Kraft nicht, wenn die Sprecherin sagt, sie hätte es nicht beleidigend gemeint.»**

**Deborah Mühlebach**

# Die Völkerrechtlerin und die Seeräuberei.

Text: Christoph Dieffenbacher Foto: Andreas Zimmermann

**D**as Büro ist noch spärlich eingerichtet, so kurz nach der Wahl. Neben der Tür hängen bereits ein paar Kinderzeichnungen. Eine davon stammt von der 3-jährigen Ida und soll ein Schiff darstellen, «obwohl es eher wie ein Herz aussieht», sagt Anna Petrig. Ihre Tochter zeichne gern, während ihr älterer Bruder Till am liebsten Sachen konstruiere. Ida hat bildlich festgehalten, womit sich ihre Mutter seit Jahren wissenschaftlich beschäftigt: mit der Hochseeschiffahrt und den juristischen Fragen, die sich dabei stellen. Die Kenntnisse der Spezialistin sind heute international gefragt.

## Bedrohte Schifffahrt

Piraten stellt man sich landläufig als finstere, bärtige Männer mit Kopftuch, Augenbinde und Holzbein vor. Die früher jahrhundertlang praktizierte Räuberei wurde zurückgedrängt und schien lange Zeit beendet. Doch die Kriminalität auf See ist in Zeiten von steigendem Handel und Globalisierung wieder hoch aktuell geworden. Neun Zehntel des Welthandels führen heute übers Meer.

Wie ist sie eigentlich als junge Frau aus einem Binnenland dazu gekommen, darüber zu forschen? Da habe der Zufall ein bisschen mitgeholfen, erinnert sich Petrig. Als sie 2008 eben ein Praktikum beim IKRK in Genf absolviert hatte, erliess der UNO-Sicherheitsrat eine Resolution zur Bekämpfung der Piraterie vor Somalia. Das Land war selbst nicht in der Lage, dagegen vorzugehen. «Das war überhaupt die erste internationale Polizeimission gegen die Kriminalität auf See», erzählt Petrig.

## Kriegs- oder Polizeieinsatz?

Bei der Bekämpfung der Piraterie vor der Küste Somalias sollten die Menschenrechte und das humanitäre Völkerrecht gewahrt werden, hiess es in der UNO-Resolution. Doch der Verweis auf das Kriegsrecht machte die junge Juristin stutzig: «Das war doch kein Einsatz im bewaffneten Konflikt, sondern ein Polizeieinsatz.» Zusammen mit einem Fachkollegen untersuchte sie die juristische Problematik dieser Mission und veröffentlichte die erste englischsprachige Monografie zur modernen Piraterie, die breite Beachtung fand.

Der Tatbestand der Seeräuberei sei nur vage definiert, sagt die Juristin – grob gesagt als Gewalttat oder Freiheitsberaubung, die von der Besatzung eines Schiffs gegen jene eines andern ausgeübt wird. Somalische Piraten bevorzugen einfach einzunehmende Schiffe wie etwa Tanker. Heute würden fast alle Handelsschiffe von Sicherheitsfirmen geschützt und seien damit keine attraktiven Ziele mehr. Schwierig für die Unterdrückung der Seeräuberei sei, dass Piraten meist das letzte Glied in einer längeren Kette bilden, ähnlich wie die kleinen Drogendealer, sagt die Professorin.

## Unter Billigflaggen

Was das Seerecht zusätzlich kompliziert macht: Gewisse Staaten können nicht einmal ihre Küstengewässer kontrollieren. Auf dem offenen Meer ausserhalb der Zwölf-Meilen-Zone ist juristisch jener Staat zuständig, in dem ein Schiff registriert wurde. So fährt ein grosser Teil der Handelsschiffe unter Billigflaggen, wie sie etwa Panama oder Liberia vergibt. Petrig findet, dass das rechtliche Regelwerk eigentlich ziemlich detailliert

sei. Aber: «Eine grosse Zahl von Flaggenstaaten setzen die Standards nicht durch, etwa was Arbeitsrecht oder Umweltauflagen betrifft.»

Petrig hat ihr Forschungsgebiet inzwischen auf die maritime Sicherheit im Allgemeinen ausgeweitet. Eine zentrale Frage dabei sei etwa, ob die Menschenrechte auch auf See zu beachten seien. Ja, ist die Juristin überzeugt. Aufgrund des speziellen operationellen Kontexts seien aber noch zig Feinheiten zu klären. Was, wenn ein verhafteter Pirat mitten im Meer sofort einem Richter vorgeführt werden muss? Wer kommt der Pflicht zur Hilfeleistung gegenüber Schiffbrüchigen nach, wenn ein Angriff auf ein Schiff mittels unbemannter Systeme oder aus weiter Distanz ausgeführt wird?

Während des Gesprächs über Seefahrt, Piraterie und dem Recht in internationalen Gewässern klatscht eine dicke Regenschwade gegen die hohen Bürofenster. «Jetzt schüttets aber herunter», sagt die Juristin mit einem Lachen und schliesst rasch die Fenster. Überhaupt scheint das Element Wasser unser Gespräch zu prägen. Später wird die Professorin erzählen, dass sie als Mitglied eines Ruderclubs diese Sportart betreibe, so oft es zeitlich geht – das heisst, wenn es Arbeit und Familie erlauben.

Vorgespart war die Juristerei bei ihr nicht: Ihr Vater, ein nach Freiburg eingewandeter Walliser, war Heilpädagoge, ihre Mutter unterrichtet bildnerisches Gestalten. Zum Rechtsstudium ist Petrig über ihr frühes Interesse an der Politik gekommen. Als Schülerin hatte sie nämlich an der eidgenössischen Jugendsession in Bern teilgenommen und diese teilweise auch mitorganisiert: «Dann sagte ich mir,



In Sachen Piraterie und Kriminalität auf See kennt sich Anna Petrig, neue Professorin für Völkerrecht an der Universität Basel, bestens aus: Die Schweizerin gilt weltweit als gefragte Expertin zum Thema.

Auch ihr Freizeitsport findet auf dem Wasser statt.

### Anna Petrig

geboren 1977, studierte Rechtswissenschaften in Freiburg (Schweiz) sowie Paris, absolvierte einen LL.M. an der Harvard Law School und wurde 2013 in Basel promoviert. Zuvor war sie unter anderem Gastforscherin am Max-Planck-Institut für ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht in Heidelberg und im schwedischen Lund sowie Assistenzprofessorin an der Universität Zürich. Als Verfassungsrätin war sie an der Ausarbeitung der Freiburger Kantonsverfassung beteiligt.

dass man Politik erst betreiben kann, wenn man etwas von Recht versteht.»

In ihrer Habilitationsarbeit befasst sie sich derzeit mit der Frage, über welche Brücken das Völkerrecht in das innerstaatliche Recht der Schweiz übernommen werden kann. Die bestehenden Brückenbestimmungen sind heute nicht mehr zeitgemäss, da sich das Völkerrecht stark gewandelt hat, lautet ihre These.

### Studentin und Verfassungsrätin

Nach der Matura reiste Petrig mit der Transsibirischen Eisenbahn nach China, lebte dabei oft in Gastfamilien und lernte später auch Russisch. Als Studentin war sie bei der Gründung der Freiburger Jungsozialisten dabei und sass für sie im kantonalen Verfassungsrat: «Das war eine spannende Zeit: Was ich in den Vorlesungen gehört habe, etwa im Staatsrecht, konnte ich konkret umsetzen. Daneben hatte ich die Chance, mich mit grundsätzlichen Fragen der Organisation eines Gemeinwesens zu befassen.»

Nach dem Studium entschied sie sich – anders als manche ihrer Kollegen und Kolleginnen –, die Politik aufzugeben, um den Weg der Forschung einzuschlagen und in den USA weiter zu studieren. «Beides zusammen ging damals nicht: In der Wissenschaft werden Mobilität und Flexibilität verlangt, was mir auch eher lag», sagt sie. Politisch im weiteren Sinn betätigte sie sich immer wieder auch in NGOs: «In der Politik muss man sich örtlich festlegen, ist an Interessen gebunden und sollte zu allem gleich eine Meinung haben.» Eine Fragestellung gründlich zu überdenken und im Kopf hin- und herzuwenden – das entspreche ihr besser. ■

Alumnus im Beruf: Theo Stich

# «Mein Studium war eine Schule des Lebens».

Text:  
Bettina Huber



Theo Stich, Alumnus der Universität Basel, ist freischaffender Autorenproduzent und Inhaber der Firma Lumenfilm. In seinen Filmen versucht er einen eigenen Ansatz zu verfolgen: ein neues Thema zu erarbeiten oder ein bereits aufgegriffenes Thema auf originelle Art umzusetzen.

**UNI NOVA:** Herr Stich, wie haben Sie Ihre Liebe zum Film entdeckt?

**THEO STICH:** Während meines Studiums der Geschichte, Germanistik und Philosophie war ich fünf Jahre im Journalismus tätig. Dies war mein erster Kontakt mit dem Filmen. In einem Seminar zur Konstruktion der Wirklichkeit in der Montage lernte ich einige interessante Menschen kennen und erkannte, dass es ausser Newsreportagen auch noch den Dokumentarfilm gibt. Am Ende meines Volontariats beim Schweizer Fernsehen durfte ich einen Beitrag für die Fernsehreihe «Spuren der Zeit» produzieren und habe dabei im Bundesarchiv einen vergessenen Film wiederentdeckt: ein kleiner Erfolg und die Bestätigung, dass ich auf dem richtigen Weg war.

**UNI NOVA:** Hat Sie die Zeit an der Universität beeinflusst?

**STICH:** Mein Studium hat mich stark geprägt. So begleiten mich noch heute die thematischen und methodischen Grundlagen, die ich damals erarbeiten konnte. Ein Schlüsselerlebnis in meiner Studienzeit war das kleine Latinum: Nachdem ich mir zu Beginn nicht viel Mühe gegeben hatte, musste ich den Stoff später aufholen, was viel Disziplin erforderte. Das Studium war damit auch für mich persönlich wichtig: Ich übte mich in Selbststän-

digkeit und Disziplin und lernte, mich für meine Interessen zu motivieren und zu engagieren. Alles in allem betrachte ich das Studium als eine Schule des Lebens – dank dieser Erfahrung kann ich heute das tun, was ich tue.

**UNI NOVA:** Wie sieht der Weg von der Idee bis zum kinoreifen Film aus?

**STICH:** Nehmen wir meinen aktuellen Film «Im Bann des Föhns»: Nach der ersten Idee von 2001 betrieb ich zwischendurch immer wieder Recherche, die ich rund zehn Jahr später vertiefte. Nach den finanziellen Zusicherungen folgten ab 2015 die Dreharbeiten und der Schnitt. Im Januar 2017 war Premiere an den Solothurner Filmtagen. Im Schnitt dauert die Produktion eines Films im besten Fall vier bis fünf Jahre – davon leben können aber die wenigsten Autorenproduzenten. Es gab in meinem Leben immer wieder Phasen der Arbeitslosigkeit, doch hat mein Job auch seinen speziellen Reiz: Ich komme mit spannenden Menschen in Kontakt, betreibe Recherchen vor Ort und schreibe Dossiers. Klar, das Leben als Kulturschaffender ist eine Gratwanderung. Dennoch überwiegen die Freude, selbstbestimmt arbeiten zu können, und das Glück, dass Menschen auf meine Werke reagieren. Jetzt habe ich bereits wieder verschiedenste Ideen in petto. Ob sie verwirklicht werden können, hängt aber auch von den Finanzen ab. ■



## PRO IURE

## Neues Förderprogramm: Besuche im In- und Ausland.

Text: Roman Baumann Lorant, Präsident PRO IURE

**PRO IURE, die Alumni-Vereinigung der Basler Juristen und Juristinnen, hat ein Förderprogramm für Jus-Studierende geschaffen: Unterstützt werden regelmässig Besuche von Rechtsinstitutionen im In- und Ausland. Eine Reise führte kürzlich nach Grossbritannien – nach Oxford und London.**

Der Verein ehemaliger Studierender der Juristischen Fakultät der Universität Basel – PRO IURE – hat ein neues Instrument entwickelt, um den Studierenden eine fachliche Weiterbildung zu bieten. Mit dem Unterstützungsprogramm möchte die Vereinigung Besuche bei in- oder ausländischen Institutionen wie Gerichten, Parlamenten, Strafvollzugsanstalten und internationalen Organisationen ermöglichen. Die Unterstützung sieht dabei so aus, dass der Verein die Reisekosten der Studierenden bis zu einem bestimmten Höchstbetrag übernimmt und sie damit finanziell entlastet. Das Ziel dieses Programms passt auch genau zum allgemeinen Zweck von PRO IURE, nämlich eine Verbindung zwischen Lehre und Praxis herzustellen. Der erste Institutionenbe-

such fand im Oktober 2016 statt, als eine Gruppe von Studierenden den Europäischen Gerichtshof für Menschenrechte in Strassburg besuchte. Die Reise gab den Studierenden einen Einblick in die Arbeit des Gerichtshofs.

### Reise nach Oxford und London

Die Verbindung zwischen Lehre und Praxis im Rahmen des Förderprojekts wurde den Studierenden ein weiteres Mal im Oktober 2017 in Form einer Reise nach Oxford und London ermöglicht. So konnten Interessierte an einem rechtsvergleichenden Seminar unter der Leitung von Prof. Corinne Widmer Lüchinger teilnehmen, das am Corpus Christi College in Oxford durchgeführt wurde. Die Teilnehmenden hatten zuvor eine Seminar- oder Masterarbeit zu einem rechtsvergleichenden Thema verfasst, die sie dann in Oxford präsentierten.

Anschliessend ging es weiter nach London, wo der Besuch des UK Supreme Court geplant war. Dort wohnte die Studierendengruppe einer Gerichtsverhandlung bei und wurde von Richterin und Rechtswissenschaftlerin Baroness Brenda

Hale empfangen. Weiter stand der Besuch der Royal Courts of Justice und des Old Baileys an, wo allen Teilnehmenden die Funktionsweise dieser Gerichte aus erster Hand erläutert wurde. Die Studierenden lernten in London Englands höchste Gerichte kennen, verfolgten eine Gerichtsverhandlung mit und trafen verschiedene Richter und Richterinnen, die ihnen einen Überblick über das englische Gerichtssystem vermittelten.

### Verbundenheit zur Fakultät

Mit dem Projekt der Institutionenbesuche setzt sich der Verein der ehemaligen Studierenden der Juristischen Fakultät der Universität Basel verstärkt für die Förderung der Beziehungen zwischen Studierenden und Alumni ein. So können bestehende Kontakte gepflegt oder auch neue Kontakte geknüpft werden – wenn Absolventen und Absolventinnen ihre Verbundenheit zur Fakultät zum Ausdruck bringen, kann ihr dies wiederum zugutekommen. ■

[pro-iure.ch](http://pro-iure.ch)

AlumniBasel

## Neue Website.

Die Website von AlumniBasel ist von Grund auf neu gestaltet worden. Sie kann jetzt bequem auch auf mobilen Geräten genutzt werden und bietet nicht nur eine modernisierte Optik, sondern auch einen verbesserten Service in den Bereichen Event und AlumniPortal. Ebenso geplant sind zusätzliche Angebote wie eine Galerie und eine Jobbörse. Die Geschäftsstelle bittet alle Alumni und Alumnae, ihre Profile zu aktualisieren und mit einem Foto zu versehen, damit das AlumniNetzwerk lebendig bleiben kann. ■

[alumnibasel.ch](http://alumnibasel.ch)

Literatur und mehr

## Rabatt im «Labyrinth».

Mitglieder von AlumniBasel können ab sofort von einem 10%-Rabatt bei der Buchhandlung «Labyrinth» profitieren. Die Buchhandlung am Nadelberg ist eine Sortimentsbuchhandlung mit geisteswissenschaftlicher Ausrichtung und bietet oft günstigere Preise als viele Online-Buchhändler an. Auf ihrer Website sind diverse Buchempfehlungen, Neuigkeiten aus der Buchhandlung und diverse Veranstaltungen zu finden. ■

[buchhandlung-labyrinth.ch](http://buchhandlung-labyrinth.ch)

**D**er Schweizer Schriftsteller Daniel Zahno, 1963 geboren, lebt in Basel und New York. Er hat an der Universität Basel Germanistik und Anglistik studiert und seine Lizentiatsarbeit bei Prof. Karl Pestalozzi über die Symbolik des Schmetterlings in der Literatur geschrieben. Die Verbundenheit mit der Literatur ist ihm geblieben, er verfasste neun Bücher und erhielt dafür zahlreiche Auszeichnungen, so unter anderem 1997 den Clemens-Brentano-Preis der Stadt Heidelberg für seinen Erstling, den Erzählband «Doktor Turban». Unter anderem war Zahno 2010 Writer in Residence am Deutschen Haus der New York University in Manhattan – wo auch sein aktuelles Buch spielt.

Zahnos Roman «Mama Mafia» handelt vom Rocksänger und Überlebenskünstler Harvy, der im Apple Store in der Grand Central Station in New York ein iPhone klaut – und das, obwohl Zahno selbst ohne Handy lebt. Nach diesem Ereignis verändert sich alles im Leben des Protagonisten. Harvy hat die unterschiedlichsten Schwierigkeiten zu meistern: Er wird erpresst, muss eine Leiche loswerden und verliebt sich in die Geliebte des obersten New Yorker Mafiabosses Tony Tangeroli.



Buchpublikation

## «Mama Mafia» – ein rasanter New-York-Roman.

Dieser wiederum ist jedoch Fan von Harvys Band und will sie gross herausbringen. Harvy begibt sich damit auf eine gefährliche, wilde und verzwickte Reise im Milieu der Mafia. Der Roman ist kurzweilig, sprachmächtig und hochspannend und spielt bewusst auf Kinofilme wie «The Godfather» oder «Pulp Fiction» an. Er ist eine irrwitzige und mit unglaublich grotesker Komik erzählte Gangstergeschichte und eine schrille, atemlose Parforcejagd durch die Strassenschluchten New Yorks mit einem überraschend offenen Ende.

Schon als Elfjähriger begann Daniel Zahno ein erstes Werk. Auch wenn «Mama Mafia» bereits sein neuntes Buch ist, brauche es jeweils seine Zeit, um einen Roman zu verfassen, nämlich zwei bis drei Jahre, so Zahno. Kapitel um Kapitel müsse geschrieben werden, was für ihn ein grosser Kampf sei. Trotzdem konnte Zahno seine Leidenschaft, das Schreiben, seit Längerem zum Beruf machen – und das erst noch äusserst erfolgreich. ■

Mama Mafia  
Roman von Daniel Zahno  
Schöffling & Co., Frankfurt am Main 2017,  
248 Seiten, CHF 28.50

Brief aus Seoul

# Christliche Theologie in Südkorea.

**Meehyun Chung** ist Professorin für systematische Theologie an der Yonsei-Universität in Seoul (Südkorea). Die Theologin wurde 1993 an der Universität Basel mit einer Arbeit über Karl Barth promoviert und lehrte bis 2004 in Seoul. Von 2005 bis 2013 wirkte sie im Gründungsvorstand von AlumniBasel mit und leitete die Abteilung «Frauen und Gender» bei der Mission 21 in Basel.

**A**n die Universität Basel habe ich sehr schöne Erinnerungen: Ich wohnte im Studentenheim an der Bernoullistrasse, wo ausser mir fast nur Schweizer lebten. Darunter gab es einige aus dem Tessin, die oft Spezialitäten wie Gnocchi oder Tiramisù kochten. Dabei habe ich viel gelernt, und erlebt habe ich auch die unterschiedliche Charakteristik der Schweizer Kantone. Das Doktorandenkolloquium fand im Haus meines Doktorvaters Prof. Jan Milič Lochman am Heuberg statt. Für mich war es sehr eindrücklich, in diesem historischen Ort theologische Diskussionen zu führen. Lochman und mein Korreferent Prof. Martin Anton Schmidt waren mir als Lehrer immer gute Vorbilder, so wie es die Skulptur beim Eingang des Kollegienhauses darstellt – sie standen hinter den Studierenden und unterstützten sie.

Seit 2013 bin ich in meiner Heimatstadt Seoul Theologieprofessorin an der Yonsei-Universität, wo es rund 35 000 Studierende sowie 15 000 Dozierende und Angestellte gibt. Meine Schwerpunkte sind unter anderem die feministische Theologie, die Genderperspektive und die ethischen Konsequenzen der Theologie. Ich bin hier die erste Frau in der Position

als Professorin seit der Gründung der Universität im Jahr 1885 – das heisst, ich bewege mich in einer Männerdomäne. Ich empfinde dies als Herausforderung, um das Genderbewusstsein bei meinen Kollegen zu stärken. Ebenso anregend sind für mich die interdisziplinäre Zusammenarbeit und die Verbindung zwischen Theorie und Praxis. Als Universitätspfarrerin halte ich zudem einmal im Monat eine Predigt in der Universitätskirche, der Dozierende, Studierende und Angestellte angehören. Abwechselnd mit meinen Kollegen leite ich auch die Bibelstunden.

Noch heute habe ich Gelegenheit, meine früheren Verbindungen zu Basel weiter zu pflegen. Meine Universität hier in Seoul, samt dem Universitätsspital und der Medizinischen Fakultät, hat im letzten Jahr ein Memorandum of Understanding mit der Universität Basel unterzeichnet. Im Bereich Life Sciences sind Kooperationen in der klinischen Forschung oder gemeinsame Studiengänge geplant. Die Annäherung zwischen den Hochschulen wächst langsam. Ich habe mich sehr darüber gefreut, für die beiden Universitäten die Rolle einer Brückenbauerin spielen zu dürfen. ■



Koreanerin mit Verbindungen  
zu Basel: Theologieprofessorin  
Meehyun Chung.



**Sabine R. Huebner**

ist Associate Professorin für Alte Geschichte an der Universität Basel. Sie interessiert sich in ihrer Forschung vor allem für die Sozial-, Religions- und die Wirtschaftsgeschichte der griechisch-römischen Mittelmeerwelt, historisch-demografische Fragestellungen, Epigrafik und Papyrologie.

Foto: Andreas Zimmermann

**Sabine R. Huebner**

## «A Thousand Miles up the Nile»: Eine Reise mit Folgen.

**«Edwards' Reisebericht war sofort ein Bestseller und machte sie quasi über Nacht reich.»**

Als alleinstehende Frau im viktorianischen England hatte sich die Schriftstellerin Amelia Edwards recht spontan zu einer Expedition nach Oberägypten entschlossen, und diese Reise auf einem Nilschiff bis in die Grenzregion zum Sudan sollte ihr Leben verändern. Ebenso sehr wie ihr Bericht über diese Nilfahrt von 1873/74 fasziniert mich die Autorin – eine Ausnahmeerscheinung ihrer Zeit, die trotz zahlreicher Widerstände konsequent ihre Ideale verfolgte. Ohne eine wissenschaftliche Ausbildung widmete sie sich nach dieser Reise der Erhaltung und Erforschung der ägyptischen Altertümer, leitete Ausgrabungen und wurde zur Mitbegründerin der Ägyptologie. Es war Edwards, die in «A Thousand Miles up the Nile» (1877) zum ersten Mal Bedenken zur Nachhaltigkeit des Ägyptentourismus äusserte, nachdem sie den drohenden Verfall von Denkmälern, die Unachtsamkeit der Touristen und die auf Profit gerichteten Methoden der Ausgräber selbst beobachtet hatte. Doch für die wissenschaftliche Erforschung und Erhaltung der ägyptischen Altertümer brauchte es finanzielle Mit-

tel. Als mitreissende Rednerin zog Edwards daher auf Vortragsreisen durch England und die USA und konnte finanzstarke Förderer für ihre Sache gewinnen. Bald finanzierte ein von ihr mitgegründeter Fonds mehrere wissenschaftliche Ausgrabungen vor Ort.

Anerkennung aus Fachkreisen blieb ihr nicht verwehrt: In einer Zeit, als Frauen an den meisten Universitäten nicht einmal zugelassen waren, trug sie drei Ehrendokortitel. Sie bestimmte zudem, dass aus ihrem Nachlass der erste britische Lehrstuhl für Ägyptologie eingerichtet wurde. Edwards' Reisebericht war übrigens sofort ein Bestseller und machte sie quasi über Nacht reich. Einem Erbsenzähler, der monierte, dass die Strecke von Alexandria bis nach Abusir nur 964½ und nicht 1000 Meilen betrage, entgegnete sie, dass sie vom Endpunkt ihrer Reise noch mindestens 145 Meilen bis zu den Bergen am dritten Katarakt habe sehen können. Der Horizont ist die Grenze des Erreichbaren, und wenn man nicht stehen bleibt, sondern weitergeht, verschiebt sich diese Grenze ins Unendliche. ■

## Ausgewählte Veranstaltungen. November–Dezember 2017



15. November, 18.15 Uhr

### Jerusalem? Thessaloniki! Eine vergessene Geschichte der sephar- dischen Juden

Paneldiskussion mit Sibylle Benz Hübner, Prof. Dr. Erik Petry und Prof. Dr. Harm den Boer  
Universität Basel, Kollegienhaus, Hörsaal 115, Petersplatz 1, Basel

17. November, 18.15 Uhr

### Atherosklerose – eine Autoimmuner- krankung?

Öffentliche Habilitationsvorlesung von PD Dr. Gregor Leibundgut, Privatdozent für Innere Medizin  
Patienten mit Autoimmunerkrankungen neigen oft auch zu Atherosklerose. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den beiden Erkrankungen?  
Naturhistorisches Museum, Aula, Augustinergasse 2, Basel

21. November, 18.15 Uhr

### Essen als Text. Kulinarische Lektüren der Gegenwartskultur

Öffentliche Habilitationsvorlesung von PD Dr. Caspar Battagay, Privatdozent für Neuere Deutsche Literaturwissenschaft und Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft.  
Naturhistorisches Museum, Aula, Augustinergasse 2, Basel



21. November, 18.15 Uhr

### Albrecht Dürer – Kunst zwischen den Fronten

Vortrag von Prof. Dr. Andreas Beyer im Rahmen der Ringvorlesung «Reformation: Abkehr vom Mittelalter, Beginn der Neuzeit?»  
Universität Basel, Kollegienhaus, Aula, Petersplatz 1, Basel

22. November, 18.15 Uhr

### Griechenland zwischen Abendland und Orient – Kulturgeschichte eines Stereotyps

Vortrag von Prof. Dr. Ioannis Zelepos, LMU München  
Universität Basel, Kollegienhaus, Hörsaal 115, Petersplatz 1, Basel

12. Dezember, 18.15 Uhr

### Neue alte Musik – Aktuelles Komponieren im Zeichen der Historischen Aufführungspraxis

Öffentliche Habilitationsvorlesung von PD Dr. Gregor Herzfeld, Privatdozent für Musikwissenschaft.  
Naturhistorisches Museum, Aula, Augustinergasse 2, Basel



13. Dezember, 18.00 Uhr

### Die Kantonsgeschichte von Peter Ochs-Vischer (1752–1821)

Vortrag von Dr. Sara Janner, Universitätsbibliothek Basel  
Peter Ochs-Vischer proklamierte nicht nur am 12. April 1798 in Aarau die Helvetische Republik, er schrieb ab 1786 auch an einer achtbändigen «Geschichte der Stadt und Landschaft Basel». Ochs reflektiert in diesem Werk nicht nur seine Tätigkeit als Rats- und Stadtschreiber zwischen 1782 und 1798, sondern auch die Ergebnisse der politischen Kämpfe in Basel in der Zeit des Übergangs zwischen Helvetik, Mediation und Restauration.  
Universitätsbibliothek Basel, Schönbeinstrasse 18–20, Vortragsaal (1. OG), Basel

14. Dezember, 18.15 Uhr

### Global Slumming: Armutstourismus in zeitlicher und räumlicher Perspektive

Vortrag von PD Dr. Malte Steinbrink, Universität Osnabrück  
Seit den 1990er-Jahren ist die touristische Bereisung städtischer Armutsgebiete im globalen Süden in Mode gekommen. Der «Slum» wird zu einer touristischen Kategorie und entwickelt sich zu einem global-universellen Destinationstypus.  
Geographie-Gebäude, Hörsaal, 5. Stock (Lift), Klingelbergstrasse 27, Basel



14. Dezember, 18.15 Uhr

### Freiheit der Wissen- schaft unter Wett- bewerbsdruck: Herausforderungen der aktuellen Hoch- schulentwicklung

Podiumsdiskussion mit Prof. Edward Constable (Vizerektor Forschung), Prof. Walter Leimgruber (Dekan der Philosophisch-Historischen Fakultät), Prof. Andrea Maihofer (Leiterin des Zentrums Gender Studies) und Prof. Andrea Schenker-Wicki (Rektorin); Moderation: Christoph Keller.  
Universität Basel, Kollegienhaus, Aula, Petersplatz 1, Basel

15. Dezember, 17.15 Uhr

### «No roots, no fruits!»

Prof. Dr. Marcel Tanner, langjähriger Direktor des Swiss TPH, blickt in seiner Abschiedsvorlesung auf sein Engagement für globale Gesundheitsfragen zurück.  
Universität Basel, Kollegienhaus, Aula, Petersplatz 1, Basel

19. Dezember, 18.00 Uhr

### «... dass die Music so gar veracht ...». Musikalisches um die Reformation

Vortrag der Musikwissenschaftler und Musiker PD Dr. Martin Kirnbauer und Marc Lewon im Rahmen der Ringvorlesung «Reformation – Abkehr vom Mittelalter, Beginn der Neuzeit?». Mit musikalischen Beiträgen.  
Universität Basel, Kollegienhaus, Aula, Petersplatz 1, Basel

Medizin neu denken



# Neue Wege in der Medizin

Bei Novartis gehen wir die grössten medizinischen Herausforderungen unserer Gesellschaft mit wissenschaftlicher Innovation an. Unsere Forscherinnen und Forscher treiben die Wissenschaft voran, um das Verständnis von Krankheiten zu vertiefen und neue Produkte zu entwickeln, die unerfüllte gesundheitliche Bedürfnisse befriedigen. Unsere Leidenschaft gilt der Erforschung neuer Methoden, um das Leben zu verbessern und zu verlängern.