

Was hast
Du da
eigentlich
gemacht?

KlarText

2023

PREIS FÜR WISSENSCHAFTS-
KOMMUNIKATION

Ein Preis der

**Klaus Tschira
Stiftung**





KTS/Annette Mueck

LIEBE LESERINNEN UND LESER,

die Welt wird immer komplexer, die Wissenschaft erst recht. Wie sollen wir uns in den hoch spezialisierten Nischen überhaupt noch zurechtfinden? Und wie können wir verstehen, wie Forschung mit unserem alltäglichen Leben zusammenhängt? Die Antwort kann – ganz klar – nur gute Wissenschaftskommunikation sein!

Die wollen wir auch in diesem Jahr zelebrieren. Wir haben sieben Promovierte mit dem KlarText-Preis für Wissenschaftskommunikation ausgezeichnet. Sie erklären besonders anschaulich und verständlich, was sie in ihrer Doktorarbeit geleistet haben. Damit tragen die jungen Forschenden aktiv dazu bei, die Wissenschaftswelt nahbarer zu machen und gelingende Dialoge zwischen Wissenschaft und Gesellschaft zu ermöglichen – eines der Ziele der Klaus Tschira Stiftung.

In diesem Jahr gewähren uns die Preisträgerinnen und Preisträger wieder einen Einblick

in den Maschinenraum der Wissenschaft, in ihre ganz eigenen Nischen. Und nehmen der Welt so etwas von ihrer Komplexität. Diesmal geht es unter anderem um die biologische Vorhersagbarkeit der Laichgebiete von Fischschwärmen, die Auswirkungen bei Signalstörungen im Zilium, den haarartigen Zellfortsatz und molekular neuartig verpackte Medikamente, die zielgenau nur auf geschädigtes Gewebe einwirken. Zudem zeigt uns die von der Jury ausgewählte Infografik auf Seite 40 und 41, wie durch die Verschränkung modernster mikroskopischer Methoden Ribosomen beim Austreten aus dem Zellkern aufgezeichnet werden können.

Wir laden Sie ein: Lassen Sie sich von der Neugier der Forschenden anstecken, nehmen Sie teil an ihrer Welt und treten Sie in den Dialog. Und vielleicht begegnen uns die Errungenschaften von heute in ein paar Jahren in unserem Alltag.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen!

Lilian Knobel

**Geschäftsführerin für Bildung
und Wissenschaftskommunikation der
Klaus Tschira Stiftung**

WAS BEWEGT ...
RAINER MALAKA

DIE PREISTRÄGER:INNEN
AND THE WINNER IS ...

DER KLARTEXT-PREIS
DER WEG AUFS TREPPCHEN

GEOWISSENSCHAFTEN
**MIT FISCHSCHWÄRMEN
IST ZU RECHNEN**

CHEMIE
PASSGENAU GEGEN KREBS

BIOLOGIE
EMPFANGSSTÖRUNG

INFORMATIK
FREUNDLICH, WITZIG ODER BOSSY

MATHEMATIK
**VERRAUSCHTE GLEICHUNGEN &
SUPERCOOLE FLÜSSIGKEITEN**

NEUROWISSENSCHAFTEN
LERNEN AUS DER ZUKUNFT

INFOGRAFIK
MOLEKULARER PFÖRTNER

DER LETZTE KLARTEXT
LUUUSTIG!

Der Informatiker Rainer Malaka erhielt 1997 den Vorläufer des heutigen KlarText-Preises für Wissenschaftskommunikation. In seiner wissenschaftlichen Arbeit befasst er sich mit Künstlicher Intelligenz – deren Zukunft er „notorisch optimistisch“ sieht

S. 6

In diesem Jahr verleiht die Klaus Tschira Stiftung den KlarText-Preis für Wissenschaftskommunikation an sieben Forschende

S. 10

Wie kommt man zu dem begehrten Preis? Wir zeigen, welche Voraussetzungen es gibt, wie ihr Euch bewerben und was ihr gewinnen könnt

S. 14

von **ANNA KATHARINA MIESNER** Infolge des Klimawandels tummeln sich Makrelen und Thunfische mittlerweile sogar in den Gewässern um Grönland. Die Lebensräume vieler Arten verändern sich, die Bedeutung „biologischer Vorhersagen“ steigt

S. 16

von **JAN GABRIEL FELBER** Arzneimittel sollen ihre Wirkung im Körper möglichst gezielt entfalten. Dabei kommt es auf die molekulare Verpackung des medizinischen Wirkstoffes an. Im besten Fall wird er nur in krankem Gewebe freigesetzt

S. 20

von **JAN NIKLAS HANSEN** Fast alle Körperzellen verfügen über einen haarartigen Zellfortsatz. Das primäre Zilium ist hundertmal dünner als ein menschliches Kop haar und für unsere Gesundheit von entscheidender Bedeutung

S. 24

von **SARAH THERES VÖLKE** Auch wenn wir wissen, dass es sich bei Chatbots und Sprachassistenten wie Siri, Alexa und Co. um Maschinen handelt, schreiben wir ihnen unwillkürlich Persönlichkeitseigenschaften zu

S. 28

von **TOBIAS LEHMANN** Seit Jahrzehnten werden mithilfe der Dean-Kawasaki-Gleichung bestimmte physikalische Prozesse beschrieben. Doch eine Analyse der Gleichung ergab nun, dass diese in der Regel gar keine Lösung besitzt

S. 32

von **PHILIPP PAULUS** Wenn wir uns erinnern, denken wir an Ereignisse in der Vergangenheit. In denselben Regionen im Gehirn entstehen aber auch die Vorstellungen von der Zukunft. Deshalb wissen wir beispielsweise, dass Senfeis nicht schmeckt

S. 36

von **JAN RULAND** Der Körper braucht ständig Nachschub an Proteinen. Dazu müssen bestimmte Moleküle – die Ribosomen – die Membran zwischen Zellkern und Zellraum durchdringen. Jetzt gibt es erstmals mikroskopische Bilder davon

S. 40

Ständig reden alle von ChatGPT. Doch wenn man den künstlich intelligenten Chatbot wirklich mal braucht, lässt er einen im Stich

S. 42

„DER MENSCH IST TEIL EINER DIGITALEN ZIVILISATION“

Der Bremer Informatiker und KlarText-Preisträger der ersten Stunde Rainer Malaka ist einer der führenden Forschenden zur Künstlichen Intelligenz (KI). Mit Blick auf die neuen Technologien bezeichnet er sich als „notorischen Optimisten“. Ein Gespräch über eine menschenzentrierte KI – und darüber, was wir von abstürzenden Flugzeugen lernen können



Patrick Pollmeier / Universität Bremen

Zur Person: Rainer Malaka ist Professor für Digitale Medien an der Universität Bremen. Er leitet das Technologie-Zentrum Informatik und Informationstechnik (TZI) und ist Sprecher des von der Klaus Tschira Stiftung geförderten Graduiertenkollegs „Empowering Digital Media“. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören neben Künstlicher Intelligenz auch multimodale Interaktion, Sprachverstehen und Entertainment Computing. Im Jahr 1997 wurde er für seine verständliche Doktorarbeit mit dem Vorläufer des heutigen KlarText-Preises ausgezeichnet.

Herr Malaka, wie halten Sie es eigentlich mit Videospielen?

Das ist ein richtig cooles Forschungsthema! Kennen Sie das Spiel „Half Life: Alyx“?

Nein, noch nie gehört.

Das ist ein Virtual-Reality-Spiel, das ich unlängst probiert habe. Ich teste immer wieder mal neue Spiele, hier am Institut habe ich eine richtige Bibliothek mit Spielen.

In Ihrer Forschung beschäftigen Sie sich viel mit Künstlicher Intelligenz. Was hat die mit Spielen zu tun?

Mich interessiert generell, wie Mensch und Computer miteinander agieren, und da sind Spiele ein interessantes Beobachtungsfeld. Aber gehen wir einen Schritt zurück: Die Lust am Spielen ist bei allen höheren Tieren zu beobachten. Denken Sie an Katzen. Das Spielen ist etwas Positives, weil das Gehirn dadurch lernt, sich in unbekannten Umgebungen zurechtzufinden. Wie Menschen sich in Computerspielen bewegen, ist für die Forschung hoch spannend – und natürlich auch für die Weiterentwicklung der KI.

Erinnern Sie sich an Ihren ersten Kontakt mit der KI?

Das war während meines Studiums in den 1980ern. Die KI ist ja in den 1960er-Jahren erfunden worden. Damals gingen die Erfinder davon aus, dass es sich um ein einfaches Problem handelt, das in zwei Jahren gelöst ist – bis sich dann herausgestellt hat, dass es doch sehr viel schwieriger ist und sehr viel länger dauert. Mich selbst hat das Thema in meiner Studienzeit gepackt. Schon damals habe ich die KI mit Fragestellungen aus der Kognitionswissenschaft verbunden: Wie denken eigentlich Menschen – und was können wir wechselseitig voneinander lernen?

Die Öffentlichkeit erlebte ja erstmals 1996, was für eine gewaltige Kraft in der KI steckt – nämlich als der

Supercomputer Deep Blue den Schachweltmeister Garri Kasparow schlug.

Das war dieser Supercomputer, der so groß war wie ein Kleiderschrank. Das Witzige ist: Seine Rechenkapazität steckt heute in jedem Smartphone. Die damalige KI basierte vor allem auf Suchalgorithmen. Von allen denkbaren Lösungen muss man die beste finden – das war der technische Ansatz. Die heutige KI funktioniert ein bisschen anders, sie setzt auf Statistik. Das ist das Machine Learning, von dem so viel die Rede ist: Gesucht wird nicht nach Lösungen, sondern es werden Antworten generiert, die so ähnlich sind wie diejenigen, die der Computer schon gesehen hat.

Was interessiert Sie als Forscher an dieser Technik?

Zwei Seiten: Erstens, wie der Mensch mit der KI umgeht. Nehmen Sie zum Beispiel einen Chatbot, also einen Algorithmus, der automatisch auf Fragen reagiert. Wir haben untersucht, welche Faktoren die Interaktion von Nutzerinnen und Nutzern mit Chatbots beeinflussen: Was passiert zum Beispiel, wenn die Antworten höflicher oder weniger höflich formuliert sind? Da geht es also um den konkreten Anwendungsbezug. Das zweite Thema ist die Technik dahinter. Man merkt immer wieder, dass die Systeme bei ihren Antworten überhaupt nicht verstehen, worum es geht.

Haben Sie dafür ein Beispiel?

Na klar: Neulich hat eine neuseeländische Supermarktkette eine Anwendung auf ihre Homepage gestellt, mit der die Kundschaft Kochrezepte generieren konnten. Wer wollte, nannte Zutaten, die gerade im Kühlschrank waren, und ließ sich daraus von der KI ein Rezept entwickeln. Die Leute haben dann zum Beispiel geschrieben, dass sie Tomaten, Gurken und Schokokekse haben, und die KI schlug dann frittierte Kekse mit Salat vor. Einige Witzbolde haben dann auch Chlorreiniger oder Insektenspray auf die Zutatenliste gesetzt. Was machte die KI? Generierte daraus gnadenlos Rezepte, die natürlich teils ziemlich giftig waren.

Kann man so etwas der KI nicht beibringen?

Ja, natürlich. Das grundlegende Problem bleibt aber bestehen: Die Technik hat keinerlei tieferes Verständnis für die Zusammenhänge. Ich würde gern dazu beitragen, das zu ändern, und die Algorithmen mit einem tieferen Verstehen versehen. Dieser Gedanke steckt hinter dem MUHAI-Projekt („Meaning and Understanding in Human-centric AI“), an dem ich

beteiligt bin: Mit einem internationalen Team aus Forscherinnen und Forschern wollen wir herausfinden, wie sich der Mensch in den Mittelpunkt der KI stellen lässt. Soziales Wissen und Erfahrungswissen zum Beispiel sind zwei Kategorien, die dafür eine Rolle spielen – bei vielen KI-Systemen aber außen vor bleiben.

Ist es bei der KI eigentlich so ähnlich wie bei den Hackerinnen und Hackern, wo es die Guten und die Bösen gibt – die Ethischen und die Unmoralischen? Nein, das würde ich nicht sagen. Es gibt eher die Vertreterinnen und Vertreter der linken und der rechten Gehirnhälfte.

Wie meinen Sie das?

Die rechte Gehirnhälfte ist beim Menschen für schnelle, assoziative Gedanken zuständig. Das entspricht dem, was ChatGPT und die anderen Anwendungen des maschinellen Lernens machen. Wenn sie eine neue Anfrage bekommen, dann antworten sie auf der Basis großer Datenmengen assoziativ. Das geht verblüffend schnell und oft verblüffend gut. Darauf stürzt sich gerade die Industrie, weil dieser Bereich eben beeindruckende Effekte hervorbringt. Aber dann gibt es noch die linke Gehirnhälfte, die für das rationale Denken zuständig ist und oft ziemlich lang braucht.

Und Sie wollen diese linke Gehirnhälfte auf den Computer übertragen?

Genau, das ist der Gedanke hinter unserem MUHAI-Projekt. Aber mit Gut und Böse hat das nichts zu tun. Wir Menschen haben ja auch beide Hirnhälften. Für den Alltag reicht uns ein schnelles, assoziatives Denken. Aber ab und zu sollten wir eben doch ein bisschen mehr nachdenken.

Es klingt so harmlos, wenn Sie das sagen. Trotzdem forderten führende KI-Forschende unlängst ein Moratorium. Damit wollen sie verhindern, dass die Künstliche Intelligenz irgendwann das Kommando über den Menschen übernimmt.

Die Informatik-Community hat zu lange gesagt: „Wir bauen ja nur die Technik, und irgendwelche Ethiker sollen sich um die Regeln kümmern, wie sie dann eingesetzt wird.“ Das halte ich für zu einfach, denn natürlich müssen wir Informatikerinnen und Informatiker auch unsere Verantwortung wahrnehmen. Politik und Rechtsprechung hinken immer zehn, zwanzig Jahre hinterher: Sie verstehen am Anfang gar nicht, was wir da bauen und welche Möglichkeiten sich daraus ergeben. Es findet aber bei den Informatikerinnen und Informatikern gerade ein Umdenken statt, und die Forderung nach dem KI-Moratorium zeigt das ja sehr gut.

Trotzdem: Haben Sie manchmal Sorge, dass die KI den Menschen über den Kopf wächst?

Spannend, wie die Leute sich jetzt auf einmal an ChatGPT reiben. Ich empfinde das nicht als Bedrohung. Mir bereitet es viel mehr Sorgen, wie die Menschen mit ihrer Privatsphäre umgehen. Wir sprechen da vom Privacy Paradox: Wenn Sie irgendwo am Bahnhof in einer Zeitschrift blättern und hinter Ihnen steht jemand, der sich Notizen macht, wie lange Sie auf welcher Seite bleiben und welche Bilder Sie sich anschauen, würden Sie vermutlich die Polizei rufen. Aber gleichzeitig bauen sich die Leute Siri oder Alexa ins Wohnzimmer ein, und deren Mikrofone hören den ganzen Tag im Prinzip alles mit, was dort passiert. Wer in der Welt von Facebook, Amazon, Instagram oder TikTok lebt, über den hat heute schon jemand eine Art von Herrschaft. Da müssen wir nicht auf irgendeine KI warten.

Aber was wollen Sie mit der menschenzentrierten KI denn anders machen?

Ich wünsche mir, dass wir durch die Interaktion mit künstlichen Systemen mehr Freiheiten gewinnen – und sie nicht verlieren oder die Steuerung abgeben. Ich ziehe immer gern ein Beispiel aus der Mensch-Maschine-Interaktion heran, nämlich den Autopiloten in Flugzeugen: Der funktioniert über Stunden hinweg zuverlässig, aber dann kommt die Maschine in ein Unwetter, die Instrumente fallen aus und das Flugzeug ist im freien Fall. In diesem Moment schaltet sich der Autopilot ab und sagt: Pilot, übernimm du! Und der muss dann innerhalb weniger Sekunden entscheiden, was zu tun ist. Das geht nicht immer gut aus, weil er nicht weiß, wie es zu der Situation gekommen ist. Übertragen auf die Künstliche Intelligenz bedeutet das: Wir Menschen sollten immer die Fäden in der Hand behalten und nicht vor fertige Entscheidungen der KI gestellt werden.

Ist das ein Plädoyer für eine andere KI?

Ich wünsche mir auf jeden Fall eine erklärbare und erklärende KI. Sie darf keine Blackbox sein, wo nachher niemand weiß, wie ihre Entscheidungen zustande gekommen sind. Es soll eine KI sein, die interaktiv ist und den Menschen mitnimmt, statt ihn außen vor zu lassen. Kurzum: Ich finde, der Mensch ist Teil einer digitalen Zivilisation – aber er muss aktiv und mündig bleiben.

Die Fragen stellte **Kilian Kirchgeßner**



„Was hast Du da eigentlich gemacht in Deiner Doktorarbeit?“ – um die Antwort auf diese Frage geht es bei KlarText, dem Preis für Wissenschaftskommunikation der Klaus Tschira Stiftung. Denn die Stiftung sucht jedes Jahr Wissenschaftler:innen, die eine sehr gute Doktorarbeit geschrieben haben – und die Lust haben, einer an Wissenschaft interessierten Öffentlichkeit zu erklären, was sie da genau erforscht haben.

Schon seit über 25 Jahren ermuntert der KlarText-Preis Forschende, sich in der Wissenschaftskommunikation auszuprobieren. Schließlich brauchen wir in einer hoch spezialisierten Welt verständlich kommunizierende Expert:innen im gesellschaftlichen Dialog. Dafür möchte der KlarText-Preis das Bewusstsein stärken und ihnen eine Bühne bieten.

Seit 2022 gibt es neben der Sparte Text auch die Möglichkeit, eine Infografik einzureichen. Denn diese können komplexe Informationen und Zusammenhänge

Das ist der

KlarText-Preis

für Wissenschaftskommunikation

besonders anschaulich vermitteln und gewinnen in der Wissensvermittlung stetig an Bedeutung. Um Promovierte nachhaltig zu motivieren, ihre Forschung für die Öffentlichkeit auch visuell zu kommunizieren, ist die Infografik zu einer fest etablierten Sparte geworden.

Wer sich im nächsten Jahr um den KlarText-Preis bewerben will, findet auf der Website alle Informationen. Dort zeigen wir auch Filmporträts der Preisträger:innen.

www.klartext-preis.de/preistraeger/

Den KlarText-Preis für Wissenschaftskommunikation gibt es seit 1997.

Gestiftet wurde er von Klaus Tschira (1940–2015), Physiker und SAP-Mitgründer, als erstes eigenes Projekt der Klaus Tschira Stiftung.

AND THE WINNER IS ...

Der KlarText-Preis für Wissenschaftskommunikation geht in diesem Jahr an sieben Forschende

Annette Mueck



ANNA KATHARINA MIESNER kam

1988 in Flensburg zur Welt. Im Zuge ihres Bachelorstudiums an der BTU Cottbus-Senftenberg absolvierte sie ein Auslandssemester an der Charles Darwin University, Australien, und entdeckte ihre Liebe für Meereswissenschaften. Im Anschluss zog sie nach Kopenhagen und studierte „Aquatic Science and Technology“ im Master. Dort begann sie auch ihre Promotion mit dem Thema „Forecasting the marine biological environment. Exploring the spatial distribution of a North Atlantic fish species at the example of Blue Whiting“, die sie am Helmholtz-Zentrum Hereon und mit der Universität Hamburg fertigstellte. In ihrer aktuellen Elternzeit versucht sie Menschen für die Natur- und Vogelwelt Nordfrieslands zu begeistern.

Für ihren Beitrag **Mit Fischschwärmen ist zu rechnen** erhält sie den KlarText-Preis im Fachgebiet Geowissenschaften.

Annette Mueck

**JAN GABRIEL FELBER** ist Jahr-

gang 1993 und stammt aus Augsburg. Nach dem Grundlagenstudium der Chemie an der Humboldt-Universität zu Berlin zog es ihn für die Spezialisierung in Organischer Synthese an die Ludwig-Maximilians-Universität nach München und Newcastle in Großbritannien. Im Anschluss schrieb er im Fachgebiet der Chemischen Biologie seine Doktorarbeit zum Thema „Cellular redox probes and bio-reductive prodrugs“. Während der Promotion absolvierte er zudem einen Gastaufenthalt am Scripps Research Institute in San Diego in den USA.

Für seinen Beitrag **Passgenau gegen Krebs** erhält er den KlarText-Preis im Fachgebiet Chemie.

Annette Mueck

**JAN NIKLAS HANSEN** wuchs

zwischen Köln und Bonn auf und studierte an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Molekulare Biomedizin im Bachelorstudium und Life and Medical Sciences im Masterstudium. Nach einem kurzen Forschungsaufenthalt in Trondheim, Norwegen, kehrte er für seine Promotion zum Thema „Ciliary cAMP signaling – cellular function and mechanisms“ nach Bonn zurück. Neben dem Studium beteiligte er sich als Moderator und Teilnehmer an Science Slams und betrieb gemeinsam mit anderen Promovierenden den „ImmunoSensation Blog“ in Bonn. Als Postdoc setzt er seine Forschung an Zilien mit interdisziplinären Methoden fort.

Für seinen Beitrag **Empfangsstörung** erhält er den KlarText-Preis im Fachgebiet Biologie.



SARAH THERES VÖLKE

wurde 1989 in Ahaus geboren. An der RWTH Aachen studierte sie Informatik und Technik-Kommunikation mit Schwerpunkt Informatik. Für ihre Promotion zog sie nach München und forschte an der Ludwig-Maximilians-Universität zum Thema „Conversational Agents with Personality“ im Fachbereich Mensch-Computer-Interaktion. Inzwischen ist sie als User Experience Researcher bei Google in München tätig und widmet ihre Forschung der Sicherheit von Kindern im Internet.

Für ihren Beitrag **Freundlich, witzig oder bossy** erhält sie den KlarText-Preis im Fachgebiet Informatik.

Annette Mueck



TOBIAS LEHMANN kam 1989 in

Leipzig zur Welt. Nach seinem Bachelor in Biomathe-matik an der Universität Greifswald absolvierte er einen Master in Mathematical Sciences an der britischen University of Bath. In seiner Promotion an der Universität Leipzig beschäftigte er sich mit dem Thema „Contributions to measure-valued diffusion processes arising in statistical mechanics and population genetics“. Seit Ende 2020 arbeitet er als Revisor im Bereich Kreditrisiko bei der Uni-Credit Bank AG in München.

Für seinen Beitrag **Verrauschte Gleichungen & supercoole Flüssigkeiten** erhält er den KlarText-Preis im Fachgebiet Mathematik.

Annette Mueck



PHILIPP PAULUS wurde 1989 in Stuttgart geboren. Für sein Psychologiestudium zog er nach Dresden und studierte dort an der Technischen Universität. Am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig promovierte er zum Thema „Schema and value: Characterizing the role of the rostral and ventral medial prefrontal cortex in episodic future thinking“. Mittlerweile arbeitet er als Postdoc an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg im Breisgau.

Für seinen Beitrag **Lernen aus der Zukunft** erhält er den KlarText-Preis im Fachgebiet Neurowissenschaften.

Annette Mueck



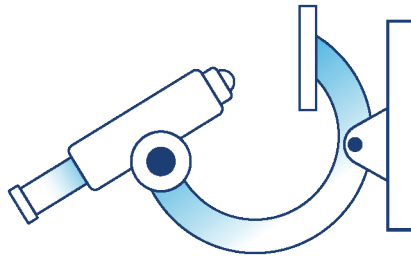
JAN RULAND ist Jahrgang 1992 und wurde in Troisdorf geboren. Er studierte Chemie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn und promovierte im Bereich der biophysikalischen Chemie zum Thema „Analyse der intranukleären Dynamik und des Exports der ribosomalen 60S-Untereinheit“. Derzeit setzt er seine Forschung als Postdoc fort und untersucht bakterielle Membrantransporter, die es Krankheitserregern ermöglichen, die Immunantwort des Wirts zu umgehen.

Für seinen Beitrag **Molekularer Pfortner** erhält er den KlarText-Preis in der Kategorie Infografik.

Annette Mueck

DER WEG AUFS TREPPCHEN

Die Klaus Tschira Stiftung zeichnet jedes Jahr Forschende mit dem KlarText-Preis für Wissenschaftskommunikation aus. Hier zeigen wir, wie ihr teilnehmen könnt und welche Preise euch winken

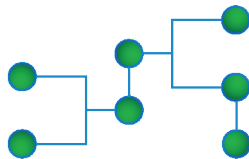


ARTIKEL

Voraussetzung für deine Bewerbung

Du hast eine mit »sehr gut« benotete Doktorarbeit in den Fachgebieten Biologie, Chemie, Geowissenschaften, Informatik, Neurowissenschaften, Mathematik oder Physik geschrieben.

INFOGRAFIK



1. Jurystufe
»Lesbarkeit und Verständlichkeit«
Medienschaffende

»Was hast Du da eigentlich gemacht in Deiner Doktorarbeit?«



Unser Ziel

1. Jurystufe
»Lesbarkeit und Verständlichkeit«
Medienschaffende

2. Jurystufe

»Der wissenschaftliche Blick«
Fachgutachter:innen

3. Jurystufe

Sprachjury
Redakteur:innen
und Forschende

Wir möchten euch ermuntern,
eure wissenschaftliche Arbeit
so zu erklären, dass auch
Nichtwissenschaftler:innen
verstehen, was ihr da gemacht habt.

Den Gewinner:innen winken

Preisgeld in Höhe von
7500 €

Veröffentlichung des
preisgekrönten **Artikels**
oder der **Infografik**

Medienkit mit Videoporträt
und Fotoshooting

Bonus

Aufnahme in das Alumni-Netzwerk
der Stiftung und Teilnahme an
Weiterbildungen und Netzwerktreffen

Der KlarText-Preis in Zahlen

- seit 1997 vergeben
- 117 Preisträger:innen
ausgezeichnet
- über 1200 Teil-
nehmende an Kommu-
nikationsworkshops

2. Jurystufe

»Der wissenschaftliche Blick«
Fachgutachter:innen

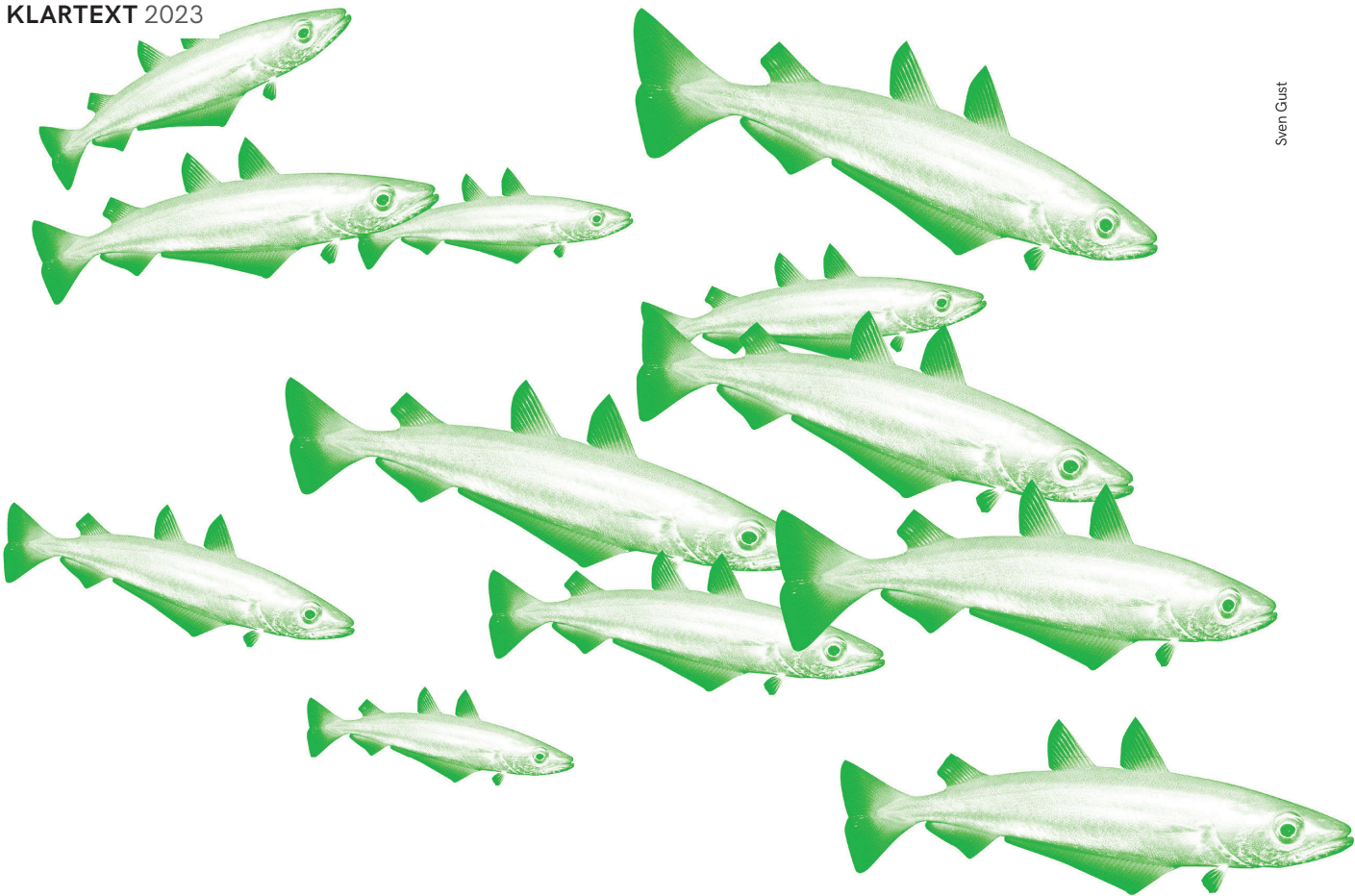
3. Jurystufe

Infografikjury
Expert:innen aus
Forschung, Medien
und Kommunikations-
design

Niemand geht leer aus!

Wir laden alle Teilnehmenden
zu einem zweitägigen Work-
shop »Verständlich Schrei-
ben« oder »Visualisieren« ein.
Außerdem könnt ihr euren
Beitrag in jedem Fall im
KlarText-Blog veröffentlichen.

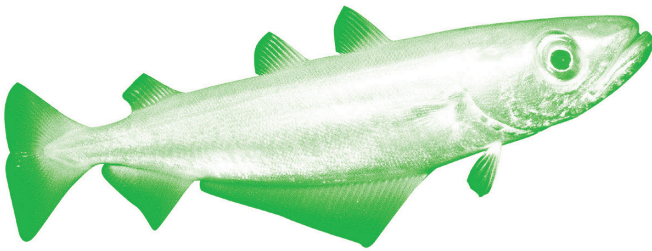




SIE WAREN NOCH NIE so weit im Norden, doch nun ziehen sogar Makrelen und Thunfische durch die Gewässer um Grönland. Infolge des Klimawandels verändern sich die Lebensräume vieler Arten. „Biologische Vorhersagen“ könnten Politik und Fischerei auf solche Veränderungen vorbereiten

MIT FISCH-SCHWÄRMEN IST ZU RECHNEN

von ANNA KATHARINA MIESNER



Nur: Was sind biologische Vorhersagen? Menschen, die alljährlich von Heuschnupfen geplagt sind, kennen sie: die Vorhersagen zum Pollenflug. Der Clou dieser Vorhersagen ist, dass sie sich nicht auf Pollenzählungen stützen, sondern stattdessen auf Wetterinformationen. Obwohl es auch für einige Meeresorganismen operationelle Vorhersagen wie für den Pollenflug gibt, steckt die Entwicklung von biologischen Vorhersagen noch in ihren Kinderschuhen. Dabei haben sie ein großes Potenzial.

Weil Wasser die Wärme viel länger speichern kann als Luft, sind Vorhersagen der Meerestemperatur über einen viel längeren Zeitraum möglich. Unter anderem dank dieser hohen Wärmekapazität ist es in einigen Gebieten möglich, Veränderungen des Meeresklimas – also der Temperatur und auch des Salzgehaltes – einige Jahre im Voraus zu bestimmen. Der Nordatlantik ist so ein Gebiet – das haben Forscher:innen der Universität Hamburg anhand von

Klimamodellen gezeigt. Dies birgt in dieser Region ein großes Potenzial für biologische Vorhersagen.

Im Rahmen unserer Arbeit wollten wir Veränderungen der räumlichen Verbreitung von Meeresorganismen besser verstehen, modellieren und schließlich vorhersagen. Dafür wählten wir eine Fischart, die im Nordatlantik weit verbreitet ist und von der es Beobachtungen aus einem halben Jahrhundert gibt: den Blauen Wittling.

Er ist wenig bekannt, da er kein typischer Speisefisch ist. Meist wird er weiterverarbeitet zu Fischstäbchen, Fischfutter oder Omega-3-Öl. Sein Zuhause ist der Nordostatlantik, wo man ihn nördlich der Kanarischen Inseln über die Azoren bis nach Grönland und Spitzbergen antrifft.

Im Frühling treffen sich die zur Familie der Dorsche gehörenden Blauen Wittlinge zur Paarung in einem Gebiet westlich von Irland. Auf diesen Zeitpunkt warten viele Wissenschaftler:innen, da sie dann die Zahl der bis zu 50 Zentimeter langen Fische im Nordostatlantik schätzen können. Diese Information ist essenziell, um Fischer:innen kompetent zu beraten und nachhaltige Fangquoten zu ermitteln.

Problematisch ist jedoch, dass die Größe des Laichgebietes des Blauen Wittlings stark variiert. In manchen Jahren umfasst es einen schmalen Streifen entlang des europäischen Kontinentalschelfs westlich von Irland. In anderen Jahren ist es um ein Vielfaches größer; dann erstreckt sich das Laichgebiet vom Kontinentalschelf bis zum 500 Kilometer weiter westlich gelegenen Rockall-Plateau nordwestlich von Irland – einem Unterwassergebirge, dessen Gipfel aus dem Wasser ragen. Vorhersagen über die Lage und Größe des Laichgebietes wären daher sehr nützlich. Derartige biologische Vorhersagen könnten dazu beitragen, die Größe der Population korrekt abzubilden, und helfen, die Fischart nachhaltig zu bewirtschaften.



Anna Katharina Miesner liebt das Meer. In ihrer Doktorarbeit entwickelte sie Methoden, um die Verbreitung eines im Nordatlantik beheimateten Fisches vorherzusagen

Seit Jahren vermuten Wissenschaftler:innen, dass Veränderungen des Meeresklimas das Laichgebiet des Blauen Wittlings beeinflussen. Aufgrund der spärlichen Datenlage konnte diese Vermutung jedoch bisher nicht überprüft werden. Wir konnten erstmals einen direkten und messbaren Zusammenhang zwischen Meeresklima und räumlicher Verbreitung des Laichgebietes des Blauen Wittlings herstellen.

Durch die Kombination von Beobachtungen der Larven des Blauen Wittlings und Beobachtungen des Meeresklimas gelang es uns, statistische Modelle der Artenverteilung zu erstellen. Diese Modelle, die ich zusammen mit Mark Payne am National Institute of Aquatic Resources an der Technical University of Denmark entwickelte, zeigen eine Ausdehnung des Laichgebietes über das Rockall-Plateau hinaus bei warmen und salzhaltigen Bedingungen. Bei kälteren und weniger salzigen Bedingungen zieht sich das Laichgebiet hingegen entlang des Kontinentalschelfs zurück, was frühere Untersuchungen bestätigt. Zudem fanden wir heraus, dass der Blaue Wittling seine Eier bevorzugt in Bereichen mit einem bestimmten Salzgehalt ablegt. Somit beschreibt unsere Arbeit nicht nur die Beziehung zwischen dem Blauen Wittling und seiner Umwelt, sondern macht sie auch messbar. Diese Quantifizierung der Beziehung zwischen dem Blauen Wittling und dem Meeresklima nutzten wir als Grundlage für biologische Vorhersagen.

Um biologische Vorhersagen zu erstellen, benötigt man zudem zuverlässige Vorhersagen des Meeresklimas auf der Basis dynamischer Erdsystemmodelle. Das sind komplexe Modelle, die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Land, Ozean und Meereis simulieren und so das Klimasystem repräsentieren. Mithilfe des Erdsystemmodells des Max-Planck-Instituts für Meteorologie und zusammen mit Forscher:innen vom Helmholtz-Zentrum Hereon und der Universität Hamburg untersuchten wir die Vorhersagbarkeit des Meeresklimas im Laichgebiet des Blauen Wittlings.

ZUM THEMA

GROSS UND UNSICHTBAR

Immer wieder kreuzen Wale die Routen großer Schiffe. Dank biologischer Vorhersagen lassen sich fatale Kollisionen verhindern

Da Vorhersagen für die Zukunft natürlich nicht überprüfbar sind, wird ihre Qualität in der Klimaforschung rückblickend bestimmt. Um herauszufinden, ob das Erdsystemmodell in der Lage ist, das Meeresklima zuverlässig vorherzusagen, haben wir also Vorhersagen für einen Zeitraum in der Vergangenheit gemacht und sie dann mit verschiedenen Beobachtungsdatensätzen verglichen. Dabei fanden wir heraus, dass zuverlässige Vorhersagen der Temperatur und vor allem des Salzgehaltes im Laichgebiet des Blauen Wittlings bis zu einem Jahr im Voraus möglich sind.

Somit kennen wir beide Voraussetzungen für eine Vorhersage des potenziellen Laichgebietes des Blauen Wittlings: Wir wissen erstens, wie das Meeresklima die Verbreitung des Laichgebietes beeinflusst – und dass zur Eiablage ein bestimmter Salzgehalt optimal ist. Zweitens können wir den Salzgehalt zuverlässig prognostizieren. Im nächsten Schritt verwendeten wir das Erdsystemmodell, um das potenzielle Laichgebiet des Blauen Wittlings vorherzusagen. Zunächst machten wir rückblickende Vorhersagen für den Salzgehalt im Nordostatlantik zur Paarungszeit des Blauen Wittlings. Unsere zuvor gewonnene Erkenntnis, dass der Blaue Wittling seine Eier in einem bestimmten Salzgehaltbereich legt, ermöglichte es uns nun, jene Gebiete zu lokalisieren, die als mögliches Laichgebiet dienen. So konnten wir physikalische Vorhersagen des Meeresklimas in biologische Vorhersagen übersetzen. Diese rückblickenden Vorhersagen des potenziellen Laichgebietes verglichen wir mit bereits existierenden Daten über den Blauen Wittling. Dabei zeigten einjährige Vorhersagen eine gute Übereinstimmung – insbesondere in der Region des Rockall-Plateaus.

Aus der Kombination physikalischer und biologischer Vorhersagen lassen sich relevante Informationen für Manager:innen, Politiker:innen und Stakeholder:innen ableiten. Sie haben ein großes Potenzial – gerade in Gebieten, in denen klimatische Veränderungen besonders stark sind oder die Bevölkerung abhängig von marinen Ressourcen ist. So kann deren Bewirtschaftung dynamischer, nachhaltiger und klimaresilienter werden.

Mehr als 90000 Schiffe durchqueren jeden Tag die Weltmeere. Diese Zahl steigt weiter – und damit auch die Gefahr für die größten Meeresbewohner. Jedes Jahr, so schätzen Expert:innen, werden rund 20000 Wale Opfer von Zusammenstößen mit großen Schiffen. Weil die Kollisionen oft unbemerkt geschehen und die Kadaver rasch versinken, dürfte die Dunkelziffer viel höher liegen.

Ein Drama, wenn man bedenkt, wie bedroht viele der Walarten sind. Von dem knapp 20 Meter großen Nordkaper etwa gibt es noch 100, vielleicht 200 Tiere. Aufgrund des Klimawandels wandern sie immer weiter nordwärts, direkt in die Hauptschiffahrtstrassen Nordamerikas. Allein zwischen April 2017 und Januar 2018 kamen dort 18 Tiere zu Tode.

Mithilfe biologischer Vorhersagen könnten viele Wale gerettet werden. Wie das funktionieren kann, zeigt ein Team um Helen Bailey vom University of Maryland Center for Environmental Science. Bei WhaleWatch geht es um den Schutz von Blauwalen vor der Westküste der USA. Die Forscher:innen hatten Satellitendaten aus der Zeit von 1993 bis 2009 ausgewertet und diese mit den Zugrouten von markierten Walen kombiniert. „Danach wussten wir nicht nur, wohin die Wale ziehen, sondern auch warum.“ Denn die Satellitendaten enthalten nicht nur Wassertiefen und -temperaturen, sondern auch Parameter zum Nahrungsangebot.

Ähnlich wie bei Wettervorhersagen lassen sich auf der Basis dieser Daten nun tagesaktuelle Karten mit den wahrscheinlichen Aufenthaltsorten von Blauwalen bereitstellen. Auf deren Grundlage können Behörden Umleitungen oder Geschwindigkeitsbegrenzungen anordnen – zwei hochwirksame Methoden, die nun auf weitere Arten ausgeweitet werden.

Eine Studie der Meeresschutzorganisation Oceana dämpft allerdings den Optimismus. Vor der ebenfalls vielbefahrenen Ostküste der USA wird das Tempolimit von 10 Knoten zum Schutz der Wale demnach von fast 90 Prozent aller Schiffe ignoriert. Es müsste viel konsequenter kontrolliert und bestraft werden. --- J. Schüring

ARZNEIMITTEL KANN MAN SICH vereinfacht wie molekulare Schlüssel für biologische Schlösser vorstellen. Dabei spielt ihre gezielte Wirkung im Körper eine wichtige Rolle. Was wäre, wenn ein medizinischer Wirkstoff so verpackt wird, dass nur krankes Gewebe ihn freisetzt?



von JAN GABRIEL
FELBER

PASSGENAU GEGEN KREBS



Das Schlüssel-Schloss-Prinzip beschreibt die Wirkung von Arzneimitteln erstaunlich gut. Viele Medikamente kann man sich als molekulare Schlüssel vorstellen, die biologische Schlösser aufschließen. Nach der Öffnung des Schlosses wird ein Prozess zur Bekämpfung einer Krankheit in Gang gesetzt. Je passgenauer der Schlüssel dabei im Schloss sitzt, desto gezielter wirkt er.

Die Herausforderung für Chemiker:innen liegt darin – um im Bild zu bleiben –, die Zacken am Schlüsselbart auf molekularer Ebene so fein zu schleifen, dass der Schlüssel am Ende in nur genau ein Schloss passt. Dies führt dann im besten Fall zur heilenden Wirkung mit möglichst geringen Nebenwirkungen.

Eine weitere Herausforderung bei der Entwicklung von Arzneien liegt in der optimalen Verpackung des Schlüssels für den Transport an das richtige Ziel – das von Krankheit betroffene Gewebe. Es gibt nämlich Hürden bei der Aufnahme und Verteilung von Wirkstoffen im menschlichen Körper. So können manche Medikamente nicht über Schleimhäute im Magen aufgenommen werden, sodass sie ohne Wirkung dort zersetzt oder direkt ausgeschieden werden.

Dies wird verhindert, wenn man den Schlüssel, also das Arzneimittel, in einen maßgeschneiderten molekularen Mantel verpackt. Wenn sich dieser dann nach der Aufnahme im Gewebe zersetzt, führt das zur Freisetzung des Wirkstoffes.

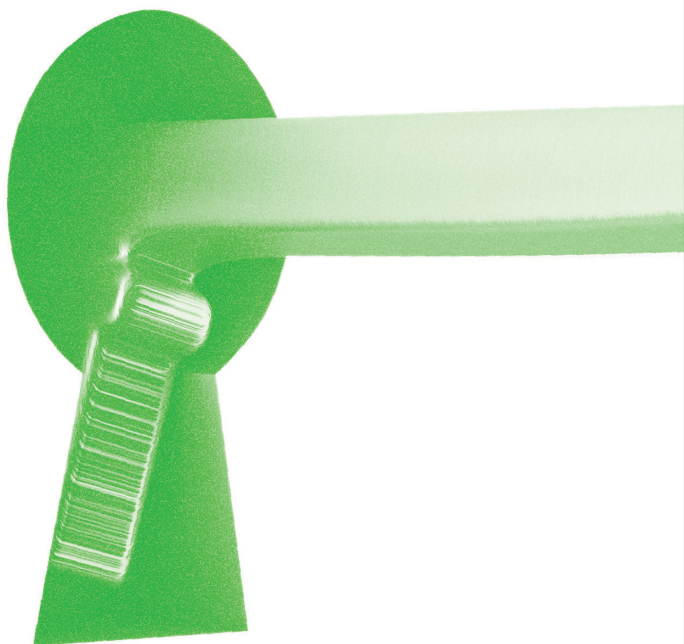
Bei der Wirksamkeit einer Arznei kommt es also neben dem passenden Schlüssel stets auf die richtige Verpackung an. Solche molekularen Mäntel werden im Körper möglichst zielgenau aufgelöst. Damit die Wirkung räumlich begrenzt bleibt, braucht es also spezielle enzymatische Prozesse, die nur in krankem Gewebe vorkommen.

**Der klassische Arbeitsplatz
eines Chemikers: Jan Gabriel
Felber im Labor**



Und genau hier liegt derzeit das wesentliche Problem: Bisherige Medikamente treffen meist nicht ausschließlich krankes Gewebe. Dies ist beispielsweise bei dem breit eingesetzten Chemotherapeutikum Irinotecan der Fall: Man hofft bei der Freisetzung des giftigen Wirkstoffes gegen Krebs auf den erhöhten Stoffwechsel im Krebstumor. Trotzdem wird er auch vielfach im übrigen Körpergewebe abgegeben und richtet dort Schäden an.

Im Rahmen unserer Arbeit entwickelten wir neuartige chemische Strukturen, um damit hochwirksame Krebsmedikamente – also besonders fein geschliffene Schlüsseln – so zu verpacken, dass nur ganz bestimmte Enzyme das Medikament freilegen können. Diese Enzyme sind im Krebsgewebe überdurchschnittlich aktiv. Vielversprechend ist dieser Ansatz, da er unabhängig vom gewünschten Medikament modular einsetzbar sein könnte. Das heißt, damit könnte eine Vielzahl von Krankheiten bekämpft werden.



Eine molekulare Verpackung für Arzneimittel darf nicht zu anfällig, aber auch nicht zu beständig sein. Wir wollten wissen, wie eine molekulare Verpackung aussehen muss, damit sie vom gesunden Gewebe nicht gleich aufgelöst wird. Dann mussten wir sicherstellen, dass nur spezielle Enzyme in krankem Gewebe eine solche Verpackung auflösen und so den Wirkstoff freigeben. Und zu guter Letzt mussten wir natürlich sicherstellen, dass der gewünschte Effekt im Kampf gegen Krebs wirklich besser funktioniert als bei Standardwirkstoffen wie beispielsweise Irinotecan.

Bei unseren Experimenten zur Herstellung eines molekularen Mantels bedienten wir uns eines Tricks. Wir umhüllten damit einen abschaltbaren Farbstoff – sozusagen eine molekulare LED-Leuchte. Zusammen mit Karoline Scholzen vom Karolinska-Institut für Biochemie in Stockholm setzten wir diese Verpackung dann verschiedenen Enzymen aus. Und tatsächlich: Nur ein bestimmtes Enzym, das häufig in Krebsgeweben vorkommt, konnte mit unseren neuen Strukturen reagieren und so die Verpackung auflösen.

Nun musste sich zeigen, ob unsere neue molekulare Verpackung auch für den Transport und die gezielte Freisetzung von Arzneimitteln einsetzbar ist. Zur Bekämpfung von Krebstumoren werden normalerweise Zellgifte verwendet, die leider häufig zu Nebenwirkungen führen. Es gibt nur wenige dieser starken Mittel, deren Wirkung durch gezieltes Verpacken inaktiviert wird. Erfreulicherweise haben die Wirkstoffe der sogenannten Duocarmycine genau diese Eigenschaften.

Im Labor stellten wir eine Reihe neuer Wirkstoffkandidaten dieser Art her – verpackten also äußerst fein geschliffene Schlüssel mit unserem neuartigen Mantel. Uns gelang es, die Stärke des Wirkstoffes gezielt zu steuern – je nachdem, wie anfällig oder beständig der jeweils verwendete Mantel war. Zuletzt, in genetisch veränderten Zellen, die das spezielle Enzym zum Öffnen der Verpackung nicht enthielten, wurde der Wirkstoff folgerichtig auch nicht freigesetzt.

Damit konnten wir den nächsten Schritt gehen und die konkrete Anwendung für die Krebstherapie erforschen. In Zusammenarbeit mit der Firma Reaction Biology in Freiburg und den National Institutes of Health (NIH) der USA testeten wir knapp 200 Zelllinien unterschiedlicher Krebsarten. Bei einer dieser Krebsarten beobachteten wir im Versuch mit Mäusen eine hemmende Wirkung. Unser Präparat wirkte dabei ähnlich gut gegen das Tumorstadium wie Irinotecan – bei geringerer Dosis. Das ist ein vielversprechendes Ergebnis, auch wenn noch viel Zeit vergehen wird, bis unser Medikament bei Menschen eingesetzt werden kann. Zusammen mit Oliver Thorn-Seshold und Lukas Zeisel von der Ludwig-Maximilians-Universität München haben wir die zugrundeliegenden Strukturen der Verpackung zum Patent angemeldet.

Das Ziel möglichst spezifischer Krebsmedikamente wird von vielen Forschenden und Unternehmen verfolgt. Das niederländische Start-up Byondis etwa stattet solche Medikamente zusätzlich mit speziellen Antikörpern aus. Solche Antikörper lassen sich jedoch noch nicht für alle Krebsarten einsetzen. Die chemischen Strukturen, die wir als Verpackung für Arzneimittel entwickelt haben, könnten hierbei eine entscheidende Rolle spielen. Sie lassen sich leicht mit anderen Strategien gegen Krebs kombinieren und könnten so einen nächsten Sprung für die Krebstherapie bringen: ein fein geschliffener, passgenauer Schlüssel in der richtigen Verpackung und zusätzlich ausgestattet mit speziellen Krebsantikörpern – das Beste aktueller Entwicklungen vereint. Solche Kombinationsansätze werden auch generell in der modernen Medizin immer wichtiger, um Krankheiten in Zukunft noch effektiver, gezielter und schonender behandeln zu können.

ZUM THEMA

FÜREINANDER GESCHAFFEN

Auf molekularer Ebene wird fleißig gedatet. Finden sich zwei, passiert Großes

Was hat die moderne Krebsmedizin mit einem Frühstücksbrötchen gemeinsam? In beiden Fällen spielt das Schlüssel-Schloss-Prinzip (SSP) eine wichtige Rolle: die spezifische Bindung eines Moleküls (Schlüssel) an einen passenden Rezeptor auf Zellen oder Mikroorganismen (Schloss). Ein biologischer Prozess beginnt. Drei Beispiele, wie das SSP das Leben beeinflusst.

1. Als Helfer in der Backstube:

Bei der Gärung von Teig reagiert die Hefe mit Zucker. Es bilden sich Blasen, und der Teig geht auf. Bäckereibetriebe geben gerne das Enzym „Amylase“ hinzu. Das Enzym dockt an die Stärke im Mehl an und zerteilt sie in gut verdauliche Zuckermoleküle. Durch die Vorarbeit der Amylase kann die Hefe schneller und effektiver arbeiten. Deshalb geht der Teig besser auf und verleiht dem Brötchen die perfekte Konsistenz.

2. Als Abwehraktivist:

Im Körper halten Zellen des Immunsystems ständig nach Krankheitserregern Ausschau. Dafür besitzen sie eine große Auswahl an Antikörpern – Proteinen, die an spezifische Moleküle (Antigene) auf der Oberfläche von gefährlichen Keimen binden. Der Zusammenschluss löst eine Immunreaktion aus, und der Eindringling kann zerstört werden.

3. Als Befruchtungsbote:

Wenn ein Spermium bis zur Eizelle gelangt, ist das noch kein Garant für die Befruchtung. Denn die Eizelle trifft eine überlegte Wahl, wen sie aufnimmt. Neben chemischen Signalen und zellulären Wechselwirkungen spielt dabei auch das SSP eine Rolle. Die Oberfläche eines Spermiums trägt Moleküle, die an die Rezeptoren auf der Eizelle binden – wenn sie denn passen. Nur Spermien mit dem richtigen Gegenstück können in die Eizelle eindringen.

--- J. Schrupp

EMPFANGS- STÖRUNG

von JAN NIKLAS HANSEN

FAST JEDE KÖRPERZELLE verfügt über einen winzigen, haarartigen Zellfortsatz – primäres Zilium genannt. Seine Funktion ähnelt der einer Antenne. Ist sie gestört oder fällt sie aus, werden wir krank

Das primäre Zilium ist so winzig, dass wir es mit einem gewöhnlichen Mikroskop kaum sehen können – es ist nur etwa 500 Nanometer dick, also hundertmal dünner als ein menschliches Kopfhair. Dennoch ist das Zilium enorm wichtig. Seit den 1990er-Jahren haben Forscher:innen mehr und mehr Erbkrankheiten entdeckt, die sich auf defekte Zilien zurückführen lassen – sogenannte Ziliopathien. In den kranken Zellen ist die Bildung bestimmter Proteine, die für Bau und Funktion des Ziliums benötigt werden, gestört. Die Folgen sind vielfältig und umfassen zum Beispiel Fettleibigkeit, geistige Behinderungen, Blindheit oder körperliche Fehlbildungen. „Das zeigt, wie wichtig die Zilien für beinahe alles in unserem Körper sind“, sagt die Zellbiologin Dagmar Wachten von der Universität Bonn. „Wir verstehen aber bisher kaum, wie das Zilium funktioniert, und ebenso wenig, was genau in den kranken Zilien nicht funktioniert.“ In unserer Arbeit ging es darum, beides besser zu verstehen – sodass am Ende gezielte Therapiemethoden entwickelt werden können.

Man geht heutzutage davon aus, dass die Zelle das Zilium wie eine „Antenne“ verwendet. Das Zilium nimmt Reize aus der Umgebung der Zelle wahr, wandelt sie in intraziliäre Signale um und leitet diese in den Zellkörper – der darauf reagiert. Solch ein Reiz kann etwa entstehen, wenn sich das Zilium durch eine vorbeifließende Körperflüssigkeit verbiegt – gleich einem Grashalm im Wind. Aber auch Hormone, die sich an Rezeptoren auf der Zilienoberfläche binden, können Reize sein.

Bei der Reizwahrnehmung ist die geringe Größe des Ziliums von Vorteil. Da einzelne Reize angesichts des verhältnismäßig großen Volumens der Zelle im Zellkörper schnell „verpuffen“, sind viele Reize nötig, um ein ausreichend starkes Signal an der Zelloberfläche zu erzeugen und so eine zelluläre Reaktion auszulösen. An der Zilienoberfläche dagegen können schon schwache Reize empfangen werden, denn das Volumen dieser Antennen ist fünftausendmal kleiner als das der Zelle. So kann die Zelle dank ihres Ziliums schon kleinste Veränderungen in der Umgebung wahrnehmen.

Viele Forschungsarbeiten deuteten bisher darauf hin, dass ein kleines Molekül namens zyklisches Adenosinmonophosphat (cAMP) eine wesentliche Rolle bei der Signalweiterleitung im Zilium spielt. cAMP ist aber auch Teil vieler anderer Signalketten im Zellkörper. Deshalb war lange unklar, ob und wie cAMP zur Signalweiterleitung des Ziliums beiträgt. Bisher gab es bei der Unterscheidung der cAMP-Signale im Zilium von denen des Zellkörpers im Wesentlichen zwei Hürden.

Die erste betraf das Größenverhältnis zwischen Zilium und Zellkörper. Zwar gab es Methoden zur Messung jenes Moleküls, allerdings gingen die schwachen Signale im Zilium in den starken des Zellkörpers unter. Man kann sich das vorstellen, als würde man herausfinden wollen, ob inmitten eines Lagerfeuers ein Streichholz brennt. Die zweite Hürde bestand darin, die Reizweiterleitung durch cAMP im Zilium getrennt von der des

Zellkörpers zu beeinflussen. Um beide Hürden zu überwinden, entwickelten wir im Rahmen unseres Projektes neue Techniken. Zum einen entwickelten wir „CiliaQ“, ein Computerprogramm, mit dem wir in Mikroskopiebildern im übertragenen Sinne gezielt jenes Streichholz im Lagerfeuer finden und vermessen können. Zum anderen vermochten wir mithilfe eines neuen Verfahrens, cAMP-Signale gezielt nur im Zilium auszulösen und die Folgereaktion der Zelle zu beobachten. Dazu verwendeten wir ein lichtempfindliches Enzym.

Enzyme finden sich in jeder unserer Körperzellen reichlich und sind oft Proteine, die chemische Reaktionen beschleunigen. Zum Beispiel gibt es Enzyme, die cAMP erzeugen und so ein Signal auslösen. Das Besondere an lichtempfindlichen Enzymen: Ihre Aktivität lässt sich mit Licht steuern. Zudem gibt es sie nur in ganz wenigen Lebewesen – nicht im Menschen. Erst seit den 2000er-Jahren lassen sich solche maßgeschneiderten Enzyme in andere Organismen überführen oder gar künstlich designen. Auf diese Weise können Forscher:innen biologische Prozesse mit Licht manipulieren. Damit war die sogenannte Optogenetik geboren. So gibt es ein lichtgesteuertes Enzym namens bPAC, welches cAMP produziert. Dieses schleusten wir in die primären Zilien von kultivierten Nierenzellen ein. Mithilfe einer speziellen Taschenlampe ließ sich bPAC im Zilium aktivieren, sodass das Enzym cAMP-Signale im Zilium auslöste. Die Stärke des Signals und dessen Dauer konnten wir steuern, indem wir die Zellen unterschiedlich hell und lange beleuchteten.

So entdeckten wir einen cAMP-Signalweg im Zilium, der Licht auf den Mechanismus einer der häufigsten Ziliopathien wirft: die polyzystische Nierenerkrankung. In Deutschland leiden etwa 40 000 Menschen darunter. Die erste Diagnose erhalten Patient:innen oft erst im Alter von 30 bis 40 Jahren. Bisher gab es nur Vermutungen zum Mechanismus der Erkrankung: Möglicherweise spüren die Nierenzellen den Fluss des Urins nicht mehr – der Grashalm merkt nicht mehr, dass er im Wind weht. In der Folge reagieren die Zellen falsch: Sie wachsen unkontrolliert. Aus den feinen Röhrchen in der Niere entstehen große flüssigkeitsgefüllte Höhlen. Diese Zysten behindern die Niere in ihrer Aufgabe, überschüssige oder schädliche Stoffe auszuseiden. Nur eine Nierentransplantation löst das Problem langfristig, denn effektive Medikamente fehlen bislang.



Bei der Arbeit mit optogenetischen Enzymen muss Jan Niklas Hansen die Zellen stets ins richtige Licht rücken

Schon länger deutet vieles darauf hin, dass cAMP eine maßgebliche Rolle bei der polyzystischen Nierenerkrankung spielt. Tolvaptan zum Beispiel – derzeit das einzige Medikament, mit dem sich die Krankheit abschwächen lässt – reduziert vermutlich den cAMP-Spiegel in den Zellen. Die große Frage war jedoch: Sind es cAMP-Signale im Zilium oder im Zellkörper, die zur Zystenbildung führen?

Zur Klärung dieser Frage besiedelten wir ein künstliches Gewebe mit Nierenzellen, in denen wir bPAC selektiv ins Zilium eingebaut hatten. Im Dunkeln bildeten die Nierenzellen nierengewebekleine Röhrchen – so wie sie es auch in einer gesunden Niere tun. Überraschend: Wenn wir mit einer speziellen Taschenlampe im Zilium über mehrere Tage starke cAMP-Signale auslösten, wuchsen die Zellen zu Zysten. In gleich aufgebauten Experimenten mit Zellen, bei denen wir bPAC im Zellkörper und nicht im Zilium einbrachten, bildeten sich hingegen keine Zysten. Somit zeigten wir erstmalig, dass Nierenzellen Zysten bilden, wenn cAMP-Signale im Zilium, aber nicht im Zellkörper übersteigert werden. Die erhöhte Stimulation täuscht die Zellen. In der Folge wachsen und positionieren sie sich falsch.

In weiteren Experimenten konnten wir die Mechanismen, die von der zu starken Stimulation des Ziliums bis zur Zystenbildung führen, genauer aufklären. Zudem konnten wir zeigen, dass sich cAMP gezielt im Zilium abbauen und die Zystenbildung so unterdrücken lässt – und zwar, indem man die betroffenen Zellen mit bestimmten Substanzen behandelt. Eine Pharmafirma arbeitet nun daran, diese Substanzen zu Medikamenten weiterzuentwickeln. Leider ist der Weg bis zu einem fertigen Medikament lang, da sich die Substanzen noch in vielen weiteren Tests bewähren müssen. Wenn alles gut läuft, könnte in 10 bis 15 Jahren ein Medikament den Patient:innen helfen, ihre Antennen wieder auf Empfang zu bringen.

ZUM THEMA

RÄTSELHAFTE WIMPER

Vermutlich verfügt jede Säugetierzelle über ein primäres Zilium. Seine Funktion wurde lange unterschätzt

Die motilen, sich aktiv bewegenden Zilien sind viel bekannter als die immotilen. Erstere etwa finden sich auf Oberflächen der Lungenepithelzellen. Die elektronenmikroskopischen Bilder erinnern ein wenig an wogende Getreidefelder. Milliarden dieser nur wenige tausendstel Millimeter langen „Wimpern“ (lat.: *cilium*) sorgen dafür, dass eingeatmete Fremdstoffe abtransportiert werden.

Im Gegensatz zu den motilen Zilien – zu denen übrigens auch der geißelförmige Schwanz des Spermiums gehört – sind die immotilen Zilien unscheinbar und können sich nicht aktiv bewegen. Sehr viel weiß man noch nicht über sie – lange Zeit interessierte sich schlichtweg niemand für sie. Erst seit rund 25 Jahren zeigt sich, welche Rolle sie bei teils schweren Erkrankungen spielen.

Ihre Funktion wird gerne mit der einer Antenne verglichen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Rezeption von Strömungen, dem Geruch oder der Lichtwahrnehmung. Auch chemische und thermische Signale können sie verarbeiten. Die Funktionen der primären Zilien sind vielfältig – und das macht deutlich, wie folgenschwer Störungen dieser winzigen Antennen sein können. Patient:innen mit Ziliopathien – genetischen Erkrankungen, die auf defekten Zilien beruhen – haben Symptome verschiedenster Art. Da Zilien auch in der Entwicklung eine wichtige Rolle spielen, machen sich viele Ziliopathien schon im Mutterleib bemerkbar.

Die meisten davon gehören zu den sogenannten Seltenen Erkrankungen, die, so gilt es in der Europäischen Union, weniger als fünf von 10 000 Menschen treffen. Da es aber alles in allem wohl mehrere Hundert mehr oder minder schwere Ziliopathien gibt, relativiert dies deren Seltenheit. Mittlerweile vermuten Forscher:innen, dass gestörte Zilien auch an Erkrankungen wie *Diabetes mellitus*, Adipositas oder Schwerhörigkeit beteiligt sind. --- J. Schüring



FREUNDLICH, WITZIG ODER BOSSY

Diese unbewusste Einordnung der Persönlichkeit beeinflusst das Verhalten gegenüber dieser Person, zum Beispiel Ihre Entscheidung, ob Sie sich tatsächlich auf einen Kaffee treffen. Ähnlich verhält es sich, wenn wir mit Chatbots wie ChatGPT oder Sprachassistenten wie Siri, Alexa und Co. interagieren. Obwohl wir genau wissen, dass wir es mit einer Maschine zu tun haben, schreiben wir ihnen automatisch Persönlichkeitseigenschaften zu, zum Beispiel freundlich oder hilfsbereit. Dieses Phänomen ist bekannt und wurde bereits in den 1990er-Jahren erforscht. Auch bei Sprachassistenten und Chatbots hat die Wahrnehmung der Persönlichkeit somit einen großen Einfluss darauf, wie gern wir mit ihnen interagieren.

Folglich spielt diese Wahrnehmung der Persönlichkeit eine große Rolle bei der Entwicklung von Chatbots und Sprachassistenten. Wissenschaftler:innen wissen jedoch recht

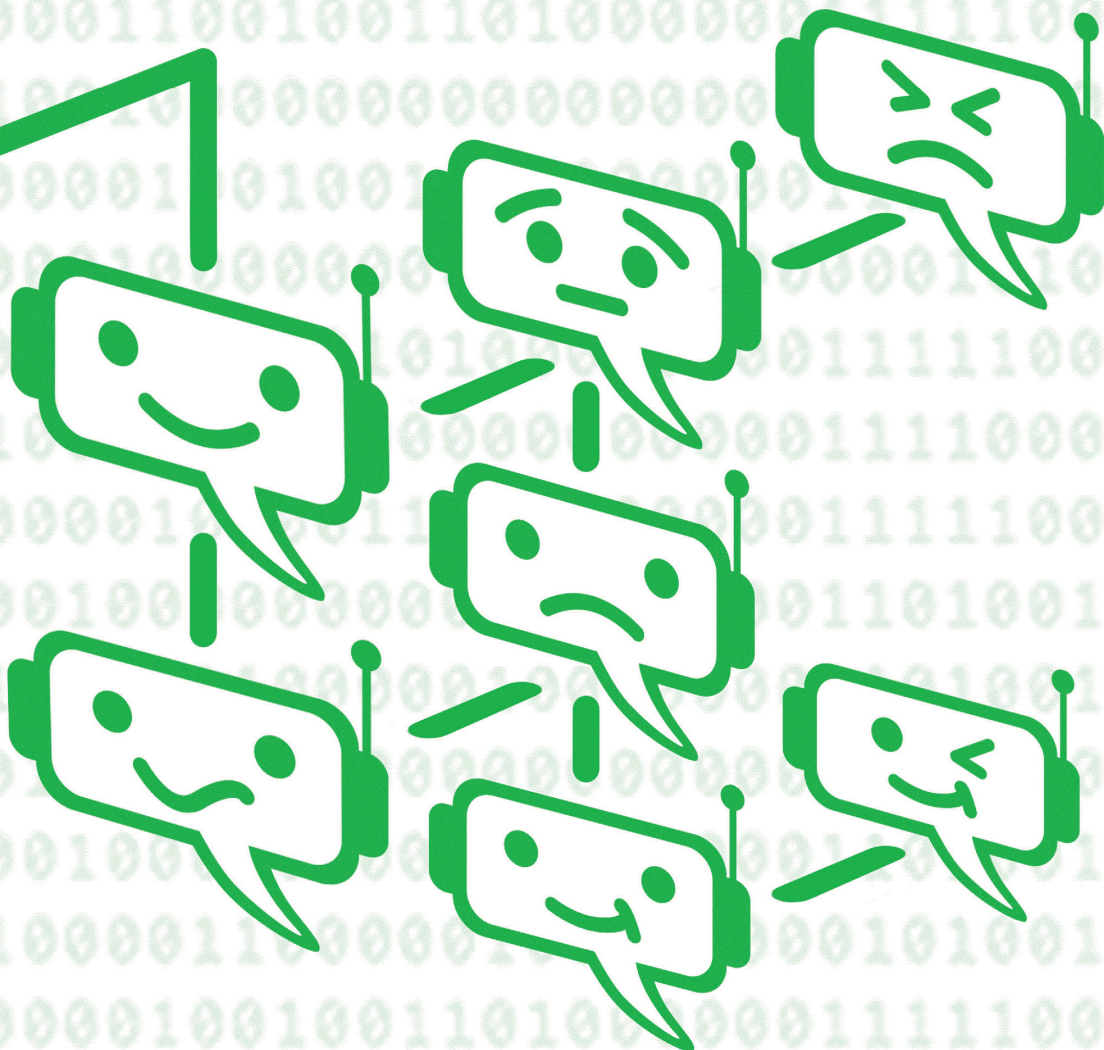
wenig darüber, wie sich die Persönlichkeiten von Chatbots und Sprachassistenten bewusst und systematisch entwickeln lassen. Genau hier setzt unsere Arbeit an.

Zunächst schauten wir darauf, wie wir Menschen die Persönlichkeit anderer wahrnehmen. Indem wir uns anhand von Sprache, Mimik und Gestik ein Bild machen. Ein Beispiel: Wenn Ihr Nachbar viel redet, laut spricht und Blickkontakt sucht, werden Sie ihn tendenziell für extrovertiert halten. Wir wollten wissen: Können wir diese Verhaltensweisen von Menschen einfach auf Chatbots und Sprachassistenten übertragen, um eine künstliche extrovertierte Persönlichkeit zu erstellen?

Um diese Frage zu beantworten, programmierten wir drei verschiedene Chatbots: einen extrovertierten, einen durchschnittlichen und einen introvertierten.

STELLEN SIE SICH VOR, ein neuer Nachbar steht vor Ihrer Tür, lächelt freundlich und lädt Sie zum Kaffee ein. Ohne es bewusst zu bemerken, machen Sie sich bereits in den ersten Sekunden ein ziemlich umfassendes Bild von seiner Persönlichkeit

von **SARAH THERES VÖLKE**



Dafür machten wir uns zahlreiche menschliche Verhaltensweisen zunutze, die gemäß Erkenntnissen aus der Psychologie mit diesen Persönlichkeitseigenschaften zusammenhängen. Beispielsweise schreibt der extrovertierte Chatbot längere Nachrichten in Umgangssprache und verwendet viele Emojis. Im Gegensatz dazu ist der introvertierte Chatbot zurückhaltender und verwendet formelle Sprache.

Anschließend ließen wir diese drei Chatbots von 34 Menschen für jeweils vier Tage testen und baten sie anschließend um ihre Wahrnehmung der Persönlichkeiten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Testpersonen den extrovertierten und den durchschnittlichen Chatbot tatsächlich so wahrnahmen wie beabsichtigt. Den introvertierten Chatbot hatten wir indes nicht glaubhaft umgesetzt. Darüber hinaus stellten wir fest, dass Menschen die Persönlichkeit von Chatbots anders beschreiben als die von Menschen. Beispielsweise wirkte der durchschnittliche Chatbot auf viele Menschen eher roboterhaft. Wir vermuteten daher, dass sich menschliche Verhaltensweisen, die eine Persönlichkeit prägen, gar nicht so einfach auf Chatbots und Sprachassistenten übertragen lassen.

Um diese Vermutung zu überprüfen, entwickelten wir einen systematischen Ansatz eigens für künstliche Persönlichkeit – und identifizierten zunächst die Eigenschaften, die bei einer künstlichen Persönlichkeit zu berücksichtigen sind. Hierfür gingen wir nach einer Methode aus der Persönlichkeitspsychologie vor. In einem ersten Schritt sammelten wir möglichst viele Wörter, mit denen Menschen die Persönlichkeit von Sprachassistenten und Chatbots beschreiben. Zum Beispiel luden wir Menschen in unsere Labore ein und ließen sie verschiedene Sprachassistenten ausprobieren und danach beschreiben. Des Weiteren extrahierten wir Adjektive aus Zehntausenden von Rezensionen bekannter Sprachassistenten. Am Ende hatten wir 870 verschiedene Wörter gesammelt.

Im nächsten Schritt fassten wir diese 870 Wörter nach übergreifenden Merkmalen zusammen. Dafür bedienten wir uns eines statistischen Verfahrens. Damit erkannten wir Muster in der Art und Weise, wie Menschen die Persönlichkeitseigenschaften von Sprachassistenten beschreiben. Zum Beispiel umfasst das menschliche Persönlichkeitsmerkmal „extrovertiert“ viele Eigenschaften wie

gesellig, aktiv und durchsetzungsfähig. Mithilfe dieses statistischen Verfahrens fanden wir zehn übergreifende Persönlichkeitsmerkmale, die unter anderem beschreiben, wie künstlich, freundlich, informativ oder auch unterhaltend Sprachassistenten wirken. Diese übergreifenden Persönlichkeitsmerkmale stimmen nicht mit dem Persönlichkeitsmodell für Menschen, dem sogenannten „Big Five“-Modell, überein. Daher kamen wir zu dem Schluss, dass sich die Wahrnehmung der menschlichen und künstlichen Persönlichkeit unterscheidet. Darauf aufbauend entwickelten wir eine Methode, um diese Eigenschaften auch tatsächlich in Sprachassistenten umzusetzen.

Natürlich wollten wir auch besser verstehen, wie Menschen sich Sprachassistenten oder Chatbots wünschen. Dafür baten wir mehr als 200 Menschen darum, ihre



Annette Mueck

Sarah Theres Völkel bei der Analyse von Interviews zum Umgang mit Sprachassistenten und Chatbots

ZUM THEMA

ICH WÜRD ROT WERDEN

Siri, Alexa oder Cortana: Die Stimmen fast aller Sprachassistenten klingen weiblich. Das ist ein Problem

Vorstellung von Dialogen für „perfekte“ Sprachassistenten aufzuschreiben – um bei der Analyse zu erkennen, dass es die eine perfekte Persönlichkeit gar nicht gibt. Getreu dem Sprichwort „Gleich und Gleich gesellt sich gern“ vermuteten wir, dass die Persönlichkeit eines Menschen Einfluss darauf hat, welche Persönlichkeit er oder sie in einem digitalen Gegenüber bevorzugt. Sprich: Wer selbst extrovertiert ist, mag den extrovertierten Nachbarn lieber als den introvertierten. Unsere Ergebnisse zeigten jedoch, dass dies keineswegs so einfach ist. Menschen haben zwar eindeutige Vorlieben für unterschiedliche Persönlichkeiten in Chatbots und Sprachassistenten, aber diese sind individuell und eher vom jeweiligen Kontext als von der eigenen Persönlichkeit abhängig.

Gleichwohl konnten wir zeigen, wie wichtig es ist, die „digitale“ Persönlichkeit auf die Vorlieben der Nutzer:innen zuzuschneiden. Bis es so weit ist, sind allerdings noch einige Herausforderungen zu bewältigen. Wenn es uns beispielsweise gelingt, für jeden Menschen einen perfekt zugeschnittenen Chatbot zu entwickeln, werden die Menschen dem Rat dieses Chatbots vermutlich vertrauen. Daher müssen wir sicherstellen, dass die Entwicklung künstlicher Persönlichkeit nicht missbraucht wird, um Menschen zu manipulieren.

Trotz dieser Herausforderungen hat unsere Forschung gezeigt, dass individuell zugeschnittene Persönlichkeiten in Chatbots und Sprachassistenten das Potenzial haben, unsere Interaktion mit ihnen maßgeblich zu verbessern. Daher könnten wir diese zum Beispiel einsetzen, um genauer auf individuelle Bedürfnisse einzugehen. Stellen Sie sich vor, dass jedes Kind einen persönlichen Lern-Chatbot hat, der genau weiß, das Kind zu motivieren. Sprachassistenten kommen bereits heute zum Einsatz, um Pflegedienste in einer stetig alternden Gesellschaft zu erweitern. Wenn diese Sprachassistenten mit einer gut abgestimmten Persönlichkeit ausgestattet werden, können sie ältere Menschen im Alltag unterstützen und, sofern dies gewünscht ist, ihnen Gesellschaft leisten.

Auch wenn es sich dabei nur um Software handelt: Es spielt eine Rolle, wie eine Maschine zu uns spricht. In den meisten Fällen hören wir eine Frau. Zwar antwortet Siri auf die Frage nach ihrem Geschlecht, sie habe keines. Dennoch assoziieren wir aufgrund der verwendeten Tonfrequenz Siris Stimme mit einer Frau. Umfragen offenbarten, dass Männer wie Frauen weibliche Stimmen bevorzugten, wenn sie ihre Musikanlage steuern, sich im Auto den Weg weisen lassen oder in Warteschleifen eines Internetanbieters versauern.

Nun kann man sagen: Schön, wenn das Ergebnis so klar ist, sind eben alle Sprachassistenten weiblich. Wo ist das Problem? Doch tatsächlich feiern mit Siri und Co. die 1950er-Jahre ihr Comeback. Wie das „Fräulein vom Amt“ informieren die digitalen Sprachassistenten sachlich, freundlich und serviceorientiert. Nur dass sie uns heute den ganzen Tag begleiten. Bis ins Bett, wenn man ihnen nur noch sagen muss: Licht aus. So werden Geschlechterklischees, die zumindest teilweise als überwunden galten, wiederbelebt, manifestiert und in der ganzen Welt verbreitet.

Interessant ist auch, wie Sprachassistenten auf sexuelle Belästigung reagieren. So antwortete bis 2019 die weiblich klingende Siri auf „You’re a slut“ – „Du bist eine Schlampe“ – noch mit „I’d blush if I could“ – „Ich würde rot werden, wenn ich könnte“. Mittlerweile haben Apple, Amazon und andere auf den Bias reagiert und solche Antworten gestrichen. Apples Siri wird demnächst eine Stimme enthalten, die weder als weiblich noch männlich empfunden wird. Ein Hoffnungsschimmer immerhin.

Doch eines ist gewiss: Wer die digitalen Assistenten mit einer möglichst menschlichen Persönlichkeit programmieren will, muss wissen, dass KI stets den Sexismus, Rassismus und andere Probleme der (jeweiligen) Gesellschaft widerspiegelt.

--- J. Schüring

von **TOBIAS LEHMANN**

VERRAUSCHTE & SUPERCOOLE

DIE DEAN-KAWASAKI-GLEICHUNG IST eine stochastische partielle Differentialgleichung, mit der sich bestimmte physikalische Prozesse beschreiben lassen. Was die Existenz von Lösungen betrifft, galt aber noch bis vor Kurzem, frei nach Shakespeare: „Sein oder Nichtsein, das ist hier die Frage.“

Wasser gefriert bei 0 Grad Celsius. Stimmt in der Regel. Tatsächlich lassen sich aber viele Flüssigkeiten – so auch Wasser – unter bestimmten Bedingungen auf Temperaturen unterhalb ihres Gefrierpunktes herunterkühlen, ohne dass sie ihren Aggregatzustand ändern. In der Physik wird dieses Phänomen als Unterkühlung bezeichnet – oder: Supercooling.

Wer im Netz nach „supercooled water“ sucht, wird zahlreiche Videos finden mit Experimenten für zu Hause. So führt etwa ein Klaps mit der Hand gegen eine Flasche mit unterkühltem Wasser aus dem heimischen Gefrierschrank zum plötzlichen Kristallisieren des Wassers.

Dieser Effekt lässt sich durch das Fehlen von Kristallisationskeimen erklären: mikroskopisch kleinen Partikeln, an denen sich die ersten Kristalle bilden – und von denen das weitere Erstarren seinen Lauf nimmt. Minimale mechanische Reize wie ein Schlag gegen die Flasche mit unterkühltem Wasser bewirken punktuell eine Verdichtung auf molekularer Ebene, die den abrupten Wechsel von flüssig zu fest initiiert.

GLEICHUNGEN FLÜSSIGKEITEN

Prozesse wie dieser werden in der Thermodynamik und der statistischen Mechanik, beides Teilgebiete der Physik, untersucht. Für den Erkenntnisgewinn von Physiker:innen sind dabei nicht nur Experimente relevant, sondern auch mathematische Modelle zur Beschreibung der physikalischen Phänomene. Ein Beispiel für so ein Modell ist die sogenannte Dean-Kawasaki-Gleichung, benannt nach den beiden Physikern Kyozi Kawasaki (1930–2021) und David S. Dean (geboren 1976). Seit den 1990er-Jahren hat sich diese Gleichung zu einem vielfach verwendeten mathematischen Modell für unterkühlte Flüssigkeiten und ähnliche physikalische Systeme entwickelt. Wir haben diese Gleichung näher unter die Lupe genommen.

Dem Typ nach handelt es sich dabei um eine stochastische partielle Differentialgleichung. Gleichungen dieser Art sind für Mathematiker:innen eine große Herausforderung, viele Verfahren und Methoden für ihre Untersuchung wurden erst in den vergangenen 30 Jahren entwickelt. So erhielt der österreichische Mathematiker und Physiker Martin Hairer 2014 für seine Arbeiten die Fields-Medaille – die höchste Auszeichnung, die man in der Mathematik erhalten kann. Er hatte eine Theorie der Regularitätsstrukturen entwickelt und damit einen neuen und wegweisenden Ansatz zur Erforschung ebensolcher Gleichungen.

Mathematik findet vor allem im Kopf statt. Neben dem regelmäßigen Gedankenaustausch mit Kolleg:innen braucht Tobias Lehmann daher nur Stift, Papier und manchmal den Laptop

Annette Mueck



Zum besseren Verständnis wollen wir versuchen, uns diesem Gleichungstyp in drei Schritten zu nähern. Bei gewöhnlichen Differentialgleichungen ist eine Funktion gesucht, von der auch Ableitungen in der Gleichung auftauchen. Die Schwingung eines Pendels oder die Anzahl der zerfallenen Atomkerne in einer radioaktiven Substanz lassen sich durch solche Gleichungen beschreiben. Auch in der Epidemiologie finden sie Anwendung, etwa für die Vorhersage von Infektionszahlen während der COVID-19-Pandemie.

Bei einer partiellen Differentialgleichung, unserem nächsten Schritt, hängt die gesuchte Funktion von mehreren Variablen ab, in Anwendungen häufig von Zeit und Ort. Dementsprechend kommen in der Gleichung auch Ableitungen nach den verschiedenen Variablen vor – man spricht von partiellen Ableitungen. Ein klassisches Beispiel dieses Gleichungstypus ist die Wärmeleitungsgleichung, mit der sich die Ausbreitung von Wärme in einem Medium modellieren lässt.

Bei einer stochastischen partiellen Differentialgleichung tauchen zu guter Letzt zusätzlich noch stochastische, also vom Zufall abhängige Terme auf. Man kann sich das in etwa vorstellen wie ein Hintergrundrauschen, das die ursprüngliche Dynamik stört. Besonders häufig anzutreffen ist dabei das sogenannte Weiße Rauschen. Das ist ein stochastischer Prozess, den wir uns vereinfacht vorstellen können wie einen sich zeitlich und räumlich verändernden Aktienkurs – also wie ein chaotisches Zick-Zack-Gebilde.

Und genau hier liegt die Krux. Aufgrund dieses Rauschens sind die Lösungen von stochastischen partiellen Differentialgleichungen selbst zufällig und meist hochgradig irregulär. Insbesondere sind sie oftmals nicht differenzierbar. Aber Halt! In der Gleichung kommen ja Ableitungen der Lösung vor. Wie soll man also etwas ableiten, das nicht differenzierbar ist? Um diesen Widerspruch aufzulösen, bedienen sich Mathematiker:innen verallgemeinerter Ableitungs- und Lösungsbegriffe. Mit diesen abstrakten Konzepten können sie auch stochastische partielle Differentialgleichungen untersuchen.

Zu Beginn so einer mathematischen Untersuchung steht häufig die Frage, ob überhaupt Lösungen existieren. Das ist keine banale Frage, denn anders als bei den Gleichungen, die wir aus der Schule kennen, lassen sich die Lösungen von Differentialgleichungen nicht einfach durch Umstellen ermitteln. Stattdessen braucht es verschiedene theoretische Argumente, um zum Ziel zu kommen. Dabei kann ein einziger Existenzbeweis leicht mehr als ein Dutzend Seiten beanspruchen.

Die Frage nach der Existenz von Lösungen für die Dean-Kawasaki-Gleichung war dann auch, was uns in diesem Projekt umtrieb. Denn obwohl die Gleichung schon seit einigen Jahrzehnten in physikalischen Anwendungen auftaucht, fehlte bis dahin eine rigorose mathematische Analyse. Auch wegen ihrer Popularität waren wir anfangs davon ausgegangen, dass die Frage positiv zu beantworten ist, und haben entsprechend versucht, die Existenz einer Lösung mathematisch zu beweisen.

Mehr als ein Jahr lang probierten wir dafür verschiedene Ansätze aus, die frustrierenderweise letztlich alle in Sackgassen führten. Erst nach anderthalb Jahren wurde unsere Beharrlichkeit belohnt – und zwar mit einem Ergebnis, mit dem niemand gerechnet hat: Die Dean-Kawasaki-Gleichung besitzt in der Regel keine Lösungen. Nur in ganz bestimmten Sonderfällen treten Lösungen auf – diese sind aber trivial, also wissenschaftlich uninteressant.

Nicht nur wir waren verblüfft, sondern auch einige Kolleg:innen aus der theoretischen Physik. Natürlich, schließlich stellt unsere Erkenntnis die Verwendung der Dean-Kawasaki-Gleichung als mathematisches Modell grundsätzlich infrage.

Einen Schlussstrich setzt der Beweis dennoch nicht. Im Gegenteil, unsere Erkenntnis liefert eine Motivation, sich erneut und grundlegend mit der Gleichung auseinanderzusetzen und sie zu modifizieren. Das ginge beispielsweise durch das Hinzufügen von nichtlinearen Termen oder die Verwendung von alternativen Rauschprozessen. Neben dem Weißen gibt es nämlich auch farbiges, beispielsweise Rotes Rauschen.

Im Idealfall erlauben solche Modifikationen dann nicht nur die Existenz von Lösungen, sondern führen zu einer besseren Beschreibung der physikalischen Wirklichkeit und vielleicht irgendwann auch zu einem tieferen Verständnis für unterkühlte Flüssigkeiten.

ZUM THEMA

SCHAFE ZÄHLEN WAR GESTERN

Im Internet findet man jede Menge Filmchen, die beim Einschlafen helfen sollen. Jetzt gibt es einen neuen Trend

Wer bei YouTube die vielen Videos zum Roten Rauschen anklickt, sieht nichts. Mitunter stundenlang. Anders als in den „Most Satisfying Videos“, in denen zu sehen ist, wie Schaumstoff geschnitten oder bunter Knetgummi gedrückt wird, sind diese Filme nur zum Hören. Ein monotones, nicht enden wollendes Rauschen. Wie ein gleichmäßiger Wind, der an einem Mikrofon vorbeistreicht.

Im Englischen heißt das Phänomen, das seit einiger Zeit YouTube, Spotify, TikTok und andere Kanäle flutet, „Brownian Noise“ – benannt nach dem schottischen Botaniker und Arzt Robert Brown (1773–1858), der auch Pate der Brownschen Molekularbewegung ist. Aufgrund der Frequenz des Rauschens und in Analogie zum Farbspektrum, verwendet man auch die Bezeichnung Rotes Rauschen.

Begonnen hat das Ganze vermutlich in Internetforen. Dort berichteten Menschen mit Tinnitus, Migräne oder der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) von ihren positiven Erfahrungen. Das Rauschen könne Stress mindern, die Konzentration steigern und beim Einschlafen helfen. Dass da was dran ist, wollen Forscher:innen zumindest nicht ausschließen. Da Rotes Rauschen praktisch alle für das menschliche Ohr hörbaren Frequenzen umfasse, so Dan Berla von der Regis University in Colorado, könne es auf Menschen beruhigend wirken.

Göran Söderlund von der Western Norway University of Applied Sciences kann sich vorstellen, dass Rotes Rauschen im Gehirn eine ähnliche Wirkung hat wie Dopamin – ein Botenstoff, der bei ADHS-Patient:innen nur vermindert ausgeschüttet wird. Ob das stimmt, muss sich noch erweisen. Bis dahin gilt: Wer subjektiv spürt, dass ihm das Rauschen beim Einschlafen oder Lernen hilft, dem schadet es auch nicht. --- J. Schüring

LERNEN AUS DER ZUKUNFT

von **PHILIPP PAULUS**



GEHT ES UMS GEDÄCHTNIS, denken die meisten an die Vergangenheit. Tatsächlich ermöglichen dieselben Regionen im Gehirn uns auch lebhaft Vorstellungen von der Zukunft. So können wir sogar von Ereignissen lernen, die gar nicht statt- gefunden haben

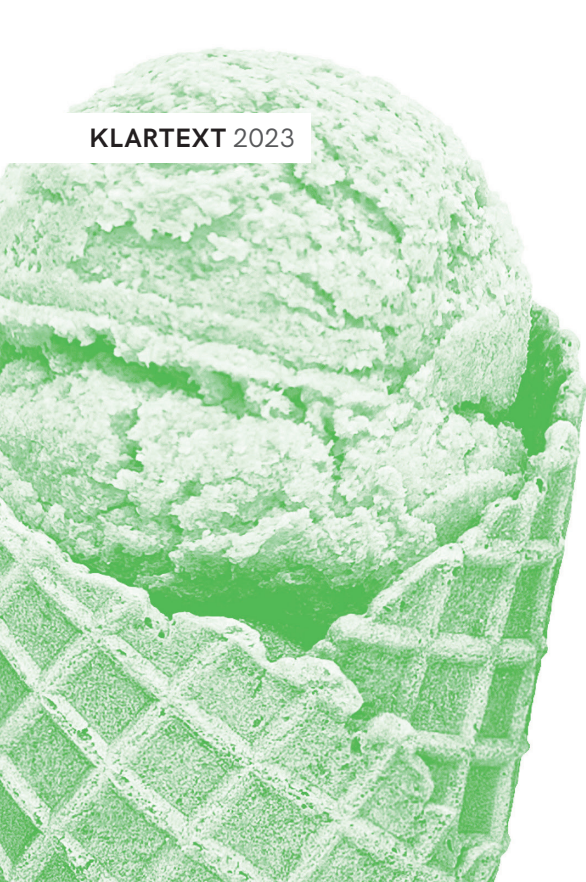
Der Eisladen um die Ecke hat das Sortiment erweitert:

Zitroneneis mit Basilikum, Sellerie-Apfel-Sorbet und Gurkeneis mit einem Hauch Pfefferminze. Soll ich mich für eine dieser neuen Sorten oder für Himbeereis entscheiden? Himbeereis kenne ich. Spannenderweise kann ich mir aber auch den Geschmack von Gurkeneis mit Pfefferminze lebhaft vorstellen, obwohl ich es noch nie probiert habe. Ich bin mir sogar sicher, dass es besser schmecken würde als Senfeis mit Schnittlauch. Was genau passiert im Gehirn, wenn wir uns Dinge vorstellen, die wir noch nie erlebt haben?

Jedes Erlebnis hinterlässt Spuren. Durch unseren ersten Kuss wird eine gewöhnliche Parkbank zu einem besonderen Ort, dank schöner gemeinsamer Erlebnisse eine Person zur besten Freundin. Und weil wir über viele Jahre hinweg unterschiedliche Eissorten probieren, eine bestimmte zu unserem Lieblingseis. Unser Gedächtnis hält die Ereignisse für die Zukunft fest und ermöglicht es uns so, aus unseren Erfahrungen zu lernen.

In Situationen, in denen wir uns nicht auf vergangene Erfahrungen verlassen können, erlaubt unser Gehirn uns aber auch den Blick in die Zukunft. Dabei passiert in unserem Kopf nahezu das Gleiche, wie wenn wir uns an etwas erinnern. Es sind dabei sogar fast dieselben Gehirnregionen aktiv. Denn wenn wir uns ein vergangenes Ereignis wieder vor Augen führen, dann lehnen wir uns nicht in einem mentalen Sessel zurück und lassen uns von unserem Gedächtnis mit einer alten Aufnahme berieseln. Wenn wir uns erinnern, müssen wir das eigentliche Ereignis erst von Neuem zusammensetzen.

Es beginnt damit, dass wir die Kernbestandteile des Erlebnisses wiederfinden: Mit wem hat was, wann, wo stattgefunden? Und wie hat sich das damals angefühlt? Diese Kernbestandteile nennen wir auch Gedächtnisspuren. Um uns zu erinnern, müssen wir diese Spuren wieder aufnehmen. In einem nächsten Schritt bindet unser Gehirn diese Kerninformationen in eine Szene ein: Es platziert zum Beispiel die beteiligten Personen an den Ort, an dem das Ereignis stattgefunden hat. Unser Gehirn reichert diese Szene nun um weitere passende Informationen an. Dadurch entsteht vor unserem inneren Auge ein lebhaftes Bild, das es uns erlaubt, das Ereignis und die damit verbundenen Gefühle erneut zu erleben. Wenn wir uns Ereignisse in der Zukunft vorstellen, dann läuft dieser Prozess fast identisch ab. Der wichtige Unterschied ist, dass wir uns dabei etwas mehr künstlerische Freiheit nehmen und gezielt Kernbestandteile unterschiedlicher Erinnerungen auf ganz



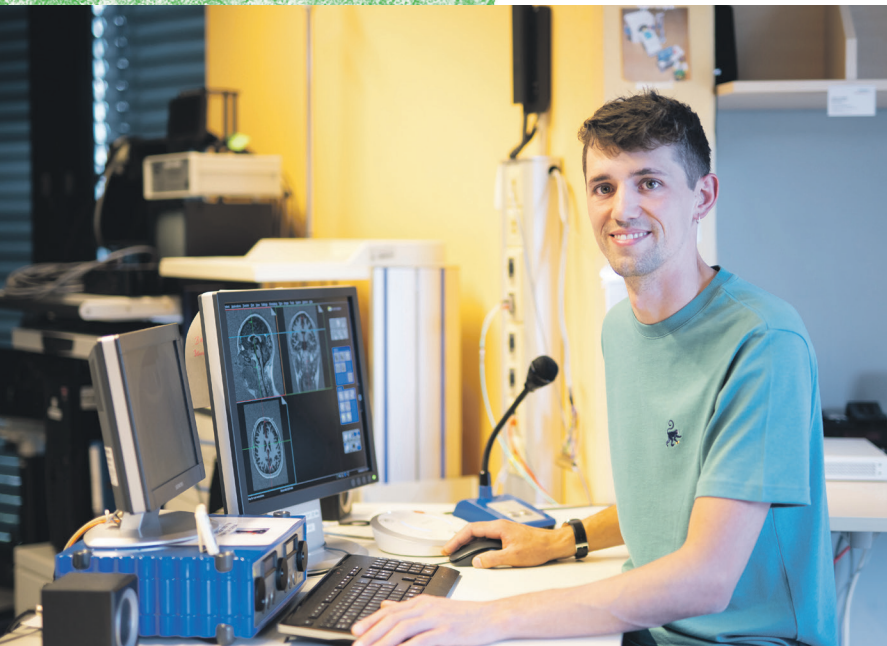
Annette Mueck

neue Art und Weise miteinander kombinieren. So können wir uns vorstellen, wie Zitroneneis mit Basilikum schmeckt. Im Rahmen der ersten Studie haben wir nach jenen Regionen im Gehirn gesucht, in denen solche Gedächtnisspuren abgespeichert sind. Dazu sollten Proband:innen Personen nennen, die sie aus ihrem täglichen Leben kennen, und Orte auflisten, die sie bereits besucht hatten. Während des Versuches stellten sie sich dann typische Ereignisse mit diesen Personen oder an diesen Orten vor. Beispielsweise ein Treffen mit der besten Freundin oder einen Spaziergang an einem bestimmten Ort im Park. Während die Versuchspersonen sich diese Ereignisse vorstellten, beobachteten wir ihre Gehirnaktivität mithilfe von funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT). Das fMRT ermöglicht es uns,

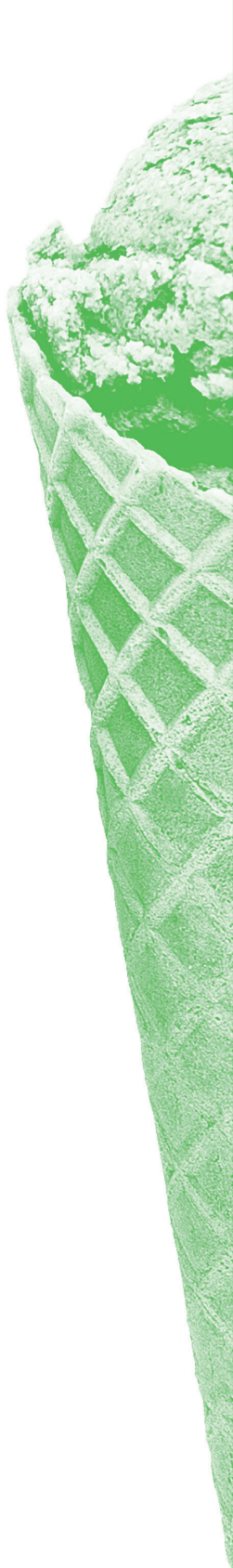
Aktivität im Gehirn zu messen und so für jedes vorgestellte Ereignis je eine Aufnahme der Aktivität im Gehirn anzufertigen. Besondere Aktivitätsmuster fanden wir insbesondere in einer Region im präfrontalen Kortex direkt hinter unserer Nasenwurzel. Aus den Aktivitätsmustern in dieser Region konnten wir darauf schließen, an welche Person oder an welchen Ort unsere Versuchsteilnehmer:innen gerade dachten.

Dort machten wir noch eine weitere spannende Entdeckung: Die Aktivitätsmuster waren sich immer dann besonders ähnlich, wenn die Teilnehmer:innen an Personen oder Orte dachten, die sie besonders gut kennen und besonders gerne mögen. Diese Region scheint also nicht nur die Gedächtnisspuren allein abzubilden und zu speichern, sondern

verbindet diese auch mit unseren Bewertungen und Einstellungen. Diese Funktion erlaubt uns bereits im Hier und Jetzt zu erraten, wie es sich anfühlen würde, wenn bestimmte Dinge tatsächlich passieren würden.



Mehr als bloße Erinnerungen: Unser Gedächtnissystem im Gehirn erlaubt uns nicht nur den Blick in die Vergangenheit. Philipp Paulus untersucht, was im Gehirn passiert, wenn wir uns Ereignisse vorstellen, die so noch gar nicht stattgefunden haben



Des Weiteren wollten wir wissen, ob solche vorgestellten Ereignisse auch Auswirkungen auf die Gegenwart haben können. Dazu führten wir folgenden Versuch durch: Die Versuchsteilnehmer:innen sollten uns nun Personen nennen, die sie entweder besonders mögen oder überhaupt nicht leiden können. Zusätzlich ließen wir sie wieder Orte nennen, die sie aus ihrem Alltag kennen. An einigen dieser Orte sollten sie sich nun Treffen mit geschätzten Personen vorstellen. Sie sollten sich also beispielsweise vorstellen, einer alten Schulfreundin überraschenderweise zum ersten Mal in der Eisdiele um die Ecke zu begegnen. An anderen Orten sollten sie sich Ereignisse mit den Personen vorstellen, die sie nicht leiden können. Wieder beobachteten wir die Gehirnaktivität im fMRT.

Und tatsächlich: Orte, an denen sich die Proband:innen Treffen mit netten Menschen vorstellten, wurden beliebter. Umgekehrt galt das Gleiche: Vorgestellte Begegnungen mit den unbeliebten Personen führten dazu, dass auch die Orte unbeliebter wurden. Die Einstellungen gegenüber den Orten änderte sich also durch die vorgestellten Ereignisse. Im Gehirn zeigte sich dieser Lernprozess in derselben Region im präfrontalen Kortex, die auch die Gedächtnisspuren der Personen und der Orte abbildet. Je stärker diese Region aktiviert war, während die Versuchsteilnehmer:innen sich die Ereignisse vorstellten, desto beliebter wurden die Orte. In einer weiteren Studie konnten wir schließlich zeigen, dass die Gedächtnisspuren von einzelnen Personen und Orten miteinander verschmelzen, wenn die Versuchsteilnehmer:innen sie sich zusammen vorstellten. Auch vorgestellte Ereignisse hinterlassen also Spuren in unserem Gehirn.

So können wir aus der Zukunft lernen. Wenn wir uns lebhaft Ereignisse vorstellen, dann machen wir dadurch die Zukunft bereits im Hier und Jetzt ein wenig greifbarer. Das erlaubt es uns nicht nur vorherzusehen, was genau passiert. Wir können sogar erleben, wie es sich anfühlen würde, wenn diese Ereignisse tatsächlich so eintreffen. Dass wir von bloßen Vorstellungen lernen können, beleuchtet eine besonders bemerkenswerte Funktion unseres Gehirns: Deshalb müssen wir beim nächsten Besuch in der Eisdiele kein Senfeis probieren, um zu wissen, dass diese Option nicht infrage kommt. Stattdessen können wir die nächste Gelegenheit ergreifen und herausfinden, wie Gurkeneis mit einem Hauch Pfefferminze wirklich schmeckt.

ZUM THEMA

DAS HIRN IST KEINE FESTPLATTE

Erinnerungen sind Geschichten, die sich umschreiben lassen

Niemand mag das Vergessen. Dabei kann es ein Segen sein. Negative Erinnerungen, ausgelöst etwa durch den Duft eines Parfüms der verflissenen Liebe, lassen sich deutlich abschwächen. Wie das geht, haben Ann-Kristin Meyer und Roland Benoit vom Leipziger Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften herausgefunden.

Dazu beobachteten sie mithilfe von funktioneller Magnetresonanztomographie die Gehirnaktivität von Proband:innen. Die Forscher:innen zeigten ihnen zunächst das Bild eines Gummistiefels und danach eines von einer Flut. In diesem ersten Schritt verknüpften sie die beiden Bilder. Allein der Anblick des Gummistiefels löste negative Gedanken an eine katastrophale Zerstörung aus. Im Gespräch mit der ZEIT erklärte Roland Benoit das so: „Wenn wir etwas Intensives, womöglich sehr Emotionales und vor allem auch Unvorhergesehenes erleben, macht eine bestimmte Hirnregion eine Art Foto von der Situation.“

Im zweiten Schritt des Experimentes zeigten die Forscher:innen nur den Gummistiefel – und forderten die Versuchsteilnehmer:innen auf, beim Anblick so angestrengt wie möglich *nicht* an die Flut zu denken. Nicht ganz einfach, aber „die meisten konnten es ganz gut nach zehn Durchgängen“, so Ann-Kristin Meyer. Die Verbindung zwischen Stiefel und Flut ließ sich also lösen.

Doch das Hirn ist keine Festplatte. Das Experiment ist harmlos im Vergleich zu den echten Erfahrungen traumatisierter Flutopfer. Immerhin wissen Forscher:innen schon heute, dass Menschen unterschiedlich in der Lage sind, ihre Erinnerungen zu kontrollieren. Wer das besonders gut kann, entwickelt demnach nach traumatischen Erfahrungen seltener psychische Störungen wie die Posttraumatische Belastungsstörung (PTBS). --- J. Schüring

MOLEKULARER PFÖRTNER

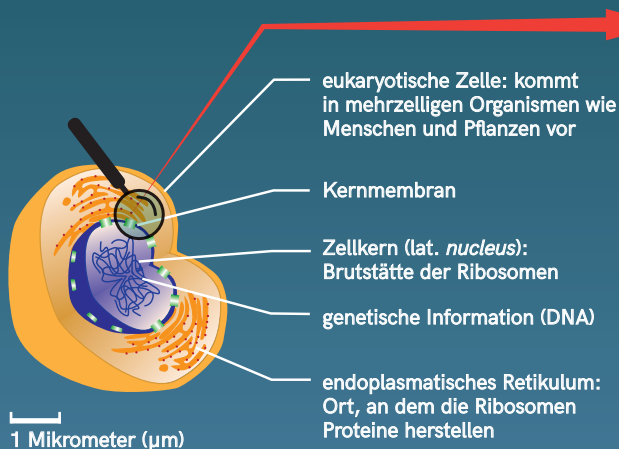
von JAN RULAND

Für neue Zellen braucht es Proteine. Um Nachschub zu liefern, wandern körpereigene Proteinfabriken aus dem Zellkern. Ein komplizierter Vorgang, der erstmals unter dem Mikroskop sichtbar gemacht wurde

Wo alles beginnt

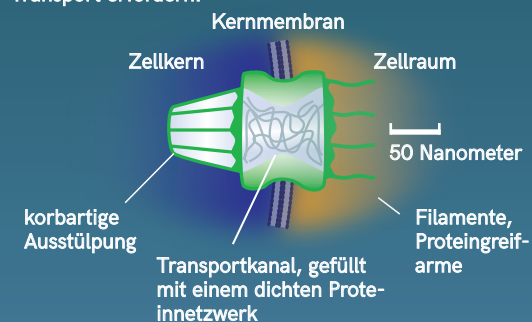
Brutstätte der Proteinfabriken

Ribosomen sind Riesenmoleküle, die innerhalb des Zellraumes genetische Information übersetzen und daraus Proteine herstellen. Diese werden etwa zum Bau neuer Zellen benötigt. Pro Minute werden circa 4000 Ribosomen im Zellkern hergestellt. Um ihren Aufgaben nachzugehen, müssen die Ribosomen die Barriere (Membran) zwischen Zellkern und Zellraum durchdringen.



Kernpore – der molekulare Pförtner

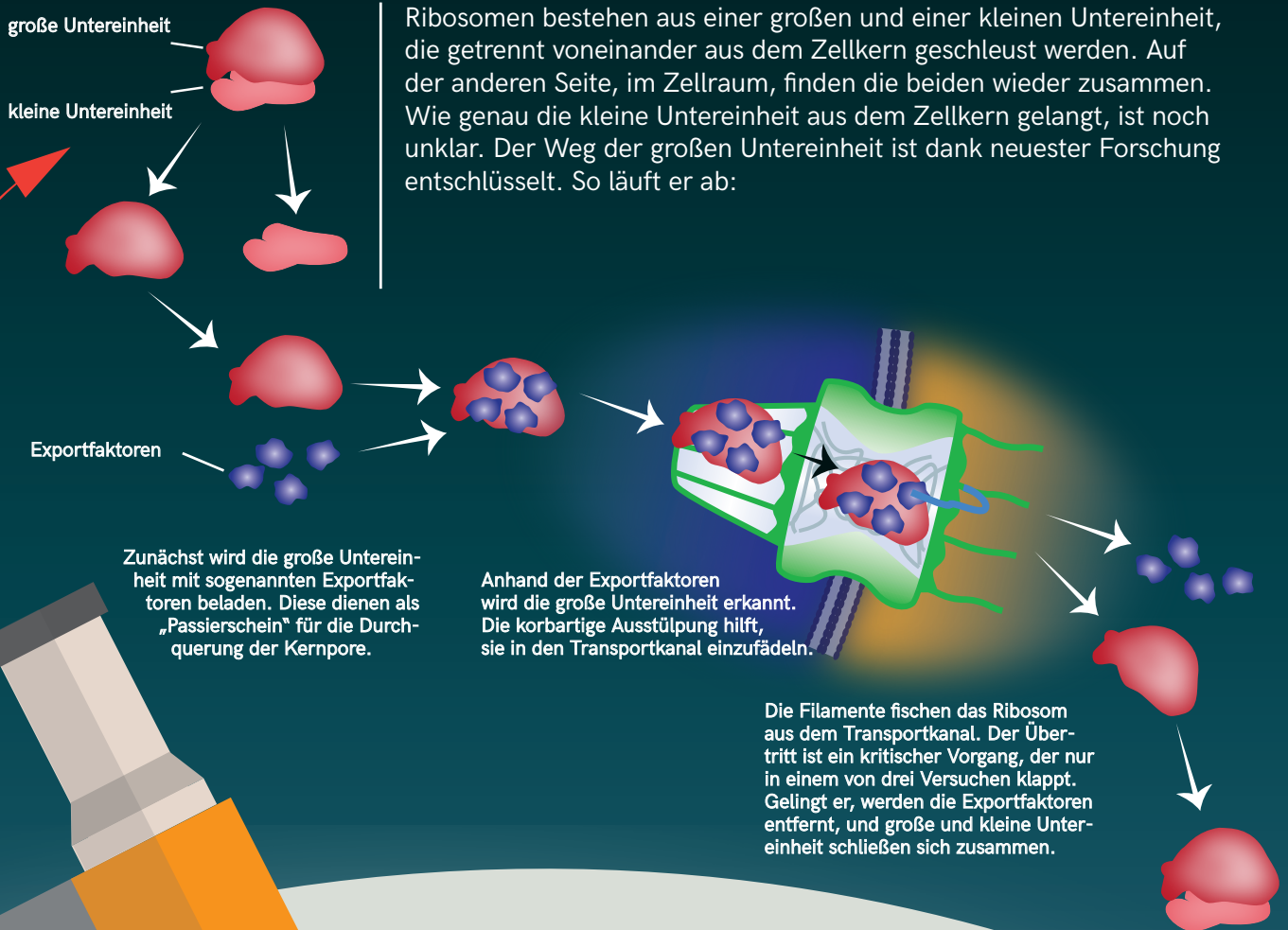
Die Kernpore verbindet den Zellkern und den Zellraum. Kleinere Moleküle und Ionen können frei passieren, während größere Proteine einen aktiven Transport erfordern.



Wie Ribosomen wandern

PRÄMIERTE INFOGRAFIK

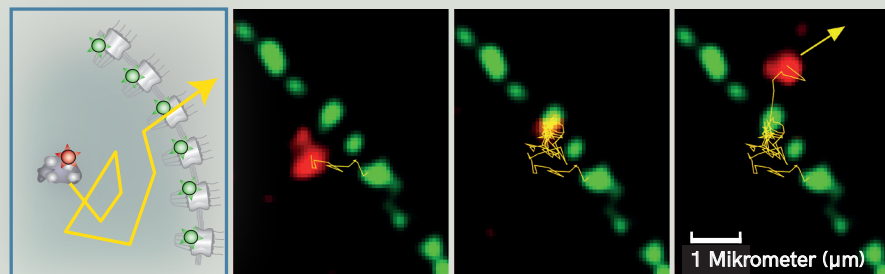
Transport aus dem Zellkern



So sieht die Reise aus

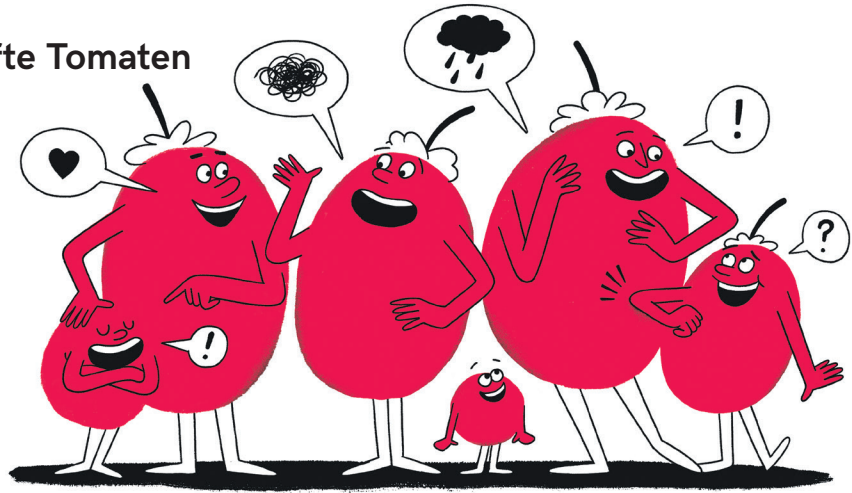
Ribosomenaktivität unter dem Mikroskop

Nur 25 Millisekunden dauert der ribosomale Übertritt. Bislang war es nicht möglich, so schnelle und zugleich feine Bewegungen auf Mikroskopebene zu beobachten. Dank einer eigens entwickelten innovativen Mikroskoptechnik und spezieller Detektoren konnte der Prozess nun erstmals aufgenommen werden. Dafür wurde ein **Ribosom** rot und wurden die **Kernporen** grün eingefärbt.



LUUUUSTIG!

Über schwatzhafte Tomaten und die Grenzen Künstlicher Intelligenz



Dirk Schmidt, wasmachtdirk.de

„Da haben die doch letztens rausgeklügelt, dass Tomaten mithilfe von Ultraschallsignalen kommunizieren. Schreib doch darüber was Lustiges.“ Gegen die Vorschläge der Klaus Tschira Stiftung kann man nichts sagen. Die wissen, was sie wollen.

Hier, auf dieser letzten Seite des Magazins, liebe Leserin, lieber Leser, soll nämlich was Lustiges stehen, was Heiteres nach all der schweren Wissenschaft. Und ich soll das schreiben. „Ja sicher, tolle Idee, läuft!“, lüge ich vor-eilig. Und bekomme Puls. Tage hilflosen Prokrastinierens folgen. Und dann auch noch diese Nachfrage aus Heidelberg: „Na, schon eine Idee zur Tomatengeschichte?“ Ab jetzt verfolgt mich das Gemüse bis in den Schlaf – von dunklen Gedanken aufgeschreckt, schwitzend daliegend, in der Dunkelheit die Sekunden zwischen dem Blinken des Rauchmelders an der Decke zählend. Dann, erschöpft, die erlösende Idee: Ich werde mogeln.

Abends, wenn die Sonne untergeht und der Garten in sanftes Mondlicht getaucht wird, beginnt die eigentliche Party. Die Tomaten stimmen ein fröhliches Lied an, das sie mithilfe ihres ultraschallbasierten Kommunikationssystems erzeugen können. Es ist ein klangvolles Konzert, das selbst die Sterne zum Tanzen bringt. Die Gurken, die in der Nähe wachsen, sind völlig verwirrt.

Hmmm. „Schreibe eine lustige Geschichte über Tomaten, die bei Trockenheit Ultraschallsignale aussenden“ – damit hatte ich ChatGPT beauftragt. Aber was der künstlich intelligente Chatbot da liefert, wird sie nicht erfreuen, die Leute von der Stiftung. Je mehr ich probie-

re, über *Tomatenhausen* wurde weltweit als das Mekka der tomatischen Technologie gefeiert oder Eine besonders kecke Tomate namens Tom-Tom ließ ihre Stimme in hohen Frequenzen schrillen und gab vor, eine Sirene zu sein. Die anderen Tomaten suchten hektisch nach der vermeintlichen Gefahr. Als sie Tom-Tom entdeckten, lachten sie herzlich und bewunderten ihren einfallsreichen Streich geht das Ganze nicht heraus. Nicht lustig. Nicht intelligent. Furchtbar.

Okay, dann vielleicht ein lustiges Gedicht:

In Tomatengärten, still und fern / verklingt ein Klang, den kaum wir hör'n / Ultraschall fließt durch grünes Blatt / der geheime Dialog, den keiner hat. Gute Güte, reim dich oder lass es. Oder ein Haiku? Groß über die halbe Seite gedruckt, mit einer schönen Illustration dazu? Ultraschall flüstert / Tomaten teilen Geheimnisse / Stille Worte wachsen. Auch nicht. 🤔🤔🤔

KI, wo bist du, wenn man dich braucht?

Wieder nächtliches Zähneknirschen – bis der Rauchmelder in den Halbschlaf morst: Sei ehrlich! Sag denen in Heidelberg, was ist. Nämlich wie ein Team um Lilach Hadany von der Tel Aviv University herausfand, dass Tomatenpflanzen bei Trockenheit Ultraschalltöne erzeugen. Dass diese uns, könnten wir sie hören, an Popcornknallen erinnern. Dass da wohl im Wasserleitsystem der Pflanzen Luftblasen implodieren – was sich Kavitation nennt. Und dass das Ganze im intelligenten, aber nicht lustigen Fachblatt „Cell“ steht. Sag denen einfach: Tomaten können gar nicht reden. --- J. Schüring

IMPRESSUM **HERAUSGEBERIN** Klaus Tschira Stiftung gemeinnützige GmbH, Schloss-
Wolfsbrunnenweg 33, 69118 Heidelberg, www.klaus-tschira-stiftung.de
GESCHÄFTSFÜHRUNG Lilian Knobel, Prof. Dr. Rafael Lang **KLARTEXT-PREIS** Isa Fünfhausen, Gero von der Stein,
Dr. Michelle Wabnitz (Koordination) // **VERLAG** STUDIO ZX GmbH - Ein Unternehmen des ZEIT Verlags,
Alt-Moabit 94, 10559 Berlin **GESCHÄFTSFÜHRUNG** Dr. Mark Schiffhauer, Uta Schwaner **REDAKTION** Dr. Joachim
Schüring (Leitung), Janina Schrupp **GRAFIK** Chris Delaney, Jessica Sturm-Stammberger **BILDREDAKTION**
Sima Ebrahimi-Yazdi **LEKTORAT** Dr. Katrin Weiden **HERSTELLUNG** Tim Paulsen **DRUCK** Bonifatius, Paderborn

Gedruckt auf einem mit dem
Blauen Engel zertifizierten Papier



A woman with glasses and a red shirt stands in a field of plastic waste. She is holding a bag of trash. In the background, there are trees and a blue sky. Large plastic bags and a white cup are floating in the air around her.

»Was hast Du da eigentlich gemacht in Deiner Doktorarbeit?«



KlarText

Preis für Wissenschaftskommunikation

Erkläre oder visualisiere es uns, und gewinne den KlarText-Preis für Wissenschaftskommunikation!

Jedes Jahr prämiiert die Klaus Tschira Stiftung Promovierte der Naturwissenschaften, der Mathematik und Informatik, die eine sehr gute Doktorarbeit geschrieben haben und ihre Ergebnisse in einem allgemein verständlichen Artikel veranschaulichen oder als Infografik visualisieren.

Informieren und bewerben:
www.klartext-preis.de

RUTH D. RITTINGHAUS, Chemikerin und KlarText-Preisträgerin 2022, entwickelte einen umweltfreundlichen Katalysator für die Herstellung von Biokunststoffen. Ein wichtiger Schritt im Kampf gegen die Plastikflut.

Foto: Max Slobodkin