



Zusammenhalten

Vom Wert der Kooperation

Neue Bilder:
Mithilfe von KI lernen
Rechner das Sehen
und Malen 42

Neue Fähren:
Wie Wirkstoffe
punktgenau an ihr
Ziel gelangen 53

Neue Herzen:
Kommen Schweine
als Organspender
infrage? 58



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

wer bei Google nach dem „Zusammenhalt der Gesellschaft“ sucht, erhält gut vier Millionen Treffer – immerhin ein Hinweis darauf, dass es hier um eine Frage geht, die die Menschen umtreibt. Die Jahre der Pandemie haben die Resilienz der Gesellschaft ganz offensichtlich übermäßig beansprucht. Der Krieg Russlands in der Ukraine, die Klimakrise und nun auch Inflation und drohende Rezession verschärfen Polarisierungen in der Gesellschaft, lösen soziale Bindekräfte auf.

„Inzwischen“, so sagt LMU-Sozialpsychologe **Mario Gollwitzer**, „sortiert sich die gesamte Gesellschaft immer stärker in Gruppen, die sich über Abgrenzung von anderen definieren: die Rechten, die Linken. Die Querdenker, die Normaldenker. Die Generation Z und die Boomer. Die Letzte Generation und die SUV-Fahrer.“ Gollwitzer untersucht, was Menschen auseinanderbringt, aber auch, wie Gesellschaften Zusammenhalt leben können. Damit sich dieses

Einvernehmen entfaltet, so sein Fazit, müssten die Menschen Unsicherheit aber ebenso aushalten wie Verschiedenheit.

Formen des Zusammenhalts: LMU-Forscherinnen und -Forscher verschiedener Disziplinen berichten in der aktuellen Ausgabe „vom Wert der Kooperation“: Migrationsforscher **Panu Poutvaara** untersucht, unter welchen Bedingungen Zuwanderung Fachkräftemangel und demografischen Wandel abfedern könnte. Der Organisationspsychologe **Felix Brodbeck** skizziert die Zukunft der Teamarbeit in Zeiten des Homeoffice. Wissenschaftshistorikerin **Kärin Nickelsen** zeigt exemplarisch an der Geschichte des Humangenomprojektes, wie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihren Forschungsalltag zwischen Zusammenarbeit und Wettbewerb austarieren. Und der Mathematiker **Christian Hainzl** schließlich beschäftigt sich mit ganz anderen Formen von Kollektiven: Er berechnet Vielteilchen-Phänomene in der Quantenwelt.

Viel Spaß beim Lesen wünscht Ihre Einsichten-Redaktion



Inhalt



Orte der Verheißung: Zur Kulturgeschichte der Bahnhöfe 14

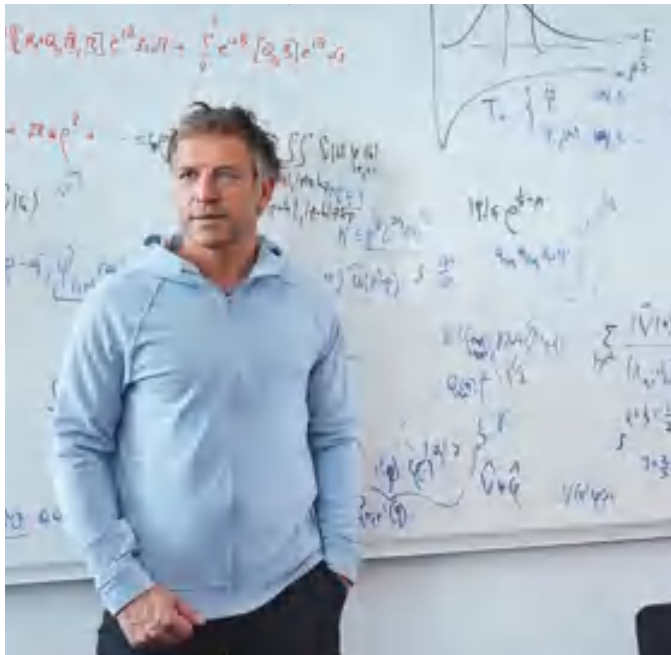


Lagerdenken: Gesellschaftliche Gräben werden tiefer 18

Aktuelles aus der Forschung

- 8 **Spielend lernen**
Was virtuelle Welten zu „Lebenslaboren“ macht
- 14 **„Eine Bühne, Gleis für Gleis“**
Unterhaltung mit: Margit Dirscherl über Bahnhöfe in der Literatur
- 17 **Schwerpunkt:
Zusammenhalten
Vom Wert der Kooperation**
- 18 **Halten oder spalten**
Was treibt Gesellschaften auseinander, was schweißt sie zusammen? Zur Bedeutung des sozialen Kitts

- 24 **Migration als Chance**
Wie Politik und Gesellschaft Deutschland für Fachkräfte aus dem Ausland attraktiver machen und gleichzeitig die Integration fördern können
- 30 **Gemeinsam besser zum Ziel**
Der Mensch – ein hyperkooperatives Wesen? Wie die Wissenschaft die Zukunft der Teamarbeit in Zeiten von Homeoffice beurteilt
- 34 **Die Teilchen und das Ganze**
Quanten-Vielteilchensysteme: Die Mathematik versucht, kollektive Phänomene zu fassen.
- 39 **Kooperation mit der Konkurrenz**
Ohne Vernetzung und Austausch geht es nicht, aber Wissenschaft lebt auch vom Wettbewerb. Wie gelingt Forschern der Spagat?



Mathematik: Phänomene der Quantenwelt berechnen **34**



KI: Was Algorithmen mit der Welt der Bilder machen **42**

42 Im Nebel der Bilder

Kommt Kunst bald von KI? Software wie Stable Diffusion bringen Rechnern Sehen und Malen bei. Was heißt das für die menschliche Kreativität?

48 „Es gibt keinen absoluten Schutz“

Zeit der Cyber-Attacken: Der Wettlauf um die Sicherheit von Daten und kritischen Infrastrukturen

53 Langer Atem

Wie kommen RNA-Therapeutika an ihren Wirkort in der Lunge? Der beharrliche Weg einer Forscherin zur Erfolgsgeschichte

58 Herzenswünsche

Schweine einer kleinwüchsigen Rasse, genetisch verändert zum Organspender – ein Glücksfall für die Biomedizin?

Rubriken

3 Editorial

12 Meldungen

13 Die Dolmetscherin
Barbara Plank über „Natural Language Processing“

64 Büchertisch

66 Die Zukunftsfrage
Können sich Pflanzen an den Klimawandel anpassen?

66 Impressum

Titelbild: Der Turmbau zu Tarragona: Wer konstruiert die höchste Menschenpyramide? Foto: Emilio Morenatti/AP/pa



Gerüstet für die Reise ins Totenreich waren die einbalsamierten Verstorbenen: Dutzende Sarkophage wie diesen haben Ägyptologen erst vor Kurzem in der Gräberstadt Sakkara entdeckt. Sie stammen aus der Spätzeit des Ägyptischen Reiches und sind den Untersuchungen zufolge gut 2.500 Jahre alt.
Foto: Khaled Desouki/AFP via Getty Images



Die Chemie der Mumifizierung

Spuren einer globalen Vernetzung: Die alten Ägypter balsamierten die Körper der Verstorbenen mit Substanzen ein, die sie von weit her bezogen.

Wie die alten Ägypter Leichname für die Mumifizierung vorbereitet haben, dazu gibt es zahlreiche Untersuchungen. Doch wie sie letztlich die Körper der Verstorbenen durch Einbalsamierung unsterblich gemacht haben, ist bisher unzureichend bekannt. Ein Team der LMU und der Universität Tübingen hat nun zusammen mit dem National Research Center in Kairo die altägyptische Balsamierung entschlüsselt. Es analysierte dazu chemische Rückstände an Gefäßen aus einer erst im Jahr 2016 entdeckten Balsamierungswerkstatt in Sakkara. Dort mumifizierten Fachleute im 7. und 6. Jahrhundert v. Chr. die Toten.

Für die Ägyptologen war es ein Glücksfall, dass zahlreiche Gefäße, die die Handwerker damals verwendet hatten, noch geborgen werden konnten. Die Gefäße waren mit Inhaltsangaben beschriftet, manche sogar mit Handlungsanweisungen. Die chemischen Rückstandsanalysen an den Gefäßen erlaubten nun, die molekularen Reste jener Substanzen zu identifizieren, die sich einst im Gefäß befanden, – und gaben zahlreiche Überraschungen preis. Maxime Rageot, Leiter des Analyseprojekts von der Universität Tübingen, betont: „Seit langer Zeit wurde die von den alten Ägyptern als *antiu* bezeichnete Substanz mit Myrrhe oder Weihrauch übersetzt, wir konnten nun zeigen, dass sich dahinter ein Gemisch ganz unterschiedlicher Zutaten verbirgt.“ In Sakkara handelte es sich bei *antiu* um eine Mischung aus Zedernöl, Wacholder- und Zypressenöl und tierischen Fetten.

Diese Erkenntnisse ermöglichen es, bekannte Texte zur altägyptischen Balsamierung neu zu lesen. Der Abgleich der identifizierten Substanzen mit den Gefäßbeschriftungen erlaubte es erstmals, exakt zu bestimmen, welche Substanzen für bestimmte Körperteile zur Balsamierung verwendet wurden – etwa Pistazienharz und Rizinusöl ausschließlich für den Kopf. „Besonders überraschend war, dass der größte Teil der Substanzen nicht aus Ägypten stammt, sondern zum Teil aus dem Mittelmeerraum und sogar aus dem tropischen Afrika und Südostasien importiert wurde“, meint LMU-Archäologe Philipp Stockhammer. Und Rageot ergänzt: „Vermutlich hatte die ägyptische Mumifizierung einen wichtigen Anteil daran, dass es zu einer frühen, weltweiten Vernetzung kam.“ (huf) Nature, 2023

Spielend lernen

„Lebenslabor“ Videospiel: Warum die Medieninformatikerin Johanna Pirker Games erforscht und wie sie virtuelle Welten nutzen möchte, um Erkenntnisse aus der realen Welt besser zu vermitteln

Es gab eine Zeit, in der sich vor allem junge Männer für Computerspiele begeisterten. Diese saßen dann mit ihrem Controller stundenlang in abgedunkelten Räumen am Bildschirm. So das Klischee. „Inzwischen spielt jeder, Frauen genauso wie Männer, junge Menschen wie ältere, im Schnitt ist der Durchschnittsuser derzeit 35 Jahre“, sagt Johanna Pirker. Es ist einer der Gründe, warum die Medieninformatikerin in Computerspielen sehr viel mehr sieht als einen entspannenden Zeitvertreib. Sie will Spiele nutzen, um Menschen zu motivieren, sich mit Themen zu beschäftigen, die sonst kaum auf deren Interesse gestoßen wären.

Spielen – so wertvoll, wie ein gutes Buch zu lesen

Pirker, derzeit Professorin für Medieninformatik an der LMU, erforscht, wie sich Videospiele und ganz allgemein virtuelle Realität nutzen lassen, um die Welt verständlicher und damit besser zu machen. Sie will verstehen, was und wie wir Menschen in künstlichen Umgebungen für die reale Welt lernen können, und entwickelt dafür geeignete virtuelle Welten. Sie will wissen, wie wir darin interagieren, uns orientieren und sogar Empathie füreinander empfinden, obwohl doch nur Stellvertreter-Avatare aufeinandertreffen. Schon der Aufbau von Virtuellen Realitäten (VR) und die Genese ihrer Entwicklung sagen sehr viel darüber aus, so

Pirker, wie Menschen sich und ihre reale Welt wahrnehmen und gestalten, welche Schlüsse sie aus Erfahrungen ziehen und was uns Menschen überhaupt antreibt.

Wie das aussehen könnte, hat sie in ihrem Projekt „Maroon“ schon einmal durchgespielt. Beim Aufbau dieser dreidimensionalen, immersiven Virtuellen Realität verwendete sie erprobte Spiele-Technologien, um zum Beispiel ein Physik- oder Computer-Science-Labor zu simulieren. „Maroon“ wurde so zu einem interaktiven Physiklabor im Virtuellen Raum. Die VR-Plattform steht nun für aktives Lernen im Klassenzimmer oder zu Hause zur Verfügung. Sie visualisiert und simuliert Experimente mit einem Schwerpunkt auf Physik-Versuchen, etwa mit dem Van-de-Graaff-Generator. Seit 2013 hat sie daran gearbeitet, seit 2018 wird sie in österreichischen Schulen getestet.

„Ein gutes Spiel zu spielen ist für mich genauso wertvoll, wie ein Buch zu lesen“, sagt Pirker. Spiele seien in der Lage, für „sehr mächtige Erfahrungen“ zu sorgen. Ständig müsse man dabei Entscheidungen selbst treffen. Deshalb nennt sie Spiele auch „Empathiemaschinen“. Erstaunlicher für sie ist daher, dass sich weltweit nur sehr wenige Forschende akademisch damit beschäftigen. Pirker, neben ihrer Vertretungsprofessur an der LMU auch Softwareingenieurin und Forscherin am Institut für Interaktive Systeme und Datenwissenschaften an der Technischen Universität Graz (TUG), wollte das schon während ihrer Master-

arbeit am Massachusetts Institute of Technology (MIT) ändern, wo sie über kollaborative virtuelle Welten forschte und ihre Doktorarbeit in Informatik über motivierende Umgebungen abschloss.

Besser zum Lernen und Zusammenarbeiten motivieren

In der Informatik habe sie mit der Zeit alle ihre anderen Lieblingsfächer wiedergefunden, sagte Pirker in einem Interview auf der Website der ETH Zürich: „Ich habe mit Physikern und Chemikerinnen, mit Künstlern, Musikerinnen und Psychologinnen zusammengearbeitet. Ich mag auch den kreativen Aspekt: Ich kann nicht gut zeichnen oder Geschichten erzählen, aber durch das Programmieren kann ich die Welten in meinem Kopf für andere zugänglich machen.“ Sie hat sich auf Spiele und Umgebungen spezialisiert, die Benutzer durch motivierende Aufgaben zum Lernen, Training und Zusammenarbeiten anregen.

Pirker kann dabei auf ihre langjährige Erfahrung im Bereich Game Design und Entwicklung sowie in der Entwicklung virtueller Welten zurückgreifen. So arbeitete sie in der Videospielbranche bei „Electronic Arts“, einem multinationalen Tycoon der Szene. Seit 2016 organisiert sie die jährlichen „Game Dev Days Graz“, die größte österreichische Konferenz für Spieleentwickler.



Unterwegs in verschiedenen Welten:
„VR kann neue Formen der Interaktion
ermöglichen, die motivierend wirken, eine hohe
emotionale Beteiligung anregen und die Wahr-
nehmung schulen“, sagt Medieninformatikerin
Johanna Pirker. Foto: Florian Generotzky

»Wenn wir uns in der virtuellen Welt bewegen, können wir dort ohne Ablenkung lernen. In so einer leeren Welt bin ich wie auf meiner einsamen Insel und kann dort konzentriert arbeiten.«

In ihrer Forschung beschäftigt sie sich nicht mehr nur mit Spiele-Engines, sondern möchte den digitalen Raum auch um die Implementierung von KI erweitern. Hinzu kommen ihre Erfahrungen mit Datenanalyse, interaktiven Umgebungen und auch mit der Historie der Computerspiele. Aus all dem entwickelt sie Gamification-Strategien für die Lösung aktueller Probleme und zudem Methoden des E-Learning für die Arbeit mit Schülern, Schülerinnen und Studierenden.

Das ist das ziemlich breit aufgefächerte Spektrum einer Wissenschaftlerin, die vor nicht allzu langer Zeit vom Magazin *Forbes* zu den 30 wichtigsten Forscherinnen Europas unter 30 gezählt wurde. Was Pirker motiviert, beschreibt sie so: „Wenn wir uns in der virtuellen Welt bewegen, können wir dort ohne Ablenkung lernen. In so einer leeren Welt bin ich wie auf meiner einsamen Insel und kann dort konzentriert arbeiten. Es liegt eine gewisse Ironie darin, dass ich das Digitale brauche, um vom Digitalen wieder in die Realität, etwa der Physik, zu kommen.“

Auch ein Philosoph kann seine Idee im Videospiel verwirklichen

Als langjährige Kennerin der Szene war Pirker irgendwann ermüdet von uninspirierten Spielen, die von den immer gleichen Entwicklern stammten, immer

wieder zu den gleichen Genres und Formaten zurückkehrten. „Obwohl ich alle großen Titel kannte, erkannte ich einen großen blinden Fleck: Die Titel wurden alle von denselben Studios in den gleichen Ländern entwickelt, und sie erzählten alle ähnliche Geschichten.“ So entstand das Projekt „A Year of Playing the World“, in dem sie versuchte, Spiele aus jedem Land der Erde zu finden: unabhängige Entwicklungen, die sie neue Erfahrungen machen ließen, was Spiele sein können und wie anders sich auch die Weltwahrnehmung der Menschen darin spiegelt.

„Ich wollte mich aus meiner Komfortzone pushen“, sagt Pirker. Sie stieß auf Spiele etwa aus Afghanistan, Bolivien, Kuba, Frankreich, Burundi, aus Namibia oder Norwegen, die sie sämtlich ausprobierte, egal aus welchem Genre. „Das war für mich wirklich eine der besten Erfahrungen, auch weil ich plötzlich verstanden habe, wie viel Kultur aus den jeweiligen Ländern in den Spielen drin ist.“ Sie berichtet von den darin entdeckten, hier unbekannten Bräuchen, Mythologien, Ritualen und Umwelten – von einem intrinsischen Allgemeinwissen also, das den regionalen Bezug und damit auch die Mentalität einer Kultur repräsentiert, schon in der Erzählweise und der Art der Charakterzeichnung, der Kleidung, der Spielmechanik.

Die Spieleentwicklung, sagt Pirker, ist seitdem nicht stehen geblieben, sie ist

nicht mehr ausschließlich den großen Playern mit ihrem Expertenwissen und großen Studios im Hintergrund überlassen. Das Medium ist diverser geworden, die Spiele künstlerischer, vielleicht auch gesellschaftskritischer, zugänglicher für neue Erzählformen. „Auch ein Philosoph kann nun seine eigene Idee mit einem Videospiel verwirklichen.“ Längst arbeiten aber auch Berufsplattformen und Hersteller von Lernsoftware mit Elementen aus Spielen. Man spricht von Gamification, die bewirken soll, dass Personen in spielerischer Weise miteinander in Verbindung treten oder aber herausgefordert werden, sich zu engagieren und intensiver zu lernen. „Hier können wir nun Lernumwelten kreieren, die verschiedene Themen in die Gesellschaft bringen und zum Wissenserwerb motivieren.“

Sich in digitalen Welten auf die Lernerfahrung konzentrieren können

Vor allem in VR sieht die Forscherin dabei großes Potenzial. In einer 2021 veröffentlichten Studie wies Pirker nach, dass Studierende mittels immersiver, realitätsnaher Visualisierungstechniken „eine höhere Aufmerksamkeit, bessere Verarbeitung von Lerninhalten und positivere Erfahrungen mit den Lehrstoffen empfinden als in traditionell-analogen Desktop-Umgebungen.“ Eine weitere Studie ergab, dass Visualisierungen und Animationen gut dabei helfen können, Wissen zu vermitteln, indem sie es konkreter machen: „Insbesondere kann VR neue Formen der Interaktion ermöglichen, die motivierend wirken, eine hohe emotionale Beteiligung anregen und die Wahrnehmung schulen.“

Allerdings scheinen nicht alle Studierenden gleichermaßen auf synthetische Wel-



„Über Spiele lassen sich Lösungen für gesellschaftliche Probleme finden, die alles andere als ein Spiel sind“: Johanna Pirker entwickelt Gamification-Strategien und zudem Methoden des E-Learnings für die Arbeit mit Schülern, Schülerinnen und Studierenden. Foto: Florian Generotzky

ten zu reagieren, wenn Gamification in die Lehre implementiert wird. „Es gibt auch dabei offenbar völlig unterschiedliche Lerntypen. Es gibt Studierende, die durch eine Competition und Rankings voll motiviert sind. Andere können wiederum ohne Ranking besser lernen. Es demotiviert auch manchmal, wenn sie einfach lieber für sich lernen wollen“, sagt Pirker. „Studierende sollten sich in digitalen Welten völlig auf die Lernerfahrung konzentrieren können.“

Phänomene der Physik – nicht nur sichtbar, sondern auch anzufassen

Pirker ist fest davon überzeugt, dass die Entwicklungen in der Spieleindustrie eine Vorreiterrolle bei der motivierenden Vermittlung für all jene klassischen Medien übernommen hat, die sich bislang als Produzenten analoger Produkte be-

griffen haben: Die Film- und Fernsehindustrie, Verlagshäuser und auch Schulen und Universitäten. „Wir haben im Physik-Unterricht und in vielen MINT-Fächern, also Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften, immer das Problem, dass viele Experimente zwar super spannend sind, aber die meisten Schulen und Universitäten sich reale Experimentierlabore nicht leisten können. Darum ist der Physik-Unterricht leider oft sehr trocken und theoretisch“, sagt Pirker.

Simulationen oder Visualisierungen könnten Schülern Phänomene der Physik leichter veranschaulichen. „Integrieren wir das Ganze in Virtual Reality oder in soziale, virtuelle Welten, werden Phänomene hier nicht nur sichtbar, sondern auch anzufassen“, sagt die Medieninformatikerin. Und das sei viel effektiver und motivierender fürs Lernen.

So berichteten Studierende laut Pirkers Untersuchung in der „Maroon“-Umge-

bung davon, dass dort die VR-Physik-Experimente etwa zum Faraday'schen Käfig oder zum Strömungsverhalten von Flüssigkeiten eine Bereicherung für den Unterricht darstellen. Johanna Pirker sieht sich so gewissermaßen „an der Schnittstelle“ vieler Forschungsbereiche, bei ihr gehen Informatik und Pädagogik Hand in Hand. Sie sei dabei „Informatikerin genug“, um zu wissen, was passieren kann, wenn man hochkomplexe Fragestellungen nur mit Experten aus einem einzigen Fachgebiet angehen und lösen möchte. Fest steht für sie, dass Spiele „Lebenslabore“ sein können. „Über Spiele lassen sich Lösungen für gesellschaftliche Probleme finden, die alles andere als ein Spiel sind.“

Bernd Graff

Prof. Dr. Johanna Pirker

ist derzeit Vertretungsprofessorin für Medieninformatik an der LMU. Außerdem ist sie Assistant Professor am Institut für Interaktive Systeme und Datenwissenschaften an der Technischen Universität Graz (TUG).

Der digitale Aufreger

Schlagzeilen mit Negativ-Touch steigern den Konsum von Online-News

Steigert es die Klickzahlen, wenn Schlagzeilen gespickt sind mit negativen Vokabeln, gleichsam mit Aufregung angefütert? Ein Team um Stefan Feuerriegel, AI in Management, hat das untersucht. Seine Antwort ist rundheraus: Ja. Bei ihrer Untersuchung konnten sie auf Daten von Upworthy.com zurückgreifen. Das Portal, das sich ausgerechnet positiven Nachrichten verschrieben hat, hatte selbst viel mit Headline-Varianten experimentiert. Im Schnitt konnte schon ein einziges negatives Buzzword wie „wrong“, „bad“ oder „awful“ die Klickrate deutlich steigern, von etwa 1,4 auf 2,3 Prozent. Nature Human Behaviour, 2023

Tanz der Teilchen

Auf der Spur exotischer Gebilde – erstmals Supermoleküle nachgewiesen

Die Theorie sagt voraus, dass bei der Kollision ultrakalter polarer Moleküle sogenannte exotische gebundene Zustände entstehen können. Im Experiment erkennbare Änderungen der Stößeigenschaften deuten nun darauf hin, dass das tatsächlich möglich ist. Für ihre Untersuchungen nutzten die Forscher um Immanuel Bloch ein Mikrowellenfeld, mit dem sie das Zusammenspiel verschiedener Kräfte zwischen den Teilchen gezielt beeinflussen können. So können sich „Supermoleküle“ formen: vergleichsweise riesige und schwach verknüpfte Gebilde. Damit schuf das Team ein Werkzeug, um aus ultrakalten Molekülen exotische Formen von Quantenmaterie zu erzeugen. Nature, 2023

„LMU aktuell“: Der monatlich erscheinende Newsletter informiert über Aktuelles aus Forschung sowie Uni&Campus:
www.kurzelinks.de/lmu-newsletter



Braunbären im Winterschlaf entwickeln keine Thrombosen, obwohl sie wochenlang nur liegen. Ein Team um den Mediziner Tobias Petzold hat gezeigt, dass der Grund dafür ein Protein ist, das auch der Mensch besitzt – ein Ansatz für neue Therapien für bettlägerige Akutpatienten. Science, 2023

© Mikael Fritzon / Imago

Die Zahl

1,1°

Graphen ist ein extrem vielseitiges Material. Die Vielseitigkeit basiert auch auf den ungewöhnlichen Eigenschaften seiner Bestandteile, etwa seiner niederenergetischen Elektronen. Verdreht man zwei Graphenlagen in einem „magischen Winkel“ von 1,1 Grad gegeneinander, reagieren die Elektronen kollektiv. Die Schichten sind dann supraleitend und weisen eine schillernde Vielfalt korrelierter Zustände auf. Graphen ist aufgrund solcher Effekte eines der faszinierendsten Materialien in der Physik. LMU-Physiker Dmitri Efetov hat nun drei Monolagen Graphen mit einem zweiten magischen Winkel von 1,5 Grad verdreht, dabei erstmals die Energielücken der elektronischen Bänder der Elektronen bestimmt. Nature Materials, 2023

Magenkrebs im Keim ersticken

Schwachstelle des Bakteriums *Helicobacter pylori* entdeckt

Weltweit sind über vier Milliarden Menschen mit dem Bakterium *Helicobacter pylori* infiziert. Jedes Jahr führt das zu über 800.000 Fällen von Magenkrebs. Zu allem Überfluss wird der Magenkeim auch noch zunehmend resistent gegen gängige Antibiotika. Innovative Behandlungsmöglichkeiten werden deswegen händeringend gesucht. Die Biologen Rainer Haas und Wolfgang Fischer vom Max von Pettenkofer-Institut haben nun eine Schwachstelle des Krankheitserregers entdeckt, die zur Herstellung neuer Me-

dikamente genutzt werden könnte. Sie konnten mehrere Substanzen identifizieren, die schon in geringen Konzentrationen die Atmungskette von *Helicobacter pylori* lahmlegen. Für andere nützliche Bakterien, wie zum Beispiel Vertreter der normalen Darmflora, sind sie hingegen unproblematisch. Und noch eine gute Nachricht können die Forscher vermelden: Es ist unwahrscheinlich, dass *Helicobacter pylori* Resistenzen gegen diese Stoffgruppe entwickeln wird. Cell Chemical Biology, 2023



Die Dolmetscherin: Barbara Plank über „NLP“

Es gibt wissenschaftliche Begriffe, die es in die Alltagswelt geschafft haben. LMU-Wissenschaftler erklären an dieser Stelle solche Ausdrücke – nicht nur mit einer reinen Definition, sondern auch mit einer kurzen Geschichte ihrer Popularität.

„Maschinen sollen menschliche Sprache verstehen und selbst generieren können. Aus dieser Idee entstand ein interdisziplinäres Forschungsgebiet, das sich mit Computersoftware zur maschinellen Verarbeitung menschlicher Sprache beschäftigt: das Natural Language Processing (NLP), auch Computerlinguistik oder Language Technology genannt.

NLP ist also ein Kernbereich der Künstlichen Intelligenz (KI), der sich mit menschlicher Sprache befasst, daneben boomen gerade auch Bildgeneratoren, also Systeme, die sich mit dem Verstehen und Erzeugen von Bildern beschäftigen. Der Schwerpunkt bei NLP liegt heute auf modernen datengesteuerten Ansätzen und Methoden, die maschinelles Lernen auf großen Textmengen anwenden. Sie erkennen Muster in Sequenzen aus sprach-

lichen Einheiten, wie zum Beispiel Buchstaben, Wörter, Phrasen, Sätze sowie gesprochene Sprache oder eine Verbindung von Bildern und Texten. Der Begriff NLP hat sich in den letzten Jahren durch die Popularität von NLP-Systemen wie Alexa, Siri und Large Language Models wie BERT und ChatGPT weit verbreitet, obwohl der Begriff und das Feld seine Ursprünge bereits in den 1930er- und 1940er-Jahren hat mit dem Beginn der Studie an maschineller Übersetzung.

NLP ermöglicht es Computern, über KI-Methoden mit Menschen zu kommunizieren. Sie sind damit in der Lage, Texte zu verstehen, Fragen zu beantworten oder Texte aus anderen Sprachen zu übersetzen. Inzwischen übernimmt NLP auch komplexere Aufgaben: Es lassen sich damit Informationen aus unstrukturierten Texten herausziehen oder Artikel maschinell übersetzen. Die neueste, viel diskutierte Entwicklung ChatGPT kann sogar eigene, redigierbare Texte generieren.

Frühe Ansätze gründeten auf regelbasierten Systemen, bei denen Grammatik-

regeln und Lexika verwendet wurden, um Texte zu analysieren oder generieren. Doch diese Ansätze hatten ihre Grenzen, da menschliche Sprache vielfältig und oft implizit und uneindeutig ist. Mit dem Aufkommen von statistischen Methoden, Maschinellem Lernen und vor allem Methoden, die auf neuronalen Netzen (Deep Learning) basieren, hat sich das Feld rasant weiterentwickelt.

Die Vielfalt menschlicher Sprache, einschließlich Ironie, Mehrdeutigkeiten und Minderheitensprachen oder Dialekten, stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar. Zudem müssen ethische Aspekte wie Datenschutz und Fairness bei der Entwicklung von NLP-Systemen berücksichtigt werden. Insgesamt aber hat NLP das Potenzial, die Art und Weise, wie wir mit Computern interagieren, grundlegend zu verändern. Es ermöglicht eine natürlichere und effektivere Kommunikation zwischen Mensch und Maschine.“

Prof. Dr. Barbara Plank
ist Professorin für Künstliche Intelligenz und Computerlinguistik an der LMU

„Eine Bühne, Gleis für Gleis“

Sie symbolisieren den Aufbruch in der Moderne: Bahnhöfe stehen für Verbindung und Begegnung, für Freiheit – aber auch für eine Abfahrt ohne Wiederkehr. Wie sie das von Beginn an auch für die Literatur interessant machte, untersucht LMU-Germanistin Margit Dirscherl. Eine Expressfahrt durch die Literaturgeschichte.

Sie forschen zu „Bahnhöfen in der Literatur“. Welcher ist denn Ihr Lieblingsbahnhof?

Dirscherl: Vor meiner Zeit in München habe ich einige Jahre an verschiedenen Universitäten in England verbracht und von dort zwei Lieblingsbahnhöfe mitgebracht: Früher war es Liverpool Street, heute ist es Paddington. In Großbritannien kann man das Fahrrad kostenlos im Zug mitnehmen, was ich sehr schätze. In Paddington, einem klassischen Kopfbahnhof, treffen sich mehrere U-Bahn-Linien, und man kann fast bis in die Bahnhofshalle radeln. An Gleis 1 kommt man dann an der Bronzestatue von Paddington Bear vorbei, der auf einem Koffer sitzt.

A Bear Called Paddington ist ein Kinderbuch von Michael Bond, das ja bekanntlich auch Queen Elizabeth sehr geliebt hat. Aber das Buch hat einen sehr ernsten Hintergrund. Was hat es damit auf sich?

Dirscherl: Inspiriert wurde Michael Bond von den Kindertransporten, mit denen jüdische Kinder vor der Verfolgung durch die Nationalsozialisten ins britische Exil gerettet wurden. Und das führt mitten in die Thematik: Spricht diesen Bären, der da mit Koffer im Bahnhof sitzt, jemand an und nimmt ihn mit? Das ist die Frage. Die Geschichte von Paddington Bear, diesem Bären „from darkest Peru“, erzählt vor allem davon, wie wir Fremden begegnen.

Im positiven wie im negativen Sinne, oder? Schienen stehen spätestens seit Stanisław Muchas emblematischem Foto

des Torhauses von Auschwitz-Birkenau auch für Deportation und die Shoah.

Dirscherl: In der Tat, Bahnhöfe stehen auch für eine Abfahrt ohne Wiederkehr. Muchas Foto, das ja „nur“ die Zufahrtsgleise und das Torhaus abbildet, „zeigt“ – gerade weil es nichts als diese gespenstische Leere zeigt – eben auch die Abwesenheit all der Menschen, die im Vernichtungslager ermordet wurden. Der auf dem Foto abgebildete Platz ist der Schauplatz von Tadeusz Borowskis Erzählung *Bitte, die Herrschaften zum Gas*: „Es ist eine idyllische Rampe, wie man sie von abgelegenen Provinzbahnhöfen kennt. Ein kleiner kiesbestreuter Platz, eingrahmt vom Grün hoher Bäume. (...) Von hier wird alles nach Birkenau gebracht: Material zum Ausbau des Lagers und Menschen für das Gas.“

Mit einer Träne im Auge dem Schnellzug nach Danzig nachgeblickt

Idyllisch ist doch auch das Foto nicht.

Dirscherl: Von Idylle kann weder beim Foto noch bei der Erzählung die Rede sein! Die Erzählung lässt sich auch eher als Gegenstück zum Foto lesen: Sie verleiht jenen Menschen eine Gestalt, die auf dem Foto nicht abgebildet sind. Und sie schildert die Grausamkeiten, die das Foto gerade nicht zeigt. Die Bahnhöfe kommen indirekt auch im Drama *Die Ermittlung* zur Sprache, in dem Peter Weiss die

Frankfurter Auschwitz-Prozesse thematisiert. Da fragt ein Richter einen Zeugen: „Hatten Sie in den Lagern zu tun?“ Und der antwortet: „Nein. Ich hatte nur dafür zu sorgen, dass die Betriebsstrecken in Ordnung waren und dass die Züge fahrplanmäßig ein- und ausliefen.“

Eine Metapher für die Shoah – das ist ja nicht das, was wir landläufig mit Bahnhöfen verbinden. Meistens versprechen sie doch Abenteuer und Aufbruch ins Unge- wisse. Wie passt das zusammen?

Dirscherl: Bahnhöfe sind tatsächlich immer auch Sehnsuchtsorte. Genau diesen Widerspruch spitzt Imre Kertész in seinem Roman *eines Schicksallosen* zu. Da sieht der Erzähler durch das kleine Fenster des Viehwagens das Bahnhofsschild „Auschwitz-Birkenau“ – er betrachtet den Namen nicht ohne die Neugier eines Reisenden, wohingegen der Leser sofort das weitere grauenhafte Schicksal der Zuginsassen begriffen hat. Bahnhöfe waren, seit sie gegen Mitte des 19. Jahrhunderts überall entstanden sind, immer auch eine Verheißung von Freiheit.

Wo findet sich das in der Literatur?

Dirscherl: Zum Beispiel in Theodor Fontanes Roman *Effi Briest*. Da sieht die gleichnamige Titelheldin – gefangen in der bürgerlichen Welt des ausgehenden 19. Jahrhunderts und obendrein in der Provinz – gemeinsam mit ihrem frisch angetrauten Ehemann dem Schnellzug nach Danzig nach: „Möchtest du mit, Effi?“, fragt er. „Sie sagte nichts. Als er



Bahnhöfe in der Literatur – „da gibt es laufend wechselnde Hauptdarsteller und jede Menge Zuschauer“, sagt die Germanistin Margit Dirscherl. Blick von der Hackerbrücke auf den Münchner Hauptbahnhof. Foto: Florian Generotzky

aber zu ihr hinüberblickte, sah er, dass eine Träne in ihrem Auge stand.“ In diesem Moment begreift Effi, „was ihr fehlte“, nämlich genau diese Freiheit.

In Ihrer Antwort schwingt ein Aber mit.

Dirscherl: In der Tat ist dieses Freiheitsversprechen nicht immer ungebrochen. Bahnhöfe markieren oft auch Kippunkte im Leben, denn sie zwingen uns eine Entscheidung auf: einsteigen oder draußen bleiben? Wegfahren oder dableiben? Durch Beantwortung dieser Fragen entscheiden sich die Lebenswege von Figuren, manchmal mit beglückenden, mitunter mit verheerenden Konsequenzen. Und es gibt auch Fälle, in denen – zumindest bis etwas Unverhofftes passiert – gar nichts beantwortet und entschieden wird. Christa Wolf hat das exemplarisch in ihrer Erzählung *Der geteilte Himmel* durchgespielt. Kurz vor dem Mauerbau kauft Rita, die Protagonistin der Erzählung, eine Hin- und Rückfahrkarte nach West-Berlin: „Darin also unterschied diese Stadt sich von allen anderen Städten der Welt: Für vierzig Pfennig hielt sie zwei verschiedene Leben in der Hand.“

Die Erfindung der Eisenbahn als öffentliches Transportmittel hat das Zeitalter der Postkutsche beendet und die Welt revolutioniert. Die Erschließung Nordamerikas wie auch Sibiriens wäre ohne Eisenbahn nicht denkbar gewesen. Welche Bedeutung hat der Bahnhof für die Moderne?

Dirscherl: Die Eisenbahn hat einerseits unsere Naturwahrnehmung vollkommen verändert und andererseits das Reisen demokratisiert. Reisen mit der Postkutsche war immer ein Privileg. Und auf einmal sitzt die dritte Klasse im Zug und überholt die Reichen in der Kutsche. Mit der Erfindung des Autos allerdings kehrt die Kutsche, das Reisen im eigenen Fahrzeug als Ausdruck individueller Freiheit, zurück. Bahnhöfe hingegen ermöglichen, jenseits der Freiheit, die sie verheißen,

auch Begegnungen. Vor allem aber hat die Eisenbahn unsere Vorstellung von Raum und Zeit völlig neu definiert. Heinrich Heine schreibt, „sogar die Elementarbegriffe von Zeit und Raum sind schwankend geworden. Durch die Eisenbahnen wird der Raum getötet, und es bleibt uns nur noch die Zeit übrig.“ Walter Benjamin sieht das ganz ähnlich, für ihn beginnt der Strand – jedenfalls für den, der zu einer Reise aufbricht – schon am Bahnhof, „als wenn wir die Fahrt schon hinter uns hätten“.

Zeit, zum Schlafplatz aufzubrechen, mit einer neuen Flasche Wodka

Sind deswegen Bahnhöfe für die Literatur so interessant, weil sie moderne Kreuzungspunkte darstellen?

Dirscherl: In Bahnhöfen kommen die unterschiedlichsten Leute zusammen, und Geschichten nehmen dort ihren Anfang oder ihr Ende. Weil es bis heute verschiedene Klassen von Reisenden gibt, sind sie auch Spiegel der jeweiligen Gesellschaft bis hin zu Macht- und Klassenkampf.

Bahnhöfe sind oft auch hoch umstritten, Stuttgart 21 etwa. Warum arbeiten sich so viele Menschen an Bahnhöfen ab?

Dirscherl: Bahnhöfe sind eben ganz besondere Orte. Gerade auch die, die gar nicht abreisen, sondern etwa auf einen Reisenden dort warten, sind empfänglich für ihre Atmosphäre. Vielleicht sind sie so etwas wie Kathedralen aus Eisen und Glas – licht, hell, transparent, offen und gleichzeitig doch auch Ziel- und Ruhepunkt. Sie sind Räume voll unendlicher Möglichkeiten, Räume zum Träumen. Sie

»Bahnhöfe haben vor allem unsere Vorstellung von Raum und Zeit völlig neu definiert.«

konnten gar nicht aus Stein allein errichtet werden, das hätte die Konstruktion der Gleishalle nicht getragen. „The only way of catching a train [...] is to miss the train before“, schreibt G. K. Chesterton einmal. „Do this, and you will find in a railway station much of the quietude and consolation of a cathedral.“

Transparent, aber doch anonym ...

Dirscherl: Bahnhöfe sind gleichermaßen faszinierend für Reisende wie für Flaneure. Abgesehen davon, dass sie vielleicht die Kathedralen der Moderne sind, sind sie auch immer Theater, auf deren Bühnen, Gleis für Gleis, existenzielle Fragen szenisch ausgetragen und exemplarisch verhandelt werden. Da gibt es laufend wechselnde Hauptdarsteller und jede Menge Zuschauer, mitunter gerät einer der Protagonisten ins Stocken und schließlich aus dem Gleichgewicht, verschwindet von der Bühne und findet sich unter den Zuschauern wieder. Wolfgang Hilbig erzählt in seinem Roman *Das Provisorium* die Geschichte eines DDR-Schriftstellers, der für ein Jahr ausreisen darf und weder im Westen richtig ankommt, noch in den Osten zurückkehrt; er bleibt am Münchner Bahnhof hängen: „Er kam immer nur bis zu dem Kiosk vor den Bahnsteigen. Wenn alle Züge verpasst waren, wurde es Zeit, zu seinem Schlafplatz aufzubrechen, mit einer neuen Flasche Wodka.“

Interview: Maximilian Burkhart

Dr. Margit Dirscherl

ist Akademische Rätin am Institut für Deutsche Philologie der LMU. Im vergangenen Wintersemester war sie Junior Researcher in Residence am Center for Advanced Studies (CAS) der LMU.

Der Schwerpunkt

Zusammenhalten Vom Wert der Kooperation

Es sind nicht nur die Jahre der Pandemie, die die Widerstandskraft der Gesellschaft übermäßig beansprucht haben. Auch die Klimakrise, der Krieg Russlands gegen die Ukraine und zunehmende soziale Spannungen polarisieren die Gesellschaft weiter. Was könnte den Menschen dabei helfen, den Zusammenhalt zu fördern? Warum ist Zuwanderung nicht nur für den Arbeitsmarkt so wichtig? Wie kann Teamwork auch in Zeiten des mobilen Arbeitens gut funktionieren? Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der LMU beleuchten den Begriff der Kooperation aus dem Blickwinkel ihrer unterschiedlichen Disziplinen.



„Inzwischen“, so sagt Sozialpsychologe Mario Gollwitzer, „sortiert sich die gesamte Gesellschaft immer stärker in Gruppen, die sich über Abgrenzung von anderen definieren: die Rechten, die Linken. Die Querdenker, die Normaldenker. Die Generation Z und die Boomer. Die Letzte Generation und die SUV-Fahrer.“ Straßenblockade am Ernst-Reuter-Platz, Berlin, Ende April 2023. Foto: Olaf Schülke/Picture Alliance/SZ-Photo

Halten oder spalten

LMU-Sozialpsychologe Mario Gollwitzer erforscht, was Menschen auseinanderbringt und was Gesellschaften zusammenschweißt.

Von Nikolaus Nützel

Nüchterne Sprache, ernüchterndes Ergebnis: „Zwei Drittel der Bürgerinnen und Bürger finden, dass es um den gesellschaftlichen Zusammenhalt in Deutschland eher schlecht bestellt ist.“ Diesen Befund veröffentlichte das Meinungsforschungsinstitut Infratest Dimap im November vergangenen Jahres. Der Sozialpsychologe Mario Gollwitzer sieht in einem solchen Umfrage-Ergebnis durchaus ein Warnsignal. Er rät allerdings auch zur Vorsicht, eine solche Aussage nicht überzuinterpretieren. Bei der Formulierung von Befragungen ist aus seiner Sicht viel Bedacht nötig. Allein die Frage nach dem gesellschaftlichen Zusammenhalt könne bei den Befragten einen mentalen Prozess in Gang setzen: „Gehöre ich zu denen, die eine Spaltung sehen? Oder zu den anderen?“ Und schon ordnet sich jemand einer Gruppe zu und grenzt sich von einer anderen ein wenig ab.

Sich selbst in der Gesellschaft an einer bestimmten Stelle zu verorten und sich mit anderen zu identifizieren, ist ein zutiefst menschliches Bedürfnis zu allen Zeiten und überall auf der Welt, stellt Gollwitzer fest: „Irgendwo dazuzugehören, Teil einer Gruppe zu sein und dort auch die Rückmeldung zu bekommen: Du bist ein akzeptiertes Mitglied.“ Vor dem Hintergrund dieser Erkenntnis erforschen Sozialpsychologen wie Gollwitzer unter anderem, was Menschen miteinander verbindet und voneinander trennt, was Gesellschaften stabilisiert und was sie erschüttert.

Neben dem Bedürfnis, sich einer Gruppe zuordnen zu können, hat die Sozialpsychologie weitere Grundbedürfnisse der Menschen in modernen Gesellschaften herausgearbeitet: Etwa das Gefühl, frei und autonom entscheiden zu können. Schwer verzichtbar sind für viele Menschen auch Vorhersehbarkeit und Stabilität. Gerade das Bedürfnis, absehen zu können, was auf sie zukommt, werde in letzter Zeit allerdings nicht gerade gestillt, glaubt Gollwitzer: „Umbrüche wie die Corona-, die Klimakrise oder der Krieg sind immer eine Bedrohung für unser Streben nach Stabilität, Ordnung, Vorhersehbarkeit und Kontrolle.“ Gleichzeitig beobachtet der LMU-Forscher ein stärkeres Lagerdenken als in früheren Jahrzehnten.

Wie prägen Opfer-Narrative die politische Landschaft?

Natürlich hat es immer schon bei vielen Fragen eine gesellschaftliche Aufspaltung gegeben. Etwa in den 1980er-Jahren: „Bist du für oder gegen die NATO-Nachrüstung? Bist du für oder gegen Atomkraft?“ Aber „inzwischen“, so sagt Gollwitzer, „sortiert sich die gesamte Gesellschaft immer stärker in Gruppen, die sich über Abgrenzung von anderen definieren: die Rechten, die Linken. Die Querdenker, die Normaldenker. Die Generation Z und die Boomer. Die Letzte Generation und die SUV-Fahrer.“ Die Kommunikation über soziale Netzwerke tut ihren Teil dazu: „Über eine limitierte

Zeichenzahl lässt sich Komplexität nur begrenzt ausdrücken“, sagt Gollwitzer.

Gleichzeitig beobachtet er eine stärkere Tendenz, sich als Opfer anderer gesellschaftlicher Gruppen zu sehen. Diese Beobachtung will er mit seinem Kollegen Karsten Fischer vom Geschwister-Scholl-Institut für Politikwissenschaft der LMU tiefer ergründen. In einem Forschungsprojekt gehen sie einem Phänomen nach, das die US-Soziologen Bradley Campbell und Jason Manning in den Buchtitel *The Rise of Victimhood Culture* gefasst haben. Gollwitzer findet den englischen Begriff „Victimhood Culture“ jedoch etwas problematisch. Denn die Idee einer „Opfer-Kultur“ oder gar eines „Opfer-Kults“ verkürzt aus seiner Sicht doch arg die Vielschichtigkeit des Phänomens, das dahintersteht. Was ihn besonders interessiert, ist die Frage, wie ein solcher Kulturwandel – wenn es ihn denn gibt – in den Köpfen der einzelnen Menschen genau repräsentiert ist. Die Arbeitshypothese: Wenn es eine solche „Opfer-Kultur“ wirklich gibt, müsste auch die individuelle Sensibilität für Ungerechtigkeit in den letzten 20 Jahren angestiegen sein. Ob es hierfür empirische Hinweise gibt, wollen Gollwitzer und sein Team nun herausfinden.

Wie prägen aber nun Opfer-Narrative die politische Landschaft Deutschlands und wie verändern sich diese Haltungen? Dafür gehen die Forscher Wahl- und Parteiprogramme der letzten fünf Bundestagswahlen durch und untersuchen die entsprechenden Texte aller Parteien. Gollwitzer vermutet, dass Opfer-Narrative stärker an den politischen Rändern zu





»Umbrüche wie die Corona-, die Klimakrise oder der Krieg sind immer eine Bedrohung für unser Streben nach Stabilität, Ordnung, Vorhersehbarkeit und Kontrolle.«

Zusammenhalt zu leben ohne Ausgrenzungen, das wäre für ein zivilisiertes Land natürlich erstrebenswert, sagt Gollwitzer. Dazu müssten die Menschen Unsicherheit ebenso aushalten wie Verschiedenheit. „Und das ist anstrengend.“ Foto: Oliver Jung

finden sind als in der Mitte. Und erste Befunde zeigen auch in diese Richtung.

Die Botschaft „Meine Gruppe wird von anderen Gruppen benachteiligt, bevormundet, ihrer Freiheit beraubt“ kann jedoch nur verfangen, wenn Menschen für solche Ideen empfänglich sind. Und hier untersucht Gollwitzer schon seit Längerem das, was in der Sozialpsychologie als „Ungerechtigkeitssensibilität aus der Opferperspektive“ – oder kurz: „Opfersensibilität“ – diskutiert wird: „Das sind Leute, die mit einer Art Alarmsystem durchs Leben gehen und der Meinung sind, dass überall die Gefahr lauert, ausgenutzt zu werden, schlecht behandelt zu werden, hintertreten zu werden.“ Menschen mit diesem Alarmsystem seien wiederum besonders anfällig für Opfer-Narrative.

Gefangen im Ungerechtigkeits- daueralarm

Um eine besonders ausgeprägte „Opfersensibilität“ zu erkennen, sind laut Gollwitzer Befragungen gut geeignet. Dabei sei es wichtig, die Fragen so wenig suggestiv wie möglich zu formulieren. Fragen können dann zum Beispiel lauten, ob Menschen Sätzen wie diesen zustimmen: „Es geht mir lange nach, wenn ich schlechter behandelt werde als andere.“ Oder auch: „Es macht mir zu schaffen, wenn ich sehe, dass andere Menschen bevorzugt werden und ich benachteiligt werde.“

Die Frage „Werde ich gerecht behandelt?“ geht allerdings mit einer weiteren Frage einher: „Was ist gerecht?“ Und auf diese Frage gibt es keine klare Antwort. Wenn zum Beispiel eine Ressource unter mehreren Menschen zu verteilen ist, gibt es mehrere Prinzipien, die alle ihre Berechtigung haben. So könnte man zum

Beispiel das Gleichheitsprinzip anwenden: Alle bekommen gleich viel. Ein Beispiel wäre die Energiekostenpauschale für Studierende, die für alle gleich hoch ausgefallen ist, egal ob sie aus einem Millionärselternhaus oder aus einem Elternhaus von Grundsicherungsbeziehern kommen.

Aber auch das Bedürftigkeitsprinzip kann als gerecht gelten: So erhalten Bezieher von BAföG oder Wohngeld einen erhöhten Heizkostenzuschuss. Voraussetzung ist bei diesem Prinzip allerdings stets, dass die Bedürftigkeit geprüft werden muss, was nicht ohne bürokratischen Aufwand zu leisten ist. Als eine dritte Form der Verwirklichung von Gerechtigkeit gilt das Beitragsprinzip. So gilt in Deutschland in der Rentenversicherung als gerecht: Wer mehr eingezahlt hat, erhält später eine entsprechend höhere Leistung, unabhängig davon, ob er etwa nach einem Berufsleben mit hohem Einkommen hohe Altersbezüge wirklich braucht.

Politik in komplexen Gesellschaften sieht Gollwitzer dabei in einer Dilemma-Situation: „Denn diese drei genannten Gerechtigkeitsprinzipien schließen einander logisch aus.“ Das Gleichheitsprinzip widerspricht dem Bedürftigkeitsprinzip. Und beide widersprechen wiederum jeweils dem Beitragsprinzip. Deswegen bedeutet Politik, immer wieder neu zu entscheiden, welches Gerechtigkeitsprinzip auf welchem Feld in welcher Form angewandt werden soll, und dabei immer wieder Kompromisse zu schließen.

Politik muss sich dabei, so sagt Gollwitzer, mit einigen sozialpsychologischen Grundkonstanten auseinandersetzen. So ist ein Phänomen inzwischen gründlich erforscht, das im englischen Sprachraum den Namen „Fixed-Pie-Bias“ bekommen hat: Menschen neigen zu der Fehlannah-

me, der Kuchen, der verteilt werden kann, bleibe immer gleich groß. Was dazu führen würde, dass dann, wenn neue Gruppen einen Teil vom Kuchen wollen, andere bereits etablierte Gruppen jeweils kleinere Stücke bekommen.

Zusätzliche Bedürfnisse bestimmter Bevölkerungsgruppen zu befriedigen, wäre dann also ausschließlich möglich, wenn andere Bevölkerungsgruppen zurückstecken. Beispielsweise Zuwanderern ein gutes Leben zu ermöglichen, ist nach dieser Wahrnehmung nur denkbar, wenn diejenigen, die schon im Land sind, kürzertreten. Oder einer wachsenden Zahl von Rentnern ein gutes Leben zu gewährleisten, wäre nach der Idee des „Fixed-Pie-Bias“ nur möglich, wenn die Berufstätigen zurückstecken.

Doch dass in einer Volkswirtschaft mit stetig wachsender Produktivität und Wirtschaftsleistung der Kuchen immer größer wird, werde oft übersehen, stellt Gollwitzer fest. Entsprechend können zusätzliche Kuchenstücke gegebenenfalls auch verteilt werden, ohne dass jemand weniger bekommt. „Das ist allerdings kognitiv etwas schwerer zu verarbeiten als die Idee einer festen Obergrenze“, resümiert der Sozialpsychologe.

Die Angst, zu kurz zu kommen, vertieft die Gräben in der Gesellschaft

Dass die Angst, in einem Verteilungskonflikt zu kurz zu kommen, bestehende gesellschaftliche Gräben vertieft oder überhaupt erst aufreißt, daran kann seiner Ansicht nach kaum ein Zweifel bestehen. Aber sinnvoll wäre es aus Sicht der Sozialpsychologie, immer wieder deutlich zu machen, dass eben jedes Verteilungsprinzip seine Berechtigung hat und Kom-



Die sozialen Unterschiede werden größer, in manchen Bevölkerungsgruppen wächst die Not: Tafeln versorgen Bedürftige mit Lebensmitteln. Schlange vor der Tafel an der Münchner Großmarkthalle. Foto: Frank Hoermann/Sven Simon/Picture Alliance

promise oft eine gute Lösung für einen Konflikt darstellen.

Zusammenhalt lässt sich aber auch noch auf andere Weise stärken, stellt Gollwitzer mit einem leichten Seufzen fest: „Eine Gruppe kann man dann zusammenhalten, wenn man einen äußeren Feind produziert.“ Das lässt sich beispielsweise in Russland beobachten, „wo die Erzählung, das Land müsse sich mit Gewalt gegen äußere Feinde zur Wehr setzen, in der Bevölkerung bislang stärker verankert, als viele Menschen in westlichen Ländern erwartet oder erhofft hat-

ten“. Gleichzeitig habe der russische Angriffskrieg auf die Ukraine, zumindest auf einer staatspolitischen Ebene, die Mitgliedsländer der Europäischen Union wieder stärker zusammengebracht, glaubt Gollwitzer: „Das gilt als Angriff auf die westlichen Werte, also auf uns. Und das lässt die EU-Staaten oder die NATO wieder zusammenrücken.“

Zusammenhalt zu leben ohne äußere Feinde oder ohne feindselige Abgrenzung von anderen Gruppen innerhalb der eigenen Gesellschaft, das wäre für ein zivilisiertes Land natürlich das Erstre-

benswerteste, findet Gollwitzer. Dazu aber müssten die Menschen Unsicherheit ebenso aushalten wie Verschiedenheit: „Und das ist anstrengend. Doch eine gute Alternative dazu sehe ich nicht.“

Prof. Dr. Mario Gollwitzer

ist Inhaber des Lehrstuhls für Sozialpsychologie am Department Psychologie der LMU. Gollwitzer, Jahrgang 1973, studierte Psychologie an der Universität Trier, wo er auch promoviert wurde, bevor er an die Universität Koblenz-Landau wechselte. Dort leitete er das Zentrum für Methoden, Diagnostik und Evaluation. Nach acht Jahren an der Philipps-Universität Marburg kam er 2018 an die LMU.

Migration als Chance

Deutschland steht vor einem nie dagewesenen Fachkräftemangel, warnt der Ökonom Panu Poutvaara. Politik und Gesellschaft müssten Deutschland für hochqualifizierte Ausländer attraktiver machen und gleichzeitig die Integration fördern.

Von Andreas Schuck

Es wird eng, der Mangel immer größer. Abgesehen von einem Einbruch in der Zeit der Coronapandemie weist die Kurve seit einem Dutzend Jahren stetig nach oben. Regelmäßig befragen die Kollegen von Panu Poutvaara am ifo Institut mehr als 10.000 Betriebe und Unternehmen unter anderem, ob der Mangel an Fachkräften ihre Geschäfte beeinträchtigt. Im Sommer letzten Jahres antwortete die Hälfte der Firmen auf diese Frage mit Ja – ein Rekordwert. Mittlerweile hat sich die Kurve etwas abgeflacht, doch eben nur leicht, einen Grund zur Entwarnung sehen Arbeitsmarktexperten nicht.

Im Grunde fassen sie damit nur das in ein Diagramm, was jeder aus seinem unmittelbaren Alltag kennt: das Warten auf den Handwerkertermin, verkürzte Öffnungszeiten bei Geschäften und Restaurants, lange Schlangen an der Fluggepäckabfertigung auch dann, wenn gerade nicht gestreikt wird. „Wir suchen“ – ein solches Schild hängt in vielen Schaufenstern und vor Restaurants. Selbst in Vorstadtkinos werben Handwerk und Gewerbe um junges Personal – in Clips zwischen Filmtrailern und Langnese-Reklame.

Ein wenig verzweifelt wirken solche Versuche, gegen die Schwerkraft der Verhältnisse anzukommen, zu finden, wenn es nicht gibt. Die Bundesagentur für Arbeit spricht ganz nüchtern von „Fachkräfteengpässen in zahlreichen Branchen“. Poutvaara, Professor für Volkswirt-

schaftslehre an der LMU und Ökonom am ifo Institut, warnt vor einem „noch nie dagewesenen Fachkräftemangel“. Gesucht sind derzeit besonders Fachkräfte im Gesundheitswesen und in Pflegeeinrichtungen, in der Bauwirtschaft, im Handwerk und in der IT-Branche.

Es ist vor allem der demographische Wandel, der die Situation zuspitzt. Schon seit Langem werden in Deutschland weniger Kinder geboren als Menschen sterben. Der sogenannte positive Wanderungssaldo, die Differenz also aus Zuzügen und Fortzügen, sorgte indes dafür, dass zum Jahresende 2022 84,3 Millionen Einwohnerinnen und Einwohner in Deutschland lebten, so viele wie noch nie.

Die Boomer-Generation verabschiedet sich in den Ruhestand

Doch diese absolute Zahl sagt noch nichts über die Altersverteilung, argumentiert Ökonom Poutvaara. Die Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter nämlich ist seit dem Höchststand im Jahr 2005 kontinuierlich auf zuletzt 62,3 Millionen geschrumpft. Und in dem kommenden Dutzend Jahren geht die vielbeschworene Boomer-Generation in Rente, eine unverhältnismäßig große Alterskohorte der Geburtsjahrgänge zwischen 1957 und 1969. Das spricht nicht gerade dafür, dass sich der Trend in absehbarer Zeit abschwächt. Damit die überalternde Ge-

sellschaft also auch künftig funktioniert, das ist Poutvaaras klares Fazit, ist sie auf Zuwanderung angewiesen.

„Deutschland braucht jährlich etwa 400.000 Zuwanderinnen und Zuwanderer, wenn es einen dauerhaften Arbeitskräftemangel vermeiden will“, rechnet Poutvaara vor. Manche Ökonomen gehen sogar von einem noch höheren Bedarf aus. Das Plädoyer für mehr Migration dürfte insofern einiges Gewicht haben, als Poutvaara nicht nur das ifo Zentrum für Internationalen Institutionenvergleich und Migrationsforschung am ifo Institut leitet, sondern auch dem Sachverständigenrat für Integration und Migration angehört. Der Rat versteht sich als unabhängiges Gremium, das die Politik wissenschaftlich berät.

Was die Zuwanderung und die Integration am Arbeitsmarkt angeht, müsse man differenzieren zwischen Menschen, die zu uns kommen, um zu arbeiten, und solchen, die Schutz suchen, sagt der LMU-Professor: „Der Schutz nach dem Asylrecht wird auf Grundlage humanitärer Überlegungen gewährt und genießt in Deutschland unter bestimmten Voraussetzungen Verfassungsrang. Bei der Arbeitsmigration können die aufnehmenden Länder nach eigenem Interesse entscheiden, wer eine Arbeitserlaubnis erhält und wer nicht“, unterscheidet Poutvaara. Jenseits aller Überlegungen zu globaler Gerechtigkeit und gesellschaftlicher Teilhabe: Die Übergänge von der humanitären zur Arbeitsmigration sind



Mangelberuf: Nicht erst seit der Coronapandemie sind Pflegekräfte in Kliniken dringend gesucht. Foto: Fabian Strauch/Picture Alliance/dpa

fließend. Wer als Flüchtling anerkannt ist, steht dem Arbeitsmarkt automatisch zur Verfügung, ohne dass eine weitere Genehmigung der zuständigen Ausländerbehörde nötig ist.

Der gesamtwirtschaftliche Effekt von Einwanderung ist positiv, zeigte Poutvaara

Eines, so viel vorneweg, konnten Poutvaara und sein Team schon vor einigen Jahren klarstellen: Der gesamtwirtschaftliche Effekt von Einwanderung ist positiv. Die Münchner Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben dafür


die Wohlfahrtseffekte für 20 OECD-Länder berechnet. In der Mehrheit der Industrieländer (14 von 20) profitierten nicht nur die gut ausgebildeten Einheimischen von der Anwesenheit der Migranten, sondern auch die schlecht ausgebildeten. Nur in wenigen Ländern verlieren einheimische Geringverdiener. Gerade in den unteren Lohnsegmenten, so lautet eine weit verbreitete Befürchtung, schaffe Migration Konkurrenz auf dem Arbeitsmarkt und produziere Verlierer in der angestammten Bevölkerung. Im Gegensatz zu vielen anderen Studien, so schreiben die Autoren, berücksichtige ihre Untersuchung ausgewogen die Auswirkungen auf Arbeitsmarkt und öffentliche Finanzen.

Noch eine generelle – naheliegende – Erkenntnis können die Münchner Forscherinnen und Forscher mit ihren Arbeiten untermauern: Erfolg und Wohlfahrtsgewinn hängen wesentlich davon ab, Bedingungen dafür zu schaffen, die neu hinzugezogenen Menschen in Arbeitsmarkt und Gesellschaft zu integrieren. Erst kürzlich haben sie dies für Kriegsflüchtlinge aus der Ukraine untersucht, die derzeit eine Bleibe in Deutschland gefunden haben. Da Integration oft Jahre dauere, so schreiben die Autoren, sei es schwierig, den Fachkräftemangel kurzfristig zu beheben, zumal viele der Geflüchteten ihre jetzige Situation als ein vorübergehendes Provisorium betrachteten.

»Wir sollten Migration nicht als Gefahr, sondern als Chance wahrnehmen.«

Die Vorteile, so eine weitere Studie aus Poutvaaras Zentrum, sind besonders hoch für ein Land wie Deutschland, das aufgrund der Alterung der Bevölkerung mit einer schrumpfenden Erwerbsbevölkerung konfrontiert ist und eine niedrige Arbeitslosenquote hat. Doch die Erkenntnis, dass unser Wirtschaftswachstum und unser Wohlstand ohne Zuwanderung auf lange Sicht gefährdet sind, ist längst nicht bei allen angekommen. Einige Gesellschaftsgruppen stehen Migration kritisch gegenüber oder lehnen sie rundweg ab. Angst vor Armutszuwanderung, Überfremdung und Verarmung oder vor Konkurrenz auf dem Arbeits- und Wohnungsmarkt sind Schlagworte, die Gegner von Zuwanderung in der Diskussion anführen. Wie Diskussionen über Zuwanderung ihren Niederschlag in Zeitungen finden, welche Narrative in den Blättern auftauchen, haben Wissenschaftler um Poutvaara kürzlich auch mit Methoden des Natural Language Processing (NLP) zu untersuchen begonnen.

Dabei ist Arbeitsmigration, nicht nur in den alten Bundesländern, kein neues Phänomen. Seit Mitte der 1950er-Jahre kamen Millionen von Gastarbeiterinnen und Gastarbeiter nach Westdeutschland und trugen wesentlich dazu bei, das „Wirtschaftswunder“ am Laufen zu halten. Als die ersten Arbeitsmigrantinnen und -migranten 1955 aus Italien zu uns zogen, dachte allerdings niemand daran, dass sie auf Dauer bei uns bleiben wür-



Wohlstand und Wirtschaftswachstum sind ohne Zuwanderung auf lange Sicht gefährdet, rechnet Migrationsforscher Panu Poutvaara vor. Foto: Oliver Jung





Integration in Arbeitsmarkt und Gesellschaft erleichtern: Jobbörse der IHK und der Agentur für Arbeit für Geflüchtete aus der Ukraine, Berlin, Juni 2022. Foto: Christoph Soeder/Picture Alliance/dpa

den, weder die Deutschen noch die Migranten selbst, sagt Poutvaara „Rückblickend war es ein Fehler, dass man sich bei der Zuwanderung nicht schon von Anfang um die Integration bemüht und in die Vermittlung von Sprachkenntnissen und Weiterbildung investiert hat“, kritisiert er. Vor allem in späteren Phasen der Zuwanderung von Menschen aus der Türkei führte das zu gesellschaftlichen Verwerfungen, die in Teilen bis heute bestehen oder zumindest nachwirken.

Längst ist klar, dass eine wirksame Integrationspolitik, die auf gleiche Chancen für alle abzielt, nicht nur für die Stabilität

der Gesellschaft nötig ist, sondern auch die Attraktivität eines Landes für Zuwanderinnen und Zuwanderer erhöht. Doch wie lässt sich die Immigration von Fachkräften fördern? „Das Fachkräfteeinwanderungsgesetz von 2020 ist insgesamt zu begrüßen und stellt eine klare Verbesserung dar“, urteilt Poutvaara. Es erleichtert Fachkräften aus Drittstaaten außerhalb der EU die Einreise und Beschäftigung in Deutschland. Neu ist vor allem, dass nun auch beruflich qualifizierte, nicht-akademische Fachkräfte zur Arbeitssuche nach Deutschland kommen können. Wer kein konkretes Arbeitsplatzangebot nachweisen kann, muss seine

Qualifikationen offiziell anerkennen lassen, Deutschkenntnisse nachweisen und während der Aufenthaltsdauer von maximal sechs Monaten den Lebensunterhalt selbst bestreiten. Auch den Plan der Bundesregierung, über Migrationszentren in Afrika und Asien Fachkräfte anzuwerben, hält Poutvaara für eine gute Idee. Bislang unterstützen diese Zentren vor allem Rückkehrer aus Europa, nun sollen sie verstärkt dafür genutzt werden, Fachkräfte zu gewinnen und auszubilden.

Doch Poutvaara setzt auch auf ganz praktische Verbesserungen. Zunächst sollten Arbeitsmigranten beispielsweise wäh-

»Deutschland braucht jährlich etwa 400.000 Zuwanderinnen und Zuwanderer, wenn es einen dauerhaften Arbeitskräftemangel vermeiden will.«

rend der Jobsuche in Deutschland mehr arbeiten dürfen als die vorgesehenen Probestunden und auch außerhalb ihrer Qualifikation, um ihren Lebensunterhalt sichern zu können. Und da die Sprache eine wesentliche Hürde sei und die USA, Kanada, Großbritannien und Australien mit Englisch als Weltsprache bei der Rekrutierung von Fachkräften deshalb deutlich im Vorteil sind, spricht er sich dafür aus, mehr Deutschkenntnisse in den Herkunftsländern über Goethe-Institute oder Onlinekurse zu vermitteln.

Es geht auch um bessere Chancen für Geflüchtete auf dem Arbeitsmarkt

Auch die Verwaltung könnte ihren Teil zur Überwindung der Sprachbarriere beitragen, indem sie Informationen und Arbeitsangebote auf Englisch zur Verfügung stellte. „Hilfreich wäre auch, Menschen mit einem Jobangebot aus Deutschland rasch einen Termin bei der zuständigen Botschaft zu verschaffen, um die Einreiseformalitäten zu erledigen.“ Als eine weitere Hürde nennt der Wissenschaftler die großen Unterschiede der einzelnen Bundesländer beim Erteilen einer Arbeitserlaubnis. „Wer bürokratische Regelungen schafft, darf sich nicht wundern, wenn ausländische Fachkräfte einen Bogen um Deutschland machen“, kritisiert Poutvaara.

Um zu zeigen, wie es anders gehen kann, lenkt der Ökonom den Blick nach Kanada. Dort fördert ein eigenes Ministerium für Immigration und Staatsangehörigkeit aktiv die Einwanderung von Fachkräften. Abhängig von Kriterien wie Ausbildung, Berufserfahrung und Sprachkenntnissen wurde ein System etabliert, das bei Erreichen einer bestimmten Punktzahl zur Einwanderung berechtigt. Immigration

ist so zu einem zentralen Bestandteil der Wirtschafts- und Sozialpolitik geworden, was sich schon darin zeigt, dass Einwanderinnen und Einwanderer „Economic Immigrants“ genannt werden.

Für wichtig hält es der Ökonom auch, die Arbeitsmarktintegration von Geflüchteten zu verbessern. So schlägt Poutvaara vor, dass bei der Verteilung der Geflüchteten auf die Regionen die Zahl der offenen Arbeitsstellen in einer Region als zusätzliches Verteilungskriterium genutzt werden sollte. Einer seiner Studien zufolge steigt für die Geflüchteten in einer Gegend mit geringerer Arbeitslosigkeit die Chance sehr deutlich, dass sie nach zwei Jahren eine Voll- oder Teilzeitbeschäftigung haben – was nicht nur den Betroffenen, sondern auch den öffentlichen Finanzen helfe.

Wie ganz einfache Hilfen die Chancen für die Geflüchteten obendrein verbessern – darauf haben Forschende aus Poutvaaras Team die Probe aufs Exempel gemacht: In einer kontrollierten Studie interviewten sie arbeitssuchende Geflüchtete zu ihrer Jobsuche, halfen ihnen dabei, einen deutschen Lebenslauf zu schreiben, und speisten den bei einer NGO ein, die ihn an Arbeitgeber übermittelte. Telefoninterviews nach zwölf Monaten zeigten positive Effekte der Intervention vor allem für schlechter ausgebildete Geflüchtete.

Um den Arbeitskräftemangel zu verringern, steht Deutschland also vor einer

doppelten Aufgabe: Die Attraktivität des Standorts für ausländische Fachkräfte zu erhöhen und gleichzeitig für eine bessere Integration von Migrantinnen und Migranten zu sorgen. „Wir sollten Migration nicht als Gefahr, sondern als Chance wahrnehmen“, fordert Poutvaara.

Den Schlüssel für mehr Teilhabe am wirtschaftlichen, kulturellen und gesellschaftlichen Leben sieht er in der Bildung. Sie schafft bessere Kontakt- und Vernetzungsmöglichkeiten und damit auch bessere Erwerbschancen. Genauso wichtig ist aber auch ein ehrlicher Umgang mit dem Thema Migration und das Eingeständnis, dass Zuwanderung keine ganz einfache Angelegenheit ist, weder für die Ankommenden, noch für die Aufnehmenden. „Je mehr Menschen aber positive Erfahrungen damit machen, desto leichter lassen sich die Hürden für eine bessere Integration überwinden“, sagt Poutvaara.

Prof. Panu Poutvaara, Ph.D.

ist Professor für Volkswirtschaftslehre, insbesondere vergleichende Institutionenökonomik, an der LMU und Direktor des ifo Zentrums für Internationalen Institutionenvergleich und Migrationsforschung am ifo Institut. Poutvaara, Jahrgang 1973, studierte Volkswirtschaftslehre an der Universität Helsinki, Finnland, wo er auch promoviert wurde. Er war Research Fellow an der Copenhagen Business School, bevor er an die Universität Helsinki berufen wurde. Im Jahre 2010 kam er als Professor an die LMU und ans ifo Institut.

Gemeinsam besser zum Ziel

Wie aus mehreren Menschen ein Team wird: Felix Brodbeck erklärt, warum das ohne Austausch nicht geht. Um zusammen erfolgreich zu sein, müsse man aber nicht ständig im selben Raum sitzen.

Von Felicitas Wilke

Teambuilding funktioniert mitunter ganz automatisch. Felix Brodbeck bittet darum, sich dafür gedanklich in einen Fahrstuhl zu begeben. „Man stelle sich vor, darin befänden sich drei Menschen“, sagt der Wirtschafts- und Organisationspsychologe. „Viele grüßen sich in so einer Situation nicht und vermeiden den Augenkontakt. Auf engem Raum mit meist fremden Menschen geht man eher auf Distanz.“ Dann bleibt der Aufzug stecken. Spätestens jetzt werden sich die drei Menschen anschauen und besprechen, wie sie gemeinsam aus dem Fahrstuhl herauskommen. „In diesem Moment werden sie zum Team“, sagt Brodbeck und liefert die wissenschaftliche Definition gleich mit: „Ein Team ist dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Menschen ein gemeinsames Ziel verfolgen und dabei interagieren.“

Arbeitsteilig miteinander gearbeitet wird überall: In Bürotürmen, Fabrikgebäuden und auf Fußballplätzen, in Dörfern und Städten, in Deutschland genau wie in Nordamerika oder Südostasien. Felix Brodbeck befasst sich seit Jahrzehnten damit, was Menschen in einer Organisation erfolgreich macht und was sie hemmt. Gerade nach einer so einschneidenden Erfahrung wie der Coronapandemie weiß der LMU-Forscher auch aus eigener Erfahrung, wie wichtig es ist, sein Team nach langer Zeit wieder persönlich um sich zu haben.

Doch wie das Beispiel mit dem Aufzug zeigt, ist ein Team kein Selbstläufer. Neben einem gemeinsamen Ziel entscheiden noch weitere Faktoren darüber, ob Teams gute Ergebnisse erzielen und dessen Mitglieder mit Freude bei der Sache sind. „Im Wesentlichen halten drei Kräfte ein Team zusammen“, erklärt Brodbeck. Erstens: Die interpersonelle Attraktivität ist vorhanden, sprich: Die Menschen verbringen gerne Zeit miteinander. Zweitens: Sie empfinden ihre gemeinsame Aufgabe als attraktiv und haben Lust darauf, das gesteckte Ziel zusammen zu erreichen. Und drittens: Sie kommunizieren miteinander, und zwar lieber zu viel als zu wenig. Wirken alle drei Kräfte zusammen, spricht man von Gruppenkohäsion.

Wenn die Verantwortung für den Einzelnen besonders erlebbar ist

In der Realität kann diese Gruppenkohäsion unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Manche Teams verlängern den gemeinsamen Tag nach Feierabend in der Kneipe, weil sie so viel Spaß zusammen haben. In anderen Gruppen kommt es regelmäßig zu Konflikten oder es wird manchmal gar nicht miteinander gesprochen. „Wie hoch oder gering die Kohäsion ist, beeinflusst zum Beispiel, als wie stressig die Arbeit empfunden wird und wie viele Menschen das Team verlassen

wollen“, sagt Felix Brodbeck. In seiner Forschung über Projektarbeit in Multi-Team-Systemen (etwa in der Softwareentwicklung), konnte er zeigen, dass die Gruppenkohäsion für ein gemeinsames Verständnis von Regeln und Normen von besonderer Bedeutung ist.

Es lohnt sich für Organisationen, die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nicht als Einzelkämpfer arbeiten zu lassen, sondern zu einem Team zu formen: So zeigten Wissenschaftler aus Münster vor einigen Jahren, dass die Schwimmer bei den Olympischen Spielen 2008 im Staffelwettbewerb deutlich bessere Leistungen erzielten als in der Einzeldisziplin: Dieser Effekt zeigte sich aber nur, wenn sie an letzter Position schwammen und ihre Leistung über die Platzierung aller entschied: Die Verantwortung ist für den Einzelnen dann besonders erlebbar und führt zu „motivationalen Synergieeffekten“. Bereits 1898 beobachtete Triplett, dass Radrennfahrer schneller sind, wenn sie mit anderen fahren als gegen die Uhr (das sogenannte Schrittmacherphänomen).

Wirken mehrere Menschen mit ihren individuellen Stärken an einem Projekt mit, kann das Ergebnis besser sein als die Summe der Einzelleistungen. Die Fähigkeit und die Bereitschaft, voneinander zu lernen, und die Extra-Portion an Motivation, die die Arbeit in der Gemeinschaft freisetzt, machen dabei den Unterschied aus. Auch wenn es in Teams immer wieder auch zu Prozessverlusten komme,



„Der Mensch ist ein hyperkooperatives Wesen“, sagt der Organisationspsychologe Felix Brodbeck, der die Mechanismen der Teamarbeit untersucht und als Professor selbst ein Team leitet. Foto: Oliver Jung

zum Beispiel in Form von langwierigen Diskussionen, sagt Brodbeck.

Schon in seiner Habilitation mit dem englischen Titel *Synergy is not for free!* hatte der Psychologe betont, dass es besonderer Aufmerksamkeit und Anstrengung bedarf, „um Synergien zu erzielen, die über die gleichzeitig wirkenden Prozessverluste hinausgehen“. Um Prozessgewinne zu maximieren, ist es zum Beispiel sinnvoll, dass das gleiche Team öfter die Gelegenheit bekommt, ähnliche Aufgaben zu erledigen, so ein Fazit aus seinen Studien, in denen die Wirkungen individueller und kollektiver Lernprozesse auf die Produktivität von Individuen und Gruppen als Ganzes untersucht wurden.

„Corona traf bestehende Teams wie eine Blutgrätsche“

Und noch etwas brauche ein Team, um zu funktionieren: „Ein Team organisiert sich nicht von selbst, es benötigt Führung“, betont er und fügt hinzu: „Auch wenn so manches Start-up davon nichts hören will.“ Gemeinsam mit seinen Studierenden, die sich in der studentischen Unternehmensberatung engagieren, habe er schon öfter mit Entrepreneuren zu tun gehabt, die ungewöhnliche Organisationsmodelle ohne klassische Hierarchien ausprobieren wollten – also ohne Führung? Darin liegt für Brodbeck ein Denkfehler: „Man kann in Teams auf hierarchische Formen der Führung verzichten, aber es muss trotzdem „geführt“ werden“, sagt er. „Das bedeutet jedoch nicht, dass eine bestimmte Person alleine führt und alle Führungsaufgaben übernimmt.“

Teilen sich die Mitglieder eines Teams unterschiedliche Führungsaufgaben untereinander auf, so findet bereits Team-

führung statt. Auch die Mitglieder einer Gruppe, sagt Brodbeck, könnten „einander beeinflussen, motivieren und sich gegenseitig befähigen, zur Effektivität und Arbeitsfähigkeit der Gruppe beizutragen“ – also das tun, was Führung per Definition ausmacht. Doch unabhängig davon, ob am Ende eine, einer oder mehrere eine Organisation oder eine Gruppe in Bewegung setzen und ihr Richtung geben: Von der Vorstellung einer allmächtigen einzelnen Führungskraft hält Brodbeck ohnehin nicht viel. „Für mich bedeutet Führung vielmehr, andere auf eine Reise mitzunehmen.“

Vor drei Jahren passierte etwas, das selbst den Alltag in Organisationen mit noch so hoher Gruppenkohäsion, noch so stark ausgeprägten Synergien und noch so funktionierender Führung auf den Kopf stellte. „Corona traf bestehende Teams wie eine Blutgrätsche“, formuliert es Brodbeck. Ein Team lebt auch davon, dass in der Teeküche oder auf dem Flur das sogenannte „transaktive Wissen“ aktiviert wird. Das ist jenes Wissen, über das eine Gruppe als Ganzes verfügen kann, das jedoch durch Transaktionen (Austausch) für jeden Einzelnen erst verfügbar wird: Wo Menschen mit verschiedenen Qualifikationen, Perspektiven und Gedächtnisinhalten zusammenarbeiten, wird das Wissen Einzelner für andere oder alle Teammitglieder erst dann zugänglich – wenn sie miteinander kommunizieren.

Klar, miteinander gesprochen wurde und wird spätestens seit der Pandemie auch über Zoom, Teams oder andere bewährte Software-Helfer. „Doch spontane Treffen, aus denen kreative Ideen erwachsen, lassen sich nur schwer in den digitalen

»Für mich bedeutet Führung vielmehr, andere auf eine Reise mitzunehmen.«

Raum verlegen“, sagt Brodbeck. Plötzlich hing es auch von der Technikaffinität der Teammitglieder ab, ob sie noch regelmäßig miteinander in Kontakt traten oder alleine vor sich hin arbeiteten.

Eine Säule der Gruppenkohäsion, die Kommunikation, geriet in vielen Organisationen während der Corona-Krise ins Wanken – und sie wankt bis heute, wenn man bedenkt, dass vielerorts weiterhin von zuhause aus oder hybrid gearbeitet wird. „Den Führungskräften kommt die Aufgabe zu, stets Offenheit zu signalisieren und für persönlichen Austausch ansprechbar zu sein“, sagt Brodbeck. „Auch müssen sie die Menschen im Blick haben und auf einzelne zugehen, wenn sie das Gefühl haben, sie ziehen sich zurück.“

Auch untereinander können die Teammitglieder den Austausch fördern, sagt Brodbeck. Denn: „Ganz ohne direkten Kontakt geht es nicht.“ Zwingend im gleichen Raum befinden müsse man sich dabei allerdings nicht. Unter direktem Austausch versteht Brodbeck schon, wenn man sich nicht nur bei der gemeinsamen Videokonferenz in der großen Gruppe zunicht, sondern im Anschluss bei regelmäßigen Telefonaten zu zweit weiterredet.

Gegensteuern bei abnehmender Gruppenkohäsion

Ein Rezept, wie oft man sich als Team persönlich vor Ort sehen sollte, gibt es für den Organisationspsychologen nicht – eine Tendenz aber schon: „Zu Beginn eines Projekts müssen die Teammitglieder erst



Egal wann, egal wo, Menschen werden sich immer zu Teams zusammenfinden. Sich auf jemand anderen zu beziehen, mit ihm zu interagieren, „das macht uns zum Menschen. Was denn sonst?“, sagt Felix Brodbeck. Foto: Oliver Jung

einmal Vertrauen zueinander fassen, wozu persönliche Treffen erwiesenermaßen beitragen“, sagt Brodbeck. Später könne die Kommunikation auch über Videoschalten oder E-Mails stattfinden, zumindest größtenteils. „Spüren die Führungskraft oder die Teammitglieder, dass die Gruppenkohäsion abnimmt, sollten sie mit einem persönlichen Treffen versuchen gegenzusteuern“, rät der Wissenschaftler.

Brodbeck selbst sieht die Arbeitswelt nach der Pandemie differenziert. Es habe ihn überrascht, wie gut sich einige Sitzungen im Uni-Kontext virtuell abhalten ließen. „Und es hat schon was, an einem Montagmorgen zuhause in die Arbeits-

woche starten zu können“, sagt er. Gleichzeitig erfülle es ihn mit Freude, in der Lehre nach drei Jahren „endlich wieder unter Menschen zu sein“ und zu sehen, wie viel das den Studierenden bedeutet. Seine Forschung wird Brodbeck auch in Zukunft auf Konferenzen präsentieren und sich dort mit Wissenschaftlern aus aller Welt austauschen. Er rechnet aber auch damit, dabei öfter als früher vor dem Laptop zu sitzen.

Doch eins steht für Brodbeck fest: Egal wann, egal wo, Menschen werden sich immer zu Teams zusammenfinden. „Der Mensch ist ein hyperkooperatives Wesen“, sagt Brodbeck. Ohne Arbeitsteilung

und genaue Absprachen hätten die Ägypter vor mehr als 4.500 Jahren wohl kaum die Pyramiden von Gizeh bauen können. Sich auf jemand anderen zu beziehen, mit ihm zu interagieren, „das macht uns zum Menschen. Was denn sonst?“

Prof. Dr. Felix Brodbeck

ist seit November 2007 Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschafts- und Organisationspsychologie an der LMU München. Davor leitete er die Work and Organisational Psychology Unit an der Aston Business School, Aston University (UK) als Chair of Organisational and Social Psychology. Brodbeck hat neben zahlreichen Fachartikeln acht Bücher und eine Buchreihe zur Wirtschaftspsychologie veröffentlicht.

Die Teilchen und das Ganze

In der makroskopischen Welt lassen sich quantenmechanische Systeme mathematisch bisher nicht exakt beschreiben. Christian Hainzl entwickelt Formeln, um sich den riesigen Teilchenkollektiven zu nähern und ihre Eigenschaften besser zu verstehen.

Von Janosch Deeg

Ein Gedankenexperiment: Stellen Sie sich eine Box vor, eine Art Schuhkarton. In diesem schwirren winzige Kügelchen umher, die miteinander wechselwirken. Sagen wir, sie stoßen sich gegenseitig ab, wie etwa Elektronen im Metall. Je näher sie beieinander sind, desto stärker ist die Abstoßung. Die Bewegung eines einzelnen Kügelchens wirkt sich auf die aller anderen aus: „Jedes Teilchen beeinflusst also das Ganze“, sagt Christian Hainzl vom Mathematischen Institut der LMU. Der Professor für Mathematische Physik versucht, das Verhalten von riesigen Kollektiven – sogenannten quantenmechanischen Vielteilchensystemen – mit mathematischen Formeln zu bändigen.

Tatsächlich ergeben sich viele interessante Effekte in der Quantenmechanik aus dem kollektiven Verhalten einer extrem großen Anzahl wechselwirkender Teilchen. Das können zum Beispiel Elektronen sein, die sich unter bestimmten Bedingungen als Kollektiv verhalten und so zum Supraleiter werden, in dem Strom ohne Widerstand fließt. Solche Hochtemperatursupraleiter hätten womöglich das Potenzial, die Energiewirtschaft und die Elektrotechnik zu revolutionieren. Oder es können Gasteilchen sein, die sich bei sehr tiefen Temperaturen nicht mehr unterscheiden und räumlich zuordnen lassen, ein sogenanntes Bose-Einstein-Kondensat. Die Atome oder Moleküle bilden eine Einheit; sie sind

quasi überall gleichzeitig und sie bewegen sich im Gleichschritt.

„Die Eigenschaften solcher quantenmechanischen Vielteilchensysteme sind ausgehend vom Mikroskopischen kaum zu verstehen“, sagt Hainzl. Zwar gebe es mathematische Modelle, die quantenmechanische Effekte auf mikroskopischer Ebene exakt formulieren. Für dieses makroskopische Verhalten des Kollektivs würden sie jedoch keine brauchbaren Informationen liefern. Dennoch sollte sich – gemäß der Logik – aus allen Positionen, Zuständen und Wechselwirkungen der einzelnen Teilchen das Verhalten des Systems im Großen herleiten lassen.

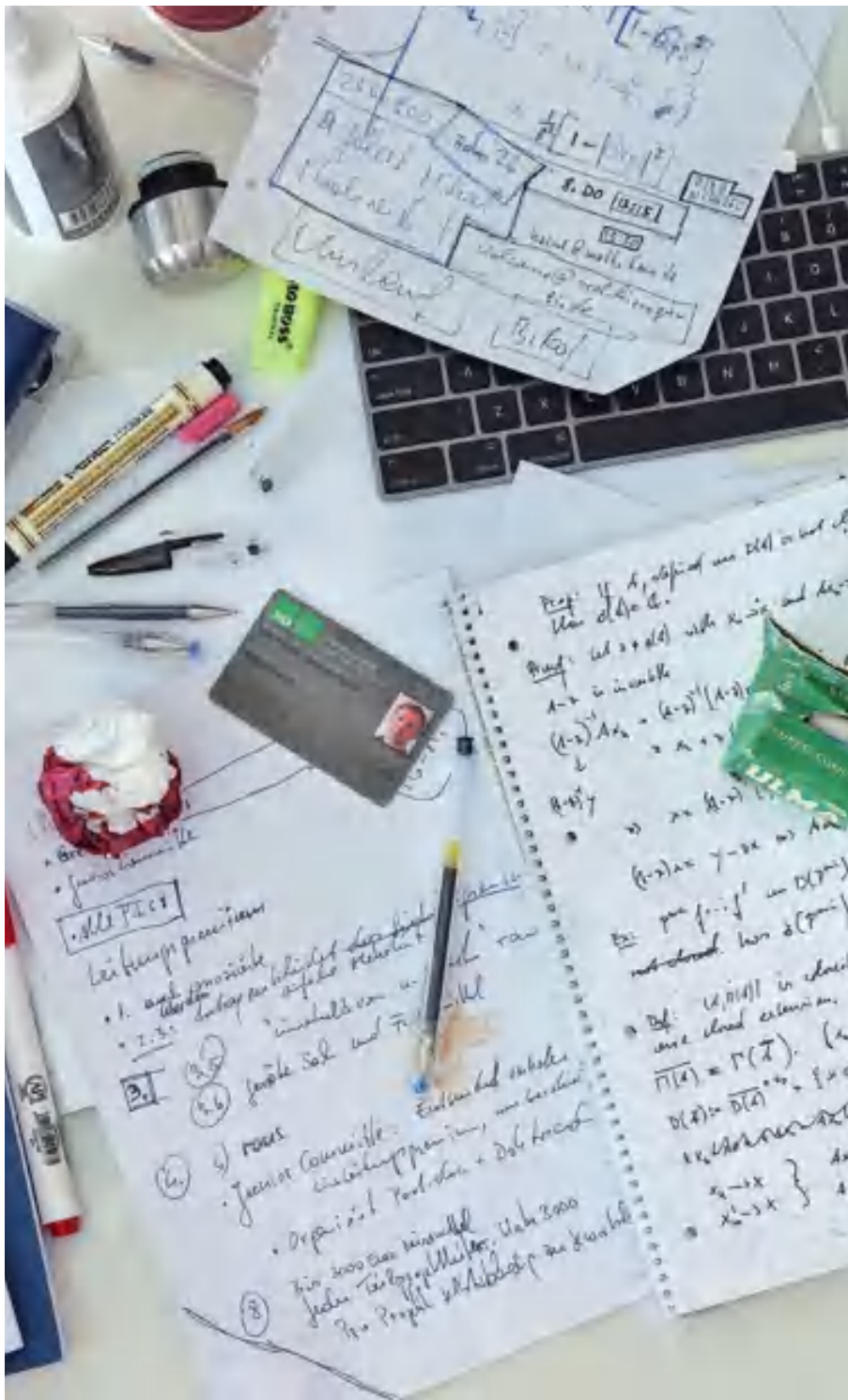
Vernachlässigen, was das kollektive Verhalten nicht beeinflusst

Woran Hainzl nun schon viele Jahre arbeitet, wird seit 2023 auch durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft mit einem Sonderforschungsbereich (SFB) gefördert. Hainzl ist Sprecher des SFB, dessen erklärtes Ziel es sei, „die unterschiedlichen Facetten und Arten von Korrelationen und Verschränkungen in Vielteilchen-Quantensystemen“ aus verschiedenen mathematischen Perspektiven zu erforschen. Er soll mathematische Methoden weiterentwickeln helfen und letztlich zu einem Fortschritt im Bereich der Quantentechnologie beitragen.

Wie bei allen physikalischen Systemen wird zur Beschreibung der jeweiligen Vielteilchen-Quantensysteme eine Formel gesucht, die die zeitliche Energieentwicklung des Kollektivs wiedergibt – die sogenannte Hamiltonfunktion. Für quantenmechanische Systeme lässt sich daraus die berühmte Schrödinger-Gleichung ableiten. Sie hat die Form einer partiellen Differenzialgleichung und beschreibt die Veränderung eines physikalischen, nicht relativistischen Zustandes nach den Regeln der Quantenmechanik. Für Physiker ist die Schrödinger-Gleichung eine der wichtigsten Formeln überhaupt.

Grundlegender Bestandteil ist der Hamiltonoperator – eine Matrix, die bei geeigneter Vereinfachung die Energiewerte des Systems preisgibt. Der Operator liefert zum Beispiel die Energieniveaus von Elektronen in Atomen oder Molekülen. „Sobald jedoch Korrelationen im Spiel sind, sind die Zustände jedes Hamiltonoperators eines Vielteilchensystems sehr schwierig zu bestimmen“, sagt Hainzl. Wenn die Teilchenzahl extrem groß ist, wird es sogar unmöglich. Allerdings gibt es mitunter einen Ausweg: Man muss all diejenigen Wechselwirkungen vernachlässigen, die das kollektive Verhalten am Ende nicht beeinflussen. Mit etwas Glück wird das unglaublich komplexe System dann doch so einfach, dass es sich mathematisch beschreiben lässt.

Und wie geht man dazu vor? Wie Physiker definiert auch Hainzl die Arten der



Der Schreibtisch eines Mathematikers: Ein Denkprozess kann sich viele Monate hinziehen, sagt Christian Hainzl. „In dieser Zeit landet viel zerknülltes Papier im Mülleimer.“ Foto: Oliver Jung

Wechselwirkung der Teilchen und das Potenzial, also sozusagen die Wirkung eines Kraftfelds auf die Massen und Ladungen der Teilchen. Auch die anfangs erwähnte hypothetische Box nutzt er für seine Überlegungen: Um die reale Situation möglichst gut abzubilden, lässt er die Dichte der darin enthaltenen Teilchen gegen einen Grenzfall streben – in vielen Fällen ist das unendlich, etwa für Elektronen im Metall. Nun steigt zwar die Komplexität des Systems ins Unermessliche, aber manche Terme der Zustandsgleichung streben dann gegen Null und fallen weg. Mit etwas Geschick lässt sich das System auf diese Weise schließlich doch mathematisch beschreiben.

Auch Physiker lassen bestimmte Faktoren wie Wechselwirkungen, die das Gesamtbild nur marginal oder gar nicht beeinflussen, unter den Tisch fallen. In vielen Fällen können sie so die in der Realität gemachten Beobachtungen relativ genau erfassen und den Ausgang von Experimenten vorhersagen. Mathematiker wie Hainzl geben sich aber mit dieser Vorgehensweise nicht zufrieden: „Die Zustandsbeschreibungen der Physiker sind aus der Sicht der Mathematik meistens nur eine Art Vermutung“, sagt er. „Unsere Aufgabe ist es nun, zu beweisen, dass man gewisse Terme wirklich weglassen kann, um eine korrekte Beschreibung des Systems zu bekommen. Oder zu zeigen, für welche Fälle die getroffenen Vereinfachungen gelten.“

Um etwa die Korrelationsenergie von Elektronen im Metall zu bestimmen, haben Physiker den Wechselwirkungsterm schlichtweg so sehr vereinfacht, dass nur noch die Wechselwirkung von einzelnen, auf bestimmte Weise zusammengesetzten Paaren übrig blieb. Diese Paare betrachten sie als Bosonen, wodurch sich der Hamiltonoperator so stark vereinfacht, dass man ihm die Energie-





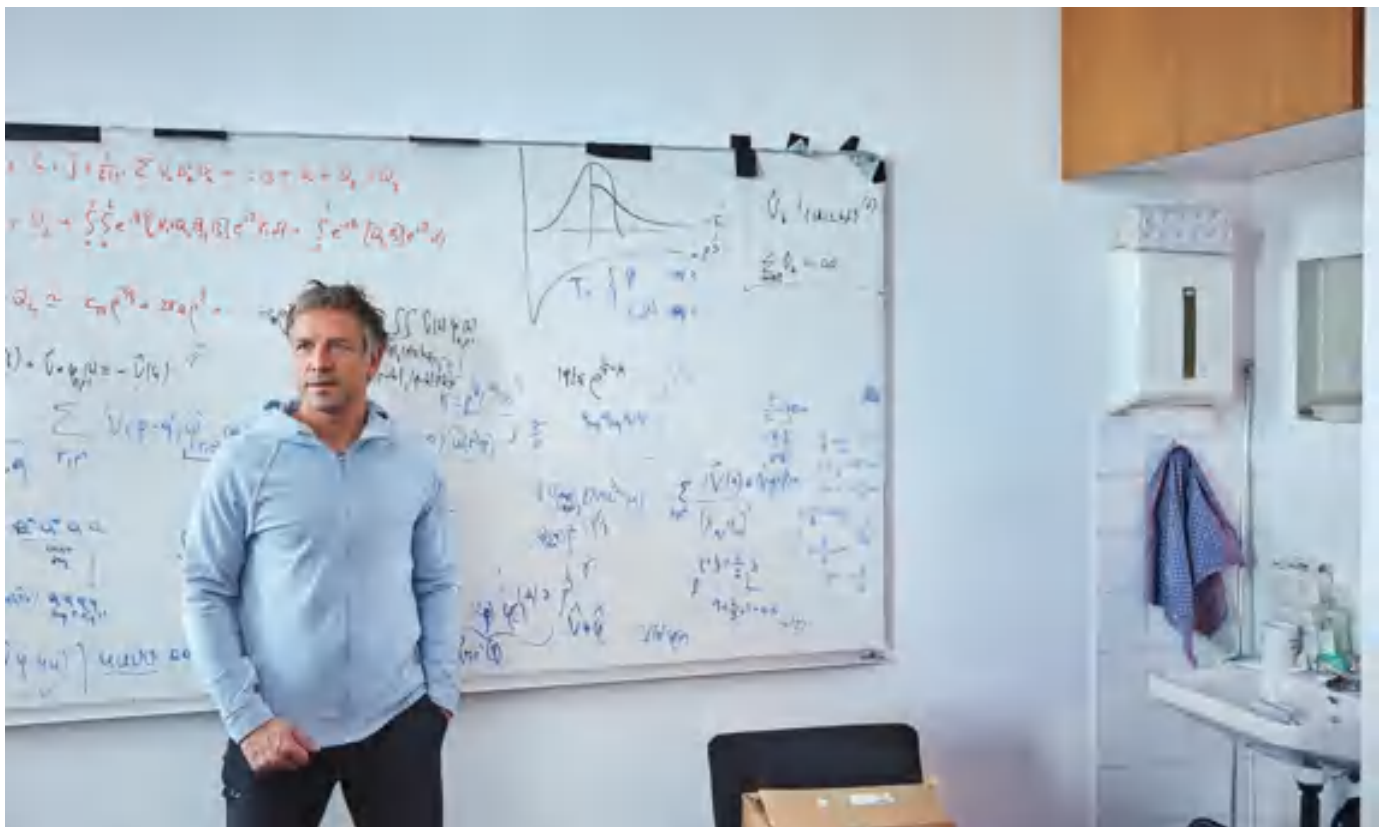
Fernziel Quantencomputer: Auch wenn dies sicher Teil der Motivation sei, kämen solche Visionen Mathematikern nur selten über die Lippen, sagt Hainzl. „Wir sind sehr realistisch und zurückhaltend, wenn es um die Ziele unserer Arbeit geht.“ Foto: Oliver Jung

»Zustandsbeschreibungen von Physikern sind aus der Sicht der Mathematik meistens nur eine Art Vermutung.«

werte entnehmen kann. „Wir Mathematiker beweisen nun, dass die Terme, die man wegwirft, wirklich bei hohen Teilchendichten gegen Null gehen.“ Auch die Idee, dass sich diese Paare fast wie Bosonen verhalten, gilt es zu zeigen. „Solche Dinge mathematisch einwandfrei zu beweisen, ist sehr schwer“, betont Hainzl.

Es mag sich wie ein Mathematiker-Klischee anhören, aber bei seiner täglichen Arbeit kritzelt Hainzl reihenweise mathematische Bedingungen, Wechselwirkungen, Summenformeln, Integrale und Randbedingungen auf Papier oder sein Whiteboard, streicht durch, korrigiert, beginnt von vorne. „Viele der für die Beweisführung nötigen mathematischen Methoden existieren noch gar nicht, sie müssen erst entwickelt werden“, sagt Hainzl.

Regelmäßig tauscht er seine Gedanken mit Kollegen aus, grübelt mit ihnen zusammen über einer Aneinanderreihung von Gleichungen auf der Tafel, die für Laien völlig nichtssagend sind. Dieser Denkprozess kann sich über Monate oder gar Jahre hinziehen. „Viel zerknülltes Papier landet in dieser Zeit im Mülleimer“, erzählt Hainzl. Immer wieder glaubt er sich am Ziel, um am nächsten Tag erkennen zu müssen, dass er einen Fehler in der Beweisführung gemacht hat und sich ein Term nicht wie angenommen vernachlässigen lässt. „Als Mathematiker braucht man eine hohe Frustrationsgrenze.“



Experimentierfeld Whiteboard: „Viele für die Beweisführung nötigen mathematischen Methoden existieren noch gar nicht. Sie müssen erst entwickelt werden“, sagt Christian Hainzl. Foto: Oliver Jung

Und hat man schließlich einen sattelfesten Beweis erarbeitet, ist das meist nicht das Ende: „Häufig sind die zugehörigen Formeln sehr kompliziert und viele Seiten lang; erst nach und nach vereinfacht man dann“, erzählt er. Denn nur wenn die Beweisführung einigermaßen kompakt und eingängig sei, würden auch andere Fachleute sich die Zeit nehmen, sie nachzuvollziehen. Die jahrelange Denkarbeit solle schließlich nicht nur als Fachartikel enden, für den sich niemand interessiere, sagt Hainzl. Denn ein wichtiges Ziel der mühsamen Arbeit ist, dass die Ideen und Ansätze durch die mathematische Gemeinschaft weiterentwickelt werden.

Bereits in der Vergangenheit haben physikalische Probleme die Mathematik bereichert: So wurden beispielsweise wichtige, inzwischen klassische Ungleichungen der Analysis erstmals im Kontext der Quantenphysik entdeckt. Aus dem mathematischen Beweis dafür, dass Systeme aus Atomkernen und Elektronen nicht kollabieren, ergab sich etwa die Ungleichung für die Abschätzung der Summe aller Eigenwerte einer Matrix. Für die Mathematik war das eine große Sache.

Mathematische Ergebnisse über die nichtlineare Schrödinger-Gleichung hatten zudem einen großen Einfluss auf andere Bereiche der partiellen Differentialgleichungen und auf die harmonische Analyse. Und die Mathematik und die Quantenmechanik befruchten sich seit Langem gegenseitig, indem sie Perspektiven und Methoden aus dem jeweils anderen Bereich übernehmen. Die Theorie der Zufallsmatrizen, deren Anwendungen von der Zahlentheorie bis zu den theoretischen Neurowissenschaften reichen, entstand ursprünglich aus der Modellierung der komplexen Struktur der Energieniveaus angeregter Atomkerne.

Ähnliches könnte auch bei der mathematischen Annäherung an kollektive Quantenphänomene passieren: „Indem wir die zugrunde liegenden Korrelationsstrukturen von Vielteilchensystemen versuchen zu beschreiben, wollen wir die Mathematik vorantreiben und neue Methoden entwickeln“, sagt Hainzl.

Langfristig könnten die Beweise und Zustandsgleichungen zudem Physikern helfen, quantenmechanische Prozesse in Na-

tur und Technik besser als bisher zu verstehen. „Wir hoffen, dass man unsere Ansätze in die Numerik überträgt und darauf aufbauend Computeralgorithmen entwickelt, die Forscher dann relativ einfach anwenden können.“ Das könnte etwa die Entwicklung von Quantencomputern oder Hochtemperatursupraleitern vorantreiben. Auch wenn dies sicher Teil der Motivation sei, würden solche und ähnliche Visionen Mathematikern nur selten über die Lippen kommen, sagt Hainzl. „Wir sind sehr realistisch und zurückhaltend, wenn es um die Ziele unserer Arbeit geht.“ Auch hier gilt also: Vermuten zählt nicht, erst muss ein Beweis her!

Prof. Dr. Christian Hainzl

ist seit 2019 Inhaber des Lehrstuhls für Mathematische Physik am Mathematischen Institut der LMU. Hainzl, Jahrgang 1972, studierte Mathematik an der TU Wien und Physik an der Universität Wien, wo er auch promoviert wurde. Nach Postdoc-Stationen in Wien, an der LMU, an der Universität Paris Dauphine und in Kopenhagen war Hainzl Assistant Professor und Associate Professor an der University of Alabama in Birmingham, USA, bevor er in Tübingen auf die Professur für Mathematische Methoden der Naturwissenschaften berufen wurde.

Kooperieren mit der Konkurrenz

Wissenschaft lebt von Vernetzung und Austausch – aber auch vom Wettbewerb. Kärin Nickelsen untersucht, wie Forschenden dieser Spagat gelingt.

Von Monika Gödde

Es war eine offene Kampfansage: Der US-Amerikaner Craig Venter verkündete im Mai 1998, er werde mit seiner Firma Celera Genomics das menschliche Genom entschlüsseln – im Alleingang und schneller als das mit öffentlichen Geldern finanzierte internationale Humangenomprojekt, das bereits seit 1990 daran arbeitete.

Daraufhin begann ein erbitterter Wettlauf zwischen Venter und dem Konsortium, der die Schlagzeilen beherrschte und noch heute den Blick auf das Humangenomprojekt prägt: „Es gilt oft als paradigmatisches Beispiel für schädlichen Wettbewerb, weil man immer nur das Ausscheren von Venter sieht“, sagt Kärin Nickelsen. „Aber eigentlich ist das Humangenomprojekt über weite Strecken ein Beispiel für produktive Kooperation und ein gelungenes Einhegen von Konkurrenz.“ Nickelsen, Professorin für Wissenschaftsgeschichte an der LMU, ist Sprecherin der DFG-Forschungsgruppe „Kooperation und Konkurrenz in den Wissenschaften“ und hat mit diesem Team am Beispiel des Humangenomprojekts untersucht, wie Forscherinnen und Forscher sich im Spannungsfeld von Konkurrenz und Kooperation positionieren.

Sie befinden sich dabei in einer paradoxen Situation: Konkurrenz gilt zwar als eine Triebfeder der Wissenschaft. Im Idealfall konkurrieren Wissenschaftler um Erkenntnis und werden angespornt von dem Wunsch, bei einer Entdeckung die ersten gewesen zu sein. Gleichzeitig

sind sie aber auf Kooperation angewiesen, denn ohne Vernetzung und Austausch ist erfolgreiche Forschung kaum mehr möglich. Der einsame Forscher im Elfenbeinturm war schon immer eher ein Klischee, und komplexe Fragestellungen erfordern mehr denn je die Beteiligung vieler mit unterschiedlichen Kompetenzen und Methoden. Konkurrenz und Kooperation gehen also Hand in Hand – und die Kooperationspartner von heute können die Konkurrenten von morgen sein.

Wie dieses Wechselspiel der Interessen austariert wird, fasziniert Nickelsen seit Beginn ihrer wissenschaftlichen Karriere. „In meiner Habilitation habe ich mich mit der Gemeinschaft der Wissenschaftler beschäftigt, die zwischen 1840 und 1960 die Photosynthese erforschten“, erzählt sie. „Dabei wurde mir klar, dass der Wissensaustausch Mustern unterliegt, die ungeschriebenen Normen folgen.“


Nicht nur einer kann gewinnen

Nickelsens Beobachtungen zufolge werden Konkurrenzsituationen häufig von vornherein vermieden, durch Absprache oder strategische Themenwahl. Dabei hilft den Forschenden, dass in der Wissenschaft in den seltensten Fällen nur eine Person gewinnen kann und alle anderen verlieren. „Variationen etwa der Methoden und Modellorganismen – in der Photosyntheseforschung etwa Blaualgen versus

Grünalgen – verhindern, dass man sich in die Quere kommt, auch wenn man grundsätzlich dasselbe Ziel verfolgt.“ Auch bei echten Kooperationen sind Absprachen über Ziele und Methoden zwischen den Partnern wichtig.

Eine besondere Dynamik gewinnt das Wechselspiel von Konkurrenz und Kooperation, wenn es auch um monetären Profit geht: Die noch junge Genomforschung entwickelte sich ab Mitte der 1980er-Jahre zu einem wissenschaftlich und ökonomisch attraktiven Forschungsfeld. Allerdings war die Sequenzierung von DNA äußerst zeitintensiv und teuer. Um möglichen Spannungen und Reibereien zu begegnen, einigten sich die Mitglieder des Humangenomprojekts im Vorfeld auf Ziele und eine Agenda, die von einer Strategieguppe „hart ausgehandelt wurden“, so Nickelsen. Innerhalb dieses Rahmens arbeiteten die Gruppen unterschiedlich eng zusammen: Manche kooperierten, andere kollaborierten sogar und verfolgten Hand in Hand dasselbe Ziel. Häufig blieb es aber bei koordinierten Absprachen, etwa dazu, wer welche Chromosomen entschlüsselt – keine triviale Frage, weil manche Chromosomen interessanter waren als andere.

Im Lauf der Zeit wurde zudem klar, dass der Umgang mit Daten ein Problem war. Ob Daten öffentlich gemacht oder privatisiert werden sollten, war auch innerhalb des Konsortiums zunächst umstritten. Aus dieser Diskussion entstand eine Vereinbarung, die bis heute Vorbildcharakter hat: Danach mussten alle Forschungs-



„Strategisch zu kooperieren und sich zu koordinieren ist ressourcenschonend und man erreicht auf diese Weise mehr“, sagt Kärin Nickelsen. Foto: Oliver Jung

»Das Humangenomprojekt gilt oft als paradigmatisches Beispiel für schädlichen Wettbewerb. Aber eigentlich ist es vielmehr ein Beispiel für gute Kooperation und gelungenes Einhegen von Konkurrenz.«

gruppen ihre Daten innerhalb eines Tages in einer gemeinsamen Datenbank online allen zur Verfügung stellen.

Für Nickelsen ist diese Festlegung auf Gemeinfreiheit der Daten eine der erstaunlichsten Entwicklungen des Human-genomprojektes. „Die großen Institute wurden durch diese Regeln eingeschränkt und mussten ihren Vorsprung aufgeben. Aber nur so ließ sich verhindern, dass die Datenauswertung monopolisiert wurde: Das hätte die Kooperation gesprengt, auf die letztlich alle angewiesen waren.“ Den Beobachtungen der Forschungsgruppe zufolge ist diese Strategie weit verbreitet: Gefährdete Kooperationen lassen sich durch Infrastruktur und Regeln stabilisieren – etwa durch eine gemeinsame Datenbank oder festgelegte Routinen im Handlungsablauf.

Nur das Tempo zählte: Venter's Alleingang in den Wettbewerb

Craig Venter dagegen verpflichtete sich nicht auf gemeinfreie Daten; umgekehrt nutzte er aber die Daten des Konsortiums, wie sich später zeigte. Mit seinem Alleingang eröffnete er zudem nicht nur einen Wettbewerb, sondern änderte auch die Erfolgskriterien: Plötzlich ging es mehr um Tempo und öffentliche Aufmerksamkeit als um die Qualität der Daten. „Venter nahm bewusst in Kauf, dass das Konsortium um seine Finanzierung fürchten musste, wenn es an den eigenen Maßstäben festhielt. Damit stieß er viele in der Community vor den Kopf.“

Beendet wurde der Streit durch das Eingreifen von US-Präsident Bill Clinton und dem britischen Premierminister Tony Blair. Diese verkündeten im Juni 2000, das Genom sei nun entschlüsselt, und

zwar von beiden Parteien gleichzeitig. Tatsächlich war zu diesem Zeitpunkt noch keiner der Kontrahenten am Ziel. Ihren allerersten, noch sehr unvollständigen Entwurf publizierten beide Gruppen 2001 je einzeln in den wichtigen Fachblättern *Science* (Venter) und *Nature* (Konsortium). Wirklich abgeschlossen ist die Sequenzierung des menschlichen Genoms erst seit April 2022.

Dass Staatsführer direkt in den Streit konkurrierender Wissenschaftler eingreifen, dürfte eher ungewöhnlich sein. Grundsätzlich zielt Wissenschaftspolitik aber oft darauf ab, ein bestimmtes Verhältnis von Konkurrenz und Kooperation herzustellen. Seit den 1980er-Jahren hat sich das Wettbewerbsparadigma auch hier als Leitprinzip durchgesetzt, meint Nickelsen. Allerdings funktionieren in ihren Augen weder Kooperationszwang noch verschärfter Konkurrenzdruck besonders gut, weil beides von den Akteuren häufig umgangen wird, sei es durch Absprachen oder Nichtbeteiligung.

Die Allianz der Wissenschaftsorganisationen in Deutschland etwa, wie andere Mitglieder der Forschungsgruppe zeigten, verzögerte bewusst die Beteiligung Deutschlands an neuen Formaten der Europäischen Union, die sich bemühte, innereuropäische Forschungsk Kooperation anzuregen, um die globale Wettbewerbsfähigkeit der EU zu sichern. „Man wollte verhindern, dass Deutschland substantiell Fördermittel auf EU-Ebene verlagerte und somit dem exklusiven Zugriff deutscher Institutionen entzog.“ Diese Haltung änderte sich erst, als die EU-Mittel stark anstiegen.

Dazu kommt: Konkurrenz kann zwar auch in der Wissenschaft das Geschäft beleben, aber „nicht immer so, wie wir es gerne hätten.“ Wenn etwa eine leistungsorientierte Mittelvergabe aus einer festen

Gesamtsumme erfolge, quasi als Nullsummenspiel zwischen den beteiligten Institutionen, könne das dazu führen, dass Arbeitsgruppen oder Standorte gegeneinander arbeiten statt miteinander, erklärt Nickelsen. Abfedern lasse sich das, wenn auch kooperative Initiativen bei der Entscheidung über die Förderung berücksichtigt werden.

Auf welche Weise belebt Konkurrenz das Forschungsgeschäft?

Nickelsens persönliches Fazit: Kooperation lohnt sich oft mehr als Konkurrenz. „Forschende suchen sich ihre Wege zwischen Kooperationszwang und Konkurrenzdruck. Sie versuchen, strategisch zu kooperieren oder sich zu koordinieren, und zwar viel häufiger und kreativer, als wir erwartet hätten. Das tun sie nicht, weil sie besonders gute Menschen sind, sondern weil es ressourcenschonend ist und man auf diese Weise mehr erreicht.“

Prof. Dr. Kärin Nickelsen

ist Inhaberin des Lehrstuhls für Wissenschaftsgeschichte an der LMU. Nickelsen, Jahrgang 1972, studierte Biologie und Wissenschaftsgeschichte in Göttingen und Glasgow. Promotion und Habilitation an der Universität Bern. Von 2006 an war sie dort Assistenzprofessorin für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte, bevor sie im Jahr 2011 an die LMU berufen wurde. Kärin Nickelsen ist Sprecherin der DFG-finanzierten Forschungsgruppe „Kooperation und Konkurrenz in den Wissenschaften“. Maßgeblich beteiligt sind daran auch die Historikerinnen Prof. Dr. Elke Seefried (RWTH Aachen) und Darina Volf (LMU) sowie die Historiker Dr. Christoffer Leber (LMU), Prof. Dr. Kiran Klaus Patel (LMU), Prof. Dr. Martin Schulze Wessel (LMU), Prof. Dr. Helmuth Trischler (Deutsches Museum) und Prof. Dr. Andreas Wirsching (LMU und Institut für Zeitgeschichte).

Im Nebel der Bilder

KI-Werkzeuge wie das von Björn Ommer entwickelte Stable Diffusion bringen Computern das Sehen und Malen bei. Das hat eine Debatte über Kunst und den Wert der Kreativität losgetreten.

Von Bernd Graff

Im Oktober 2018 wurde beim Auktionshaus Christie's ein Porträt versteigert, das einen „Edmond de Belamy“ darstellen soll. Das Bildnis zeigt das Gesicht eines unbekannten jungen Mannes – Christie's beschreibt ihn als „Gentleman, vielleicht ein adliger Kleriker“ –, der um die Mitte des 19. oder zu Beginn des 20. Jahrhunderts gelebt haben könnte. Diese Zuschreibungen zur Person mit den im Bild unscharf dargestellten Zügen unter einer hohen Stirn sind jedoch nur Vermutungen, die sich der kunsthistorischen Einordnung des Mal-Stils verdanken. Denn das Gemälde strebt keine naturalistisch exakte Abbildung eines Menschen an, es atmet vielmehr den Aufbruchgeist der frühen Kunst-Avantgarden der Moderne, ist eher ästhetische Impression als Abbild. Ein Ausdruck künstlerischer Freiheit also, der 2018 am Auktionstag 432.500 Dollar erlöste.

Allein, mit der Freiheit des Künstlers ist es hier nicht weit her. Denn es gibt keinen Künstler.

Nahezu verschämt in der rechten unteren Ecke des Bildes, dort, wo Meister sonst ihr Werk unterzeichnen, ist folgende Bild-Signatur angebracht: „min G max D x[log(D(x))] + z [log(1 - D(G(z)))]“. Das ist ein Fragment des Computercodes, der das Bild errechnete, der Urheber des Bildes ist ein Computer, genauer gesagt: eine Künstliche Intelligenz (KI).

Und ist es auch wieder nicht. Denn irgendjemand muss die vernetzten Computer, die hinter der KI stehen, ja so programmiert haben, dass sie diesen „schönen Freund“ (bel ami) malen konnte. Doch auch das tat hier niemand. Der Algorithmus, dem sich das Porträt verdankt, entstand in einem Tandem aus zwei selbstlernenden Neuronalen Netzen, die souverän gegeneinander antreten. Man spricht dabei von einem GAN, einem „Generative Adversarial Network“. Eine „Generator“ genannte Hälfte dieses Verbundes wurde mit den Daten von 15.000 real gefertigten Kunstporträts aus der Kunstgeschichte gefüttert, die zwischen dem 14. und 20. Jahrhundert entstanden sind.

Es entstand ein ganzer Stammbaum, eine fiktive Dynastie der Belamys

Der Generator fertigte – basierend auf diesem Set – völlig neue Bilder, die einer Kontrollinstanz, dem „Discriminator“, zur Prüfung vorgelegt und als mutmaßlich menschengemacht untergejubelt wurden. Nicht nur ein Bild ist auf diese Weise produziert worden, Tausende waren es. So entstand ein ganzer Stammbaum, eine fiktive Dynastie der Belamys; mit einem Grafen und einer Gräfin Belamy, einer Baronin und einem Erzbischof – eine synthetische Genealogie, die sich dem Überbietungsspiel Künstlicher Intelligenzen verdankt. Seitdem bebt die Kunstwelt.

Denn wenn es intelligenten Computernetzwerken durch Deep Learning gelingt, lediglich inspiriert von der Kunstgeschichte, eigenständige neue Werke zu schaffen, unterscheidet sie das noch von menschlichen Künstlern? Muss man sie also kreativ nennen? Die Gruppe „Obvious Collective“, die das „Portrait of Edmond de Belamy“ zur Versteigerung einreichte (und die halbe Million kassierte – sind sie die Künstler?), beweist darum einen milden Sinn für Sarkasmus, wenn sie ihrem „Belamy“-Clan in der Titelei mitgibt: „The shadows of the demons of complexity awaken by my family are haunting me.“ (Die Schatten der Dämonen der Komplexität, die meine Familie entfesselt hat, verfolgen mich.)

Inzwischen sind fast fünf Jahre vergangen, synthetische Bilderzeuger können nun von jedermann mit einfachen Textbefehlen zur Bildproduktion angeregt werden: DALL-E 2 oder Midjourney sind nur zwei Namen, die gerade kursieren. Die KI entwickelte sich nicht nur in der Bildenden Kunst rasant weiter. Inzwischen lassen Schüler und Studenten ihre Hausarbeiten von einer „ChatGPT“ schreiben.

Doch niemand ist besser geeignet, die mutmaßlich entfesselten Dämonen der KI wieder einzufangen, die bewältigten und die bestehenden Probleme in der Forschung zu benennen, als Professor Björn Ommer. Er hat an der LMU München den Lehrstuhl für KI für Computer Vision und Digital Humanities / die Künste inne und

Kunst kommt von KI: Was der Algorithmus aus einem Porträt von Björn Ommer macht – mal im Stile von Picasso, mal als Wasserfarben-Spiel. Foto Ommer: Fabian Helmich; Grafiken mit Stable Diffusion generiert



»Beuys hat einmal gesagt, der Mensch ist der wahre Künstler, weil der Mensch das einzige selbstbestimmte Wesen ist und damit der Souverän schlechthin.«



»Ich möchte eine Maschine haben, die tut, was ich sage, die aber nicht selbstbestimmt ist. So verorte ich die Kreativität und das Künstlersein des Menschen.«

leitet die Computer Vision & Learning Group (CompVis), die eine eigene Bildergenerations-KI, genannt Stable Diffusion, entwickelt hat. Er erforscht computerbasiertes Verstehen und Erzeugen von Bildern durch Künstliche Intelligenzen im Verfahren des Machine Learnings.

Die KI findet Strukturen im Nebel, die zu immer plausibleren Bildern führen

Ommers Arbeit im Bereich der Computer Vision ermöglicht es Rechnern, visuelle Informationen zu interpretieren und aus diesen völlig neue Bilder aus ihrem „Verständnis“ heraus zu generieren. Björn Ommer bringt Computern also gewissermaßen das Sehen und Malen bei, und zwar so, dass natürlichsprachliche Text-Eingaben in neue Bilder umgesetzt werden. In dem dabei verfolgten Ansatz, einem „umgekehrten Diffusionsprozess“, lernen Netzwerke zuerst, Bilder zu verrauschen, um sie anschließend dazu zu bringen, aus verrauschten Bildern weniger verrauschte Versionen zu erstellen, also Strukturen im Nebel zu finden, die schließlich wieder zu immer plausibleren, detailreicheren Bildern führen.

Es sind keine Abbilder, die so entstehen, es sind überzeugend wirkende Bilderfindungen. „Stable Diffusion“, sagt Ommer,

„ist ein generatives KI-System, mit dem man dem Computer per Texteingabe ganz einfach beschreiben kann, was man gerne in einem Bild hätte. Und der Computer setzt den Text dann in ein Bild um.“ Sein Team hat also ein System entwickelt, das Bilder und in Zukunft auch Videos und 3D-Modelle generiert, indem der Nutzer einfach nur beschreibt, was in einem Bild oder Video zu sehen sein soll. „Ich habe jetzt die Möglichkeit, dem Computer zu sagen: ‚Schaffe und editiere bitte ein Bild, und zwar so, wie ich es gerne hätte‘“, sagt Ommer. Es scheint eine gewisse Ironie der Geschichte darin zu liegen, dass Ommers Büro sich in der Münchner Akademiestraße befindet, und zwar exakt auf der gegenüberliegenden Straßenseite der Akademie der Bildenden Künste. Hier wie dort werden neue Kunstwerke generiert, wenn auch hier bei Ommer nach einem Wahrscheinlichkeitsmodell errechnet und nicht wie dort genialisch entworfen. Oder etwa doch?

Ommer ist sich der Tragweite seiner Entwicklung bewusst. Denn er hat nicht nur aus dem tumben Rechenknecht Computer ein kreatives Werkzeug gemacht, er greift für die Bildproduktion auch in den Prozess unserer menschlichen Wahrnehmung der Welt und damit in das Verstehen von Wirklichkeit ein. „Dieser Ansatz belegt dann die Fähigkeiten des Systems, die es mit dem Menschen teilt. Klar, es geschieht auf einem etwas anderen Weg

als bei uns Menschen. Doch ist auch klar, wenn menschliche Fähigkeiten im Computer repliziert werden, dass man dadurch natürlich auch besser versteht, wie diese Intelligenz bei uns gestaltet ist.“

Ein Algorithmus, gemacht für den Rechner zuhause

Es gibt Unterschiede in der Entwicklung bildgenerativer Verfahren durch Künstliche Intelligenzen. Während die GANs à la Belamy konträr arbeitende Neuronale Netzwerke gegeneinander antreten lassen, verrauschen Diffusion-Modelle wie das von Björn Ommers Lehrstuhl zuerst riesige Sets an Trainingsdaten. Diesen Bilddaten werden kontrolliert Fehlinformationen mitgegeben (Rauschen), bis das Bild anschließend völlig unkenntlich geworden ist. „Für uns Menschen sind diese Minimal-Störungen zuerst fast gar nicht beobachtbar. Wenn ich ein Bild aber Hunderte oder tausend Mal hintereinander diesem Prozess unterziehe, dann kommt am Ende etwas heraus, was wirkt, als ob Sie das Kabel aus Ihrem Fernseher herausziehen.“

Seine Neuronalen Netzwerke werden nach Wahrscheinlichkeitsmodellen anschließend darauf trainiert, diesen Prozess wieder rückgängig zu machen, also die Bildzerstörung durch allmähliches Entfernen des Rauschens zu revidieren. Ein Text-Encoder wird schließlich auf die Bank verrauschter Daten angesetzt, aus dem der Decoder des Diffusions-Modells in einer Verkettung von Entrauschungsschritten die neuen, synthetischen Bilder erzeugt.

Was Ommers Entwicklung der Stable Diffusion (neben allen technischen Differenzen) von den namhaften Konkurrenten



Informatiker Ommer: „Wir werden **nicht** von Künstlicher Intelligenz vom Thron gestoßen.“ Foto: Fabian Helmich

unterscheidet: Sein Team hat einen Algorithmus entwickelt, der eine Repräsentation für Bilder lernt, die so kompakt ist, dass sie in der Ausführung keine Rechencluster mehr benötigt. Sie läuft auf gewöhnlicher Consumer Hardware und generiert in wenigen Sekunden Bilder. Dazu musste die Essenz der Trainingsdaten so abstrahiert werden, dass Milliarden Trainingsbilder in wenige Gigabyte auf dem eigenen PC passen. Denn erst eine KI, die so kompakt ist, dass sie auf herkömmlicher Hardware von Millionen von Nutzern läuft, ermögliche eine Demokratisierung dieser Technologie, sagt Ommer.

Es ist nicht wichtig, wie der einzelne Grashalm auf der Wiese ausgerichtet ist

Entsprechend hat sich das Münchner Team bewusst dafür entschieden, seine KI als Open Source öffentlich zu machen (<https://stablediffusionweb.com/#demo>). Es gibt den Sourcecode (<https://github.com/CompVis/stable-diffusion>) und sogar fertige Apps für handelsübliche Computer, die dieses KI-System anders als alle anderen völlig unabhängig von Firmenregularien und -interessen lauffähig machen.

Google und Meta (Mutterkonzern von Facebook, Instagram und WhatsApp) haben ihre neuen Bild- und Videogeneratoren nicht öffentlich zugänglich gemacht. Der Bildgenerator Dall-E 2 ist zwar öffentlich verfügbar, aber die Kontrolle liegt bei der kalifornischen Firma OpenAI, die auch den Sprachbot ChatGPT entwickelt hat und unter anderem von Microsoft finanziert wird. Es gibt nicht einsehbare Einschränkungen und Sicherheitsfilter – Modell und Trainingsdaten bleiben ebenso geheim wie der Code, der das alles in Gang setzt.

Auch wenn wirtschaftliche Aspekte sicher eine Rolle spielen, wird dies zuerst einmal mit den Risiken begründet: Die Bildgeneratoren können ja auch für Pornografie und Fake News genutzt werden. „Wenn man das weiterspinnst“, so Ommer, „bedeutet das, dass in Zukunft nur noch sehr wenige Tech-Firmen diese Forschung vorantreiben könnten.“ Denn die Systeme der großen Tech-Korporationen sind so angelegt, dass sie auch während der Ausführung, nicht nur während des Trainings, große Rechnerfarmen benötigen. „Da fragt man sich schon“, so Ommer, „wo Forschung und Anwendung in Zukunft hingehen, wenn nur weniger als eine Handvoll Firmen über die Ressourcen und dann auch das Wissen und die Algorithmen verfügt, solche Systeme anwendbar zu betreiben und lauffähig zu halten.“ Zum anderen aber zeige die Entwicklung von Open-Source-Software, „dass die Qualität aller Entwicklungen enorm davon profitiert, dass möglichst viele schlaue Köpfe an etwas forschen können und eigene Lösungen entwickeln, die auf offenem Code aufbauen.“

Für Ommers Arbeit ist darum diese Fragestellung elementar: „Wie können wir dagegen ein leistungsfähiges Werkzeug bauen, das gleichzeitig frei zugänglich ist und auf erschwinglicher Hardware für jedermann läuft?“ Das ist ihm mit Stable Diffusion gelungen. Doch wie hat er Milliarden von Trainingsdaten, Hunderte Terabyte – man möchte sagen: das Internet – so verdichtet, dass handelsübliche Rechner den Bildgenerator verwenden können?

„Bilder bestehen aus Millionen von Pixeln. Aber auf die einzelnen Pixel kommt es vermutlich nicht so sehr an. Wenn wir Bilder betrachten, erwarten wir, dass der Schattenwurf oder eine Spiegelung stimmen. Aber wie etwa jedes einzelne Haar auf einem Kopf, jeder Grashalm auf einer Wiese ausgerichtet ist, ist nicht wichtig.

Sondern vielmehr, dass an der richtigen Stelle Haare sind, die stimmig sind in Farbe und Länge. Das war der Ansatz: Wir komprimieren Bilder, um deren Essenz zu behalten.“ Das setze das System ab von den anderen. Es extrahiere diese Essenz, um dann in einer deutlich komprimierten Repräsentation den Diffusionsprozess laufen zu lassen. „Die lokalen Details, die kaum jemand beachtet, werden dann einfach hinzuhalluziniert, gewissermaßen stochastisch erfunden.“ Auch einen Künstler interessiere ja eher die Darstellung einer Wiese als der Wuchs jedes einzelnen Grashalms darauf, sagt Ommer. „Das ermöglicht uns, Hunderte Terabyte einzudampfen.“

Steht die Schaffenskraft jetzt im Schatten schnöder Rechenpower?

Trotzdem bleiben gewichtige Fragen fast beängstigend ungeklärt. Ist die künstliche Kreativität die endgültige Kränkung des human-narzisstischen Dünkels, einzigartig zu sein? Muss der Mensch also zum vierten Mal in seiner Kulturgeschichte – nach Kopernikus, nach Darwin und nach Freud – nun auch noch hinnehmen, dass seine vermeintlich exklusive Fähigkeit, Kunstwerke zu schaffen, nur eine Chimäre war? Verkraften musste er ja bereits, dass er nicht das Zentrum der Welt, sondern nur ein kosmisches Partikel ist, nicht die Krone der Schöpfung, sondern nur Produkt der Evolution, und seine Seele „nicht allein im eigenen Haus“ (Freud) wohnt, sondern von unbewussten Trieben bestimmt wird. Steht also jetzt auch noch seine Schaffenskraft im Schatten schnöder Rechenpower?

Weitere, weniger metaphysische Fragen schließen sich an: Müssen Künstler, Grafiker, Illustratoren, Fotografen nun um



„Pseudomnesia“ nennt der Fotograf Boris Eldagsen sein KI-generiertes Foto zweier Frauen, mit dem er einen renommierten Foto-Wettbewerb gewann – und eine Debatte über Fake-Bilder angefacht hat. Die Jury hatte das Bild nämlich nicht als künstlich erzeugtes Werk bewertet. Foto: Fabrizio Bensch/REUTERS/Picture Alliance

automatischen Künstler verwandeln, Künstler arbeitslos machen oder ähnliches. Das Ziel ist es nur, Computer zu einem leistungsfähigeren Werkzeug dafür zu machen, die menschliche Kreativität umzusetzen.“

Doch hat der Mensch seine Kreativität dann nicht einfach nur an die Maschine delegiert, lässt sie machen, wozu er selber nicht fähig ist? Ommer antwortet darauf: „Beuys hat einmal gesagt, der Mensch ist der wahre Künstler, weil der Mensch das einzige selbstbestimmte Wesen ist und damit der Souverän schlechthin. Das sagt mir stark zu. Ich möchte eine Maschine haben, die tut, was ich sage, die aber nicht selbstbestimmt ist. So verorte ich die Kreativität und das Künstlersein des Menschen. Da bleibt genügend Raum, in dem wir Menschen uns immer noch als das Besondere gegenüber der Maschine begreifen können. Wir werden nicht von Künstlicher Intelligenz vom Thron gestoßen.“

ihre Jobs bangen? Wer ist eigentlich Urheber errechneter Werke: die Betreiber der Netzwerke? Deren Programmierer? Die Besitzer der Bilddatenbanken, mit denen die Netzwerke trainiert werden? Was ist noch ein „Original“, wenn bildgebende Verfahren Bilder, Illustrationen, fotorealistische Szenen nach Eingabe von ein paar Stichwörtern fertigen und „Belamys“ jederzeit von jedem auf Knopfdruck hergestellt werden können? Wie wird dann die Bildwelt der Zukunft aussehen, wenn nun die endgültige Fusion von allem mit allem ansteht, das „Anything Goes“, das der Postmoderne bislang nur hypothetisch dämmerte? Und: Sind die Resultate tatsächlich eine belamystische halbe Million Dollar pro Bild wert?

Nur so viel ist klar: Rechner und Netzwerke sind keine juristischen Personen, die darum auch nicht Schöpfer eines Originalwerks sein können und denen demnach keine exklusiven Rechte an „ihrem“ Werk gewährt werden. Wenn also ein KI-System ein Kunstwerk ohne menschliches Eingreifen Zutun gene-

riert, stellt sich die Frage, ob dann der KI-Entwickler ein Urheberrecht an den errechneten Werken besitzt.

Gibt es ein Urheberrecht an den errechneten Werken?

Aber muss dann nicht auch berücksichtigt werden, dass die Schöpfer der Milliarden an menschengemachten Originalbildern, die von Neuronalen Netzen als Trainingsdaten genutzt wurden, weiterhin Rechte an diesen ihren Werken geltend machen können? Derzeit ist die Lage unklar, verschiedene Rechtsprechungen in verschiedenen Ländern können unterschiedliche Ansätze haben.

Gerade weil aber keine dieser rechtlichen Fragen derzeit befriedigend beantwortet werden kann, kocht LMU-Forscher Ommer sie auf das Pragmatische herunter, auf das also, was sich nun sagen lässt. „Ich möchte den Computer nicht in den

Prof. Dr. Bernd Ommer

ist Inhaber des Lehrstuhls für KI für Computer Vision und Digital Humanities / die Künste an der LMU und leitet die Computer Vision & Learning Group (CompVis). Ommer, Jahrgang 1981, studierte Informatik mit Nebenfach Physik an der Universität Bonn. Promoviert wurde er im Fach Informatik an der ETH Zürich, danach ging er als Postdoktorand an die University of California in Berkeley. Von 2009 an war Ommer Professor an der Universität Heidelberg und dort auch Co-Direktor des Interdisziplinären Zentrums für Wissenschaftliches Rechnen, bevor er im Jahr 2021 an die LMU kam.

„Es gibt keinen absoluten Schutz“

LMU-Informatiker Dieter Kranzlmüller, Leiter des Leibniz-Rechenzentrums, über Cybersicherheit in Zeiten der ersten Quantencomputer

Interview: Nikolaus Nützel

Auf dem Weg zu Ihnen hätte ich hier reinspazieren und mich an Ihren Tisch setzen können. Keine Security-Kraft hätte mich aufgehalten. Gibt es am Leibniz-Rechenzentrum nichts, was man mit Personenkontrollen gut schützen muss?

Kranzlmüller: Richtig, Sie wären bis zu mir gekommen. Aber das ist kein kritischer Bereich hier. Das Kritischste in meinem Büro sind wahrscheinlich irgendwelche Dokumente. Und selbst die dürfen bei mir nicht auf dem Tisch liegen, vertrauliche Papiere müssen in einen Schrank. Mit meiner Computertastatur können Sie nichts anfangen, da ist der Zugang gut geschützt. In mein Büro zu kommen, wäre also nicht das Problem. Aber zum Server kommen Sie nicht. Da brauche auch ich einen Dienstausweis. Wir sind das Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und der Münchner Universitäten LMU und TUM. Wir achten auf Sicherheit, das können Sie mir glauben.

Dass Sie Ihren Ausweis zeigen müssen, ist nicht nur eine Formalität?

Kranzlmüller: Nein, und mein Schlüssel sperrt drüben im Serverbereich nicht. Da brauche ich einen eigenen Schlüssel, den man mir erst geben muss. Wir haben mehrere Sicherheitszonen. Zu dem Bereich beispielsweise, wo die Server mit sämtlichen Mails beider Münchner Universitäten stehen, könnte auch ich nicht einfach so rübergehen. Da muss ich mir erst eine Freigabe besorgen. Und das

geht immer weiter: Bei medizinischen Daten, aus der Forschung etwa, ist zusätzlich die Festplatte verschlüsselt. Selbst wenn einer in diesen gesperrten Bereich reinkäme und die Festplatte rausnehmen könnte, hilft ihm das nichts, weil alles, was da drauf ist, verschlüsselt ist. Das ist also ein Zwiebelprinzip: Wir versuchen, mehrere Schichten aufzubauen.

Was tun, wenn der Trojaner eingedrungen ist?

Trotzdem sind aber Hacker von außen auch schon in das Leibniz-Rechenzentrum eingedrungen.

Kranzlmüller: Ja, so etwas passiert. Man muss deshalb immer wieder überlegen: Wie kann ich mich auf so etwas vorbereiten? Beispielsweise werden Mails, über die Hacker in ein System gelangen, immer besser. Früher hat man gesagt: Schau mal, wie viele Rechtschreibfehler in der Mail sind, das kann nur ein Hacker-Versuch sein. Das hat sich jetzt geändert, deshalb schulen und sensibilisieren wir unsere Mitarbeiter laufend. Und auch ich muss mich natürlich weiterbilden. Unsere Sicherheitsexperten bauen Fallen ein, und ich muss schauen, ob ich die erkennen kann.

Das klingt ein bisschen fatalistisch.

Kranzlmüller: Ich würde sagen, es ist realistisch. Ein zentrales Risiko bei allem, was mit Technik zu tun hat, ist eben der


Mensch. Das heißt, es kommt darauf an, dass der Mensch ein Bewusstsein hat für die Probleme, die sich ergeben können durch die Interaktion mit dem Gerät. Sind die Geräte alleine, kann nichts passieren. Aber die Geräte können nicht immer isoliert arbeiten. Wir hatten vor einiger Zeit einen Trojaner bei uns im System. Da haben ein LRZ-Kollege und ich eine Erpresser-Mail bekommen, die wir erst mal nicht ernst genommen haben. Dann hat uns das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie kontaktiert und gesagt: Ihr wisst schon, dass ihr da ein Problem habt, oder? Den Trojaner konnten wir dann identifizieren und neutralisieren.

Das heißt, irgendwann kommt jede Attacke durch?

Kranzlmüller: Im besten Fall kommt keine Attacke durch, doch man muss für den Ernstfall vorbereitet sein. Wenn zum Beispiel ein Verschlüsselungstrojaner eingeschleust wird, sollte man eine Kopie der Daten an einer anderen Stelle bereits gesichert haben. Wird ein Bereich durch einen Trojaner von Hackern verschlüsselt, kann man die gesicherten Daten von dem anderen separaten Bereich wieder zurückspielen.

Könnte man sich nicht einfach besser nach außen abschirmen?

Kranzlmüller: Wir müssen doch alle dauernd mit anderen online im Austausch sein. Wir betreiben hier einen der leistungstärksten Rechner der Welt, damit Forscherinnen und Forscher von außerhalb ihn für aufwendige Berechnungen

A man in a dark blazer and blue jeans stands in the center of a long server room aisle. He is smiling and has his hands clasped in front of him. The aisle is lined with tall server racks on both sides, filled with various electronic components and cables. The floor is light-colored and reflective, and the ceiling has industrial lighting and cable management systems.

»Jedes System, das im Internet ist, kann gehackt werden. Das ist einfach eine Tatsache. Darauf müssen wir uns vorbereiten.«

LMU-Informatiker und LRZ-Direktor Kranzlmüller: „Wir achten auf Sicherheit, das können Sie mir glauben.“ Foto: Fabian Helmich

»Hinter den Cyberattacken stecken immer öfter professionell vorgehende Hacker, die vor allem Geld erpressen wollen, oder staatlich organisierte Cyberkrieger, die politische Ziele der Destabilisierung verfolgen.«

und Simulationen nutzen können, die anderswo nicht möglich sind. Sie arbeiten aber nicht hier vor Ort, sondern greifen von außen, von ihren Forschungseinrichtungen aus, auf unsere Rechner zu. Wenn ihre Rechner nicht ausreichend geschützt sind, dringen die Hacker darüber in unser System ein. Das ist leider schon mal passiert.

Und das lässt Sie nicht unruhig schlafen, dass so etwas vielleicht wieder geschieht?

Kranzlmüller: Meine Grundeinstellung ist: Jedes System, das im Internet ist, kann gehackt werden. Das ist einfach eine Tatsache. Es gibt keinen absoluten Schutz. Darauf müssen wir uns vorbereiten, damit wir im Ernstfall so schnell wie möglich wieder den Betrieb aufnehmen können.

Es gibt ja Sorgen, dass gerade jetzt in Kriegszeiten vielleicht nicht in erster Linie wissenschaftliche Einrichtungen gehackt werden, sondern Energiesysteme oder Krankenhäuser. Wie berechtigt sind solche Sorgen?

Kranzlmüller: Die Gefahr ist real. Es gibt allein aus den letzten Monaten zahlreiche Berichte über Cyberangriffe, Erpressungstrojaner und Sicherheitslücken. Man denke nur an den Fall, bei dem ein lahmgelegtes Satellitennetzwerk die Kommunikation mit mehr als 3.000 Windkraftanlagen in Deutschland lahmlegte.

Die Windkraftanlagen waren aber „nur“ ein Kollateralschaden. Das Ziel der russischen Angreifer war es, die Kommunikation in der Ukraine zu stören. Oder die Erpressung von Firmen und Institutionen. Ich hoffe, dass die Betreiber der kritischen Infrastrukturen sich darauf vorbereitet haben, dass zum Beispiel Wasser-, Strom- und Gesundheitsversorgung in der Lage sind, auch mit derartigen Angriffen zurechtzukommen. Die organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen dafür, wurden mit dem Sicherheitsgesetz und der KRITS-Verordnung geschaffen. Ich glaube aber, dass wir vielfach in diesem Rennen zu langsam sind.

Inwiefern?

Kranzlmüller: Auch beim LRZ brauchen wir etwa für einen Strom-Blackout einen Plan. Ich gebe zu, wir hatten das nicht immer so auf dem Schirm, die Stromversorgung ist ja eigentlich bestens hier. Aber im Ernst: Wie würden wir auf einen Blackout reagieren? Wie sichern wir die Daten, wie fahren wir unser Betrieb mit all seinen Abhängigkeiten im System wieder hoch, wenn der Strom wieder da ist?

Das heißt, Sie machen sich Sorgen, dass wichtigen Einrichtungen mit einer Cyberattacke der Strom abgeschaltet wird?

Kranzlmüller: Bei der Stromversorgung sehe ich noch keine akute Gefahr, denn

da spielt herkömmliche Elektrotechnik eine wichtige Rolle. Bei dem Vorfall im Herbst 2022 auf einer Bahnstrecke in Norddeutschland beispielsweise wurde die für den Zugverkehr notwendige Kommunikation nicht per Cyberattacke gestört, sondern jemand hatte aus Versehen Glasfaserkabel durchgeschnitten. Aber natürlich wächst die Cybergefahr, je stärker verschiedene Strukturen miteinander digital vernetzt sind. Hinter den Cyberattacken stecken immer öfter professionell vorgehende Hacker, die vor allem Geld erpressen wollen, oder staatlich organisierte Cyberkrieger, die politische Ziele der Destabilisierung verfolgen.

Jetzt gehört zum Leibniz-Rechenzentrum ja nicht nur der Großcomputer SuperMUC-NG, sondern auch ein Quantencomputer. Von diesen Rechnern heißt es, sie seien auch den leistungsstärksten traditionellen Computern weit überlegen. Kann so ein Quantencomputer dann alle Codes knacken?

Was wird aus herkömmlich verschlüsselten Daten?

Kranzlmüller: Ja, ein Quantencomputer wird irgendwann in der Lage sein, alle aktuell gängigen Verschlüsselungen zu knacken. Wenn wir uns einen Code vorstellen wie ein Zahlenschloss am Fahrrad mit vier Ringen, dann muss ich maximal 10.000 Positionen ausprobieren, um es zu knacken. Unser SuperMUC-NG kann 27 Milliarden Operationen pro Sekunde ausführen. Das heißt: Der Supercomputer probiert diese 10.000 Möglichkeiten sehr schnell durch und sagt, wie das Schloss aufgeht. Der Quantencomputer arbeitet mit einer anderen Methode. Der probiert nicht die Möglichkeiten sehr schnell hintereinander, sondern sozusagen in



Der SuperMUC-NG am Leibniz-Rechenzentrum, laut Dieter Kranzlmüller „einer der leistungsstärksten Rechner der Welt“: 27 Billionen Operationen pro Sekunde – und bei der Verschlüsselung doch nicht der Schnellste. Foto: Fabian Helmich

einem einzigen Schritt. Das Ergebnis ist, dass er 10.000-mal schneller ist als unser Höchstleistungsrechner.

Ein Quantencomputer kann also eine Online-Verschlüsselung etwa fürs Telebanking knacken oder auf verschlüsselte Gesundheitsdaten zugreifen?

Kranzlmüller: Im Grundsatz schon. Beim Telebanking zum Beispiel funktioniert der Schlüssel auch nicht grundlegend anders als beim Zahlenschloss, er ist nur viel länger. Aber wenn ich einen leistungsfähigen Quantencomputer habe, dann kann ich auch das wieder sehr schnell lösen.

Das heißt, wenn Quantencomputer einsatzreif sind, gibt es keine sichere Verschlüsselung mehr?

Kranzlmüller: Das wäre ein Missverständnis. Deshalb arbeiten wir hier am

Thema Post-Quanten-Sicherheit. Wir machen Grundlagenforschung dazu. Erst müssen wir wissen, wie der Quantencomputer arbeitet. Anschließend können wir versuchen, eine Verschlüsselung zu entwickeln, die nicht wie die jetzt bekannten Verschlüsselungen funktioniert. Die Frage ist also: Können wir eine Verschlüsselung bauen, bei der der Quantencomputer seinen Ansatz nicht einsetzen kann?

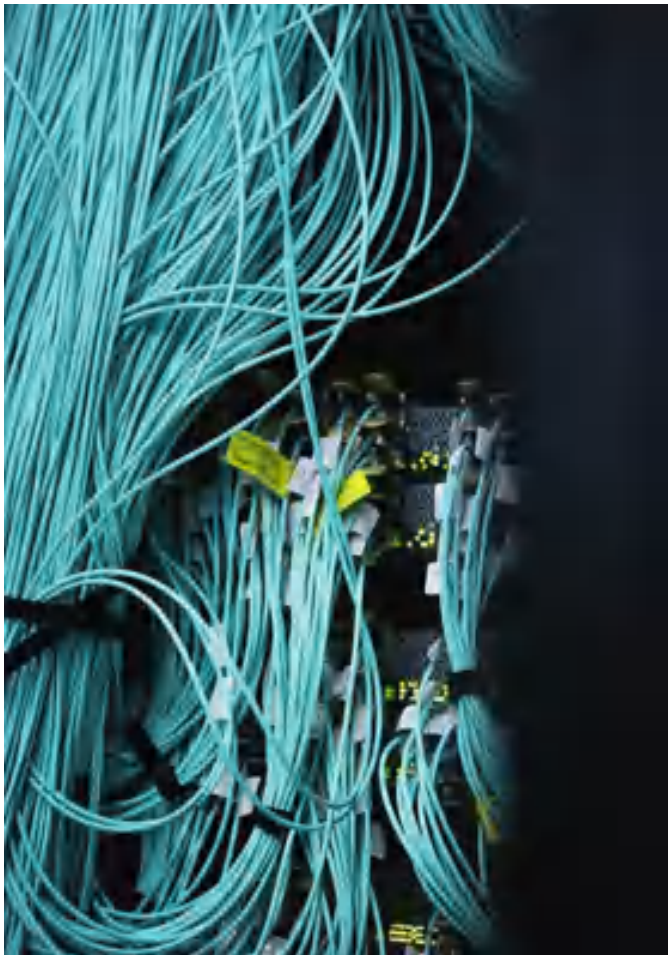
Und können Sie es?

Kranzlmüller: Ja. Wir haben Ansätze, die Verschlüsselungsverfahren verwenden, die wirklich Sicherheit gegenüber dem Verfahren eines Quantencomputers bringen.

Sie forschen an einem der größten wissenschaftlichen Rechenzentren Deutschlands an Quantenkryptographie. Wo auf der Welt wird noch an dem Thema gearbeitet?

Kranzlmüller: Ich würde wetten, dass am Rechenzentrum der National Security Agency der USA in Utah an solchen Quantensystemen gearbeitet wird. Es handelt sich hier um eines der größten Rechenzentren der Welt, 20-mal größer als wir. Wie die dort gewonnenen Erkenntnisse eingesetzt werden, wissen wir nicht. Zudem dürften jenseits von Technikkonzernen wie IBM und Forschungseinrichtungen insbesondere die Geheimdienste aller größeren Länder besonders viel investieren. Und: Das amerikanische National Institute of Standards and Technology (NIST) hat das Problem erkannt und schon im Jahr 2016 einen Wettbewerb zur Standardisierung von quantencomputerresistenten kryptographischen Verfahren gestartet. Erste Verfahren sind nun einsatzbereit.

Lässt sich einem Nicht-Informatiker erklären, wie solche Verfahren funktionieren?



Neueste Generationen: Arbeiten am Höchstleistungsrechner und am Quantenrechner (rechts). Unter anderem forschen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zur Post-Quanten-Sicherheit. Fotos: Fabian Helmich

Kranzlmüller: So einfach erklären wie mit dem Zahlenschloss kann man es schon mal nicht. Das ist eine ganz andere Arbeitsweise. Da ist man tief drin in der höheren Mathematik.

Und damit lässt sich eine Verschlüsselung entwickeln, die auch vor Quantencomputern sicher wäre?

Kranzlmüller: Ja, wir haben viele Methoden analysiert, um zu schauen, ob wir sie mit dem Quantencomputer knacken können. Und bei der einen oder anderen geht es tatsächlich. Aber wir haben auch Ansätze entwickelt, die der Quantencomputer vermutlich nicht knacken kann. Es gibt noch ein anderes Problem. Was passiert, wenn mit derzeit gängigen Methoden verschlüsselte Daten gestohlen und gespeichert werden, um sie dann später zu entschlüsseln? Etwa eine Festplatte mit medizinischen Daten aus einer Klinik oder Unternehmenspatente für Zukunftstechnologien. All diese Daten wären dann

in der Zukunft für die Datendiebe freilesbar. Die Kryptologen sprechen von „store now, decrypt later“.

Wie sehr müssen wir befürchten, dass wir in fünf oder zehn Jahren einer internationalen cyberkriminellen Mafia ausgeliefert sind oder auch diktatorischen Regimes, die mithilfe von Quantencomputern alles gehackt haben werden, was heute noch verschlüsselt ist?

Kranzlmüller: Ich glaube, dass wir uns mit entsprechenden technischen Methoden schützen können. Ich bin da grundsätzlich optimistisch. Aber meine Sorge ist auch, dass, salopp formuliert, die „Bösen“ schneller sind als wir mit den neuen Verschlüsselungstechniken. Es ist ein Wettrennen. Und selbst wenn wir eine Post-Quanten-Kryptographie haben, betrifft das Problem auch alle sicherheitsrelevanten Daten, die wir bis dahin schon verschlüsselt haben: Sämtliche Backups haben ja noch den alten Schlüs-

sel und sind damit mit den neuen Methoden angreifbar. Auch wenn wir jetzt eine sichere Methode entwickeln, müssen wir alles, was wir früher verschlüsselt haben, auf den neuen Stand bringen und schützen. Es ist also noch sehr viel zu tun – und zwar schnell. Wir dürfen das nicht verschlafen.

Prof. Dr. Dieter Kranzlmüller

ist Professor für Informatik am Lehrstuhl für Kommunikationssysteme und Systemprogrammierung der LMU sowie Vorsitzender des Direktoriums des Leibniz-Rechenzentrums (LRZ) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAdW) und Leiter des LRZ. Kranzlmüller, Jahrgang 1969, studierte Informatik an der Universität Linz, wo er auch promoviert wurde. Nach Stationen als Assistent und Professor in Linz, als Lecturer an der University of Reading, Großbritannien, und als Gastwissenschaftler an der Technischen Universität Dresden war er zuletzt stellvertretender Projektdirektor am Kernforschungszentrum CERN bei Genf, bevor er 2008 an die LMU berufen wurde.

Langer Atem

Mithilfe kleiner RNA-Abschnitte lassen sich krankheitsauslösende Gene stilllegen. Olivia Merkel forscht seit dem Beginn ihrer Karriere an Methoden, um diese siRNAs für den Einsatz gegen Lungenkrankheiten zielgenau zum Wirkort zu transportieren.

Von Claudia Doyle

Einatmen, ausatmen. So weit, so gewöhnlich. Jeder von uns tut es ungefähr 23.000-mal am Tag. Bei jedem Atemzug strömen etwa zwei bis drei Liter Luft in unsere Lunge durch die Bronchien bis in die aller kleinsten Lungenbläschen hinein. Das Organ kommt daher ständig mit Krankheitserregern, Chemikalien oder Schadstoffen aus der Umgebungsluft in Kontakt. Kein Wunder also, dass Atemwegserkrankungen eine hohe Krankheitslast darstellen.

Weltweit leiden über eine Milliarde Menschen an akuten oder chronischen Atemwegserkrankungen wie Asthma, chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD), zystischer Fibrose und Lungenkrebs. Seit dem Beginn der Pandemie hat zudem die Zahl der Lungenfunktionsstörungen deutlich zugenommen. Neue Therapien, möglichst schonend und ohne Nebenwirkungen, werden dringend benötigt. Der große Vorteil der Lungen ist: Medikamente können eingeatmet werden und somit direkt an ihren Wirkort gelangen. Ein Umweg über das Blut ist nicht notwendig.

Genau daran forscht Olivia Merkel, Professorin für Drug Delivery im Department Pharmazie der LMU. Sie hat es sich zum Ziel gesetzt, neue Nano-Transportsysteme für Medikamente gegen Lungenkrankheiten zu entwickeln. Seit zwanzig Jahren forscht Merkel bereits an Gene Delivery, was man sehr frei mit Gen-Lie-

ferung übersetzen kann. Es geht bei dieser Methode darum, wie man Gene oder zumindest kurze Erbgut-Schnipsel, die als Medikament wirken können, am besten an ihren Einsatzort bringt – also in die kranken Zellen hinein. „Lange Zeit wurde meine Arbeit belächelt und galt als zu fern von Anwendungen“, erinnert sie sich. An Fördergelder zu kommen verlangte viel Ausdauer. „Heute erlebt das Thema einen regelrechten Boom – nicht zuletzt, weil auch die Corona-Impfung mithilfe von mRNAs auf diesem Prinzip basiert.“

Gene Delivery war schon früher mal ein heißes Thema

Schon diese beiden Eckpunkte zeigen, wie stark das Interesse an Gene Delivery über die Zeit schwankte. Als zum Beispiel im April 2003 das komplette menschliche Genom entschlüsselt wurde, studierte Merkel noch Pharmazie in Marburg. Gene Delivery war zu dieser Zeit an Universitäten, privaten Forschungsinstituten und in der Industrie ein heißes Thema. „Damals dachte man, dass jetzt jede Krankheit heilbar sei“, erinnert sie sich.

Die Idee dahinter ist schnell erklärt: Zahlreiche Krankheiten sind auf Mutationen in bestimmten Genen zurückzuführen. Wenn man diese mutierten Gene stilllegen könnte, wäre auch die Krankheit geheilt. Dazu muss man sogenannte short interfering RNAs (siRNAs) in die

Zellen einschleusen, die verhindern, dass das betreffende Gen in ein Protein übersetzt werden und Schaden anrichten kann. Es hat auch gleich mehrere Vorteile, Medikamente direkt am Wirkort zu verabreichen, anstatt sie zum Beispiel zu spritzen: Die benötigte Dosis ist niedriger, die Nebenwirkungen geringer, systemische Effekte lassen sich vermeiden.

Merkel ist von dieser Idee und ihren Möglichkeiten fasziniert. Doch als sie zum ersten Mal „siRNA Delivery“ in das Suchfeld einer großen Datenbank aller publizierten Fachartikel aus dem Bereich Biomedizin eingibt, erhält sie mickrige 12 Treffer. „Es gab damals nur sehr wenig Forschung auf diesem Gebiet“, erzählt Merkel. Die schnellen Erfolge blieben zunächst aus. Das erste und bis heute eines von nur fünf zugelassenen siRNA-Medikamenten hatte eine Entwicklungszeit von 16 Jahren und verschlang 2,5 Milliarden US-Dollar. Schon nach wenigen Jahren gaben viele Firmen auf, Forschungsprojekte wurden eingestampft, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler suchten sich andere Aufgaben. „Ich habe mich nicht beirren lassen und einfach weitergemacht“, erzählt Olivia Merkel lachend.

Probleme gab es dabei für sie genug zu überwinden. Damit die siRNAs solche krankheitsauslösenden Gene stilllegen können, müssen sie zunächst in die erkrankten Zellen aufgenommen werden. Besonders leicht geht das in der Leber, denn in diesem Entgiftungsorgan landet am Ende alles, was der Körper aufnimmt.

»Heute erlebt das Thema Gene Delivery einen regelrechten Boom – nicht zuletzt, weil auch die Corona-Impfung mithilfe von mRNAs auf diesem Prinzip basiert.«

Andere haben ihre Arbeit an Gene Delivery aufgegeben, Olivia Merkel hat lange Durststrecken in Kauf genommen. „Ich habe mich nicht beirren lassen und einfach weitergemacht.“ Heute geben ihr die Ergebnisse recht und sie ist froh, „dass ich immer so stur geblieben bin“. Foto: Florian Generotzky





Alle bisher zugelassenen siRNA-Medikamente haben daher auch die Leber als Ziel. „Ich fand das zu einseitig und habe mich stattdessen schnell auf die Lunge konzentriert“, erklärt Merkel.

Lieber das Land gewechselt als das Forschungsthema

Denn auch die Lungenzellen sind dank ihrer riesigen Oberfläche von etwa 100 Quadratmetern im Prinzip gut für Medikamente erreichbar. Doch reine siRNAs können nicht an die Zellen binden oder gar von ihnen aufgenommen werden. Dafür müssen sie zunächst in andere Materialien eingebettet werden. Durch diese Verpackung aus Lipiden, Polymeren oder anderen Molekülen entstehen Nanopartikel, die von den Zellen mittels Endozytose aufgenommen werden können. Die Optimierung dieser Verpackung, quasi der Bau eines besonders effizienten Medikamenten-Shuttles, ist das Zentrum von Olivia Merckels Arbeit.

Wenn die siRNA-Nanopartikel von den Zellen aufgenommen worden sind, sind sie zunächst im sogenannten Endosom gefangen, umgeben von einer stabilen, undurchlässigen Membran. Die Zelle erkennt die Nanopartikel als Fremdstoffe und hat keine besonders erfreulichen Pläne dafür: Sie sollen von der zelleigenen Müllabfuhr entsorgt werden. Damit das nicht passiert, müssen die Nanopartikel auch noch über einen Bestandteil verfügen, der ihnen dabei hilft, das Endosom wieder zu verlassen. Erst dann befinden sie sich im Zytoplasma, wo sie aktiv werden und zur Heilung beitragen können.

Merkel erforschte, wie es gelingen könnte, siRNAs in die T-Zellen des Immunsys-

tems einzubringen, die zum Beispiel bei Asthma-Patienten in der Lunge übermäßig aktiv sind. Tatsächlich fand sie eine neue Schleuse: Ein Rezeptor, der normalerweise Eisen in die Zellen transportiert, kann auch siRNA-Nanopartikel in die T-Zellen einschleusen. Der Clou dabei: Aktivierte T-Zellen stellen mehr von diesen Rezeptoren her als inaktive. Es ist also möglich, die inaktiven T-Zellen zu schonen und eine generelle Immunsuppression zu vermeiden. Die Therapie ist hoch spezifisch, systemische Nebenwirkungen wie eine komplette Herunterregulierung des Immunsystems werden vermieden.

Mit diesen vielversprechenden Ergebnissen im Gepäck zog sie nach Detroit und forschte fortan als Tenure-Track-Professorin an der Wayne State University. Es sollten die härtesten Jahre ihrer Karriere werden. Der Kampf um Fördergelder in den USA ist bis heute unerbittlich. Sie konkurrierte mit Arbeitsgruppen, die viel größer und bekannter waren als ihre eigene, und ging immer wieder leer aus. „Das war eine lange Durststrecke“, erinnert sich Merkel. Und schiebt hinterher: „Aber ich bin froh, dass ich immer so stur geblieben bin.“

Anstatt ihr Forschungsgebiet zu wechseln, wechselte sie lieber wieder das Land. Denn während die Amerikaner ihrem Vorhaben skeptisch gegenüberstanden, signalisierte Europa Interesse. Die junge Pharmazeutin schaffte es, für ihre Forschungsidee einen der begehrten ERC Starting Grants an Land zu ziehen. Mit diesen Fördermitteln des Europäischen Forschungsrates in der Hinterhand ging sie ins Gespräch mit mehreren Universitäten in Europa – und wurde von der LMU mit offenen Armen empfangen. Seitdem arbeitet sie als Professorin für Drug Delivery im Department Pharmazie; seit Ende vergangenen Jahres ist sie Lehrstuhlinhaberin.

Während der Pandemie richtete sich der Fokus ihrer Forschung vermehrt auf die Prävention und Therapie von Sars-Cov-2. Sie konnte zeigen, dass siRNA-Nanopartikel auch dazu beitragen können, die Virusreplikation in der Lunge zu verlangsamen und Symptome zu mildern. Ihr Hauptaugenmerk liegt jedoch auf der Entwicklung einer Trockenpulver-Plattformtechnologie für den gezielten Transport von siRNAs in der Lunge.

Olivia Merkel ist es gelungen, RNA-Nanocarrier dafür zu entwickeln, die sich mit einem Sprühtrocknungsverfahren stabilisieren lassen; dabei entsteht ein Trockenpulver, das sich bei Raumtemperatur längere Zeit hält. Vom Europäischen Forschungsrat (ERC) bekam sie im vergangenen Jahr einen kleineren sogenannten Proof of Concept Grant. Diese Förderung soll sie dabei unterstützen, Ergebnisse aus der Forschung in die Praxis zu überführen. Wie lässt sich die Sprühtrocknung so verbessern, lautet die anwendungsorientierte Fragestellung, dass sich das Trockenpulver generell gut transportieren und lagern lässt?

Wie die optimalen Moleküle aussehen, könnte ein Algorithmus berechnen

Ganz abgesehen von solchen Fragen der Haltbarkeit: Das Design der Nanocarrier ist mitunter ein mühseliges Geschäft. Bisher wurden die Polymer-Materialien für die Nanopartikel in riesigen Bibliotheken synthetisiert und anschließend getestet. „Das ist unglaublich aufwendig und am Ende findet man heraus, dass vielleicht eines von eintausend Materialien funktioniert“, erklärt die Pharmazeutin die Strategie – zumindest in weiten Teilen beruht das Verfahren auf Versuch und Irrtum.



Das Design von Nanocarriern ist mitunter ein mühseliges Geschäft. Bis die richtige Formulierung gefunden ist, braucht es viele Versuche im Labor, mit klassisch chemischen Methoden (links) wie auch mit molekular- und zellbiologischen Versuchen. Fotos: Florian Generotzky

Sie möchte den Entwicklungsprozess schneller und günstiger machen. „Denn wenn man bereits einige Kriterien kennt, die das Polymer-Material erfüllen soll, zum Beispiel die Löslichkeit in Wasser oder die Größe der Partikel, dann könnte ein Algorithmus berechnen, wie die optimalen Moleküle aussehen sollen“, sagt Olivia Merkel.

Dafür kombinierte sie erstmals Simulationen der Molekulardynamik und Methoden des maschinellen Lernens. Sie synthetisiert bestimmte Polymere, die mit siRNAs beladen und mit verschiedenen

Methoden hinsichtlich ihrer Eignung und Wirksamkeit getestet und analysiert werden, skizziert Merkel das Forschungsprogramm. Mithilfe dieser Ergebnisse will sie ein Modell entwickeln, das die Eignung verbesserter Polymere als effiziente siRNA-Nanocarrier vorhersagen und so den experimentellen Aufwand verringern kann. Unlängst hat ihr der ERC einen weiteren seiner hochdotierten Grants für dieses Projekt zugesprochen.

Sie hofft, dass sie in den nächsten fünf Jahren eine klinische Studie mit ihren neuartigen Nanopartikeln starten kann.

Denn erst wenn Patientinnen und Patienten von besseren Medikamenten profitieren, so sagt sie, hat sich ihre Hartnäckigkeit wirklich gelohnt.

Prof. Dr. Olivia Merkel

ist seit 2022 Inhaberin des Lehrstuhls für Drug Delivery am Department für Pharmazie der LMU. Merkel, Jahrgang 1981, studierte Pharmazie an der Universität Marburg, wo sie auch promoviert wurde. Sie war Tenure-Track-Professorin an der Wayne State University in Detroit, USA. Seit Oktober 2015 ist sie Professorin an der LMU. Der Europäische Forschungsrat hat sie bereits mit drei seiner prestigeträchtigen Grants ausgezeichnet.



Die Tiere mit den kleineren Herzen: Auckland Island Pigs sind eine Hoffnung für die Transplantationsmedizin, sagen Münchner Wissenschaftler. Foto: Christoph Olesinski

Herzenswünsche

Schweine dienen als Modellorganismen zum Studium von Krankheiten, auch als Organspender für Menschen könnten sie künftig infrage kommen. Ein Besuch auf dem Moorversuchsgut der LMU, wo man an den Tieren forscht

Von Janosch Deeg

Die Hoffnung der Transplantationsmedizin ist struppig – und ziemlich neugierig: Die kleinen schwarzen Augen mustern jeden Ankömmling aufmerksam, die Schnauze hebt sich grunzend in seine Richtung. Mit seinem borstigen Fell und der etwas gedrunghenen Statur erinnert das Auckland Island Pig ein bisschen an ein Wildschwein. Doch handelt es sich um eine Rasse mit einer besonderen Eigenschaft: „Das Herz eines ausgewachsenen Tieres ist ungefähr so groß wie das eines erwachsenen Menschen“, erklärt der Tiermediziner und Genforscher Eckhard Wolf, während er durch die Stallungen des Moorversuchsguts der LMU bei Oberschleißheim führt. Daher ist die Rasse womöglich ein Glücksfall für die Biomedizin. In Zukunft könnte das Auckland Island Pig als Organspender für Menschen dienen. Der Bedarf ist riesig: Rund 8.500 Menschen warten allein in Deutschland derzeit auf ein Organ; im vergangenen Jahr gab es nur etwa 850 Spenden von menschlichen Organen.

Im rustikalen Ambiente der Stallungen herrscht penible Hygiene. Die Versuchsschweine sollen sich mit keinerlei Erregern anstecken. Jeder, der zu den Schweinen will, ob Forscher, Pfleger oder Besucher, muss darum durch eine Schleuse: Vorher Schuhe und Socken ausziehen, Hände und Füße desinfizieren, dann rein und unter die Dusche, „Haarewaschen nicht vergessen“, gibt Wolf seinem Besucher noch mit. Anschließend Einmalunterhose

und frisch gewaschene Kleidung anziehen. Erst von Kopf bis Fuß gesäubert darf man zu den Tieren.

Im nächsten Gehege fläzen sieben rosige Ferkel einer Hausschweinrasse regungslos unter einer Wärmelampe neben der Muttersau. „Die haben sich gerade den Bauch vollgeschlagen“, sagt Wolf, ebenfalls frisch geduscht, während er mit seinem Handy Fotos von den Tieren für seine private Sammlung schießt. „In etwa einer Stunde geht das Spiel von vorne los, dann wird wieder gesäugt“, sagt er.

Schweine mit Diabetes oder Erbkrankheiten

Insgesamt sind in dem rund 90 Meter langen und 40 Meter breiten Hightech-Stallgebäude in der Nähe von München etwa 500 Schweine untergebracht. Etwa ein Drittel dient der Transplantationsforschung, der Rest als Modellorganismus für Erbkrankheiten oder die chronische Stoffwechselerkrankung Diabetes. „Um Krankheitsmechanismen zu untersuchen und neue Diagnoseverfahren und Therapien zu erproben, sind Tiermodelle zwingend notwendig“, erklärt Wolf. Schweine sind hierfür aktuell die besten Kandida-

ten, da sie dem Menschen in Anatomie und Stoffwechsel ähneln.

Die Schweine, ob sie nun für die Organspende oder als Tiermodell dienen sollen, sind genetisch modifiziert. Manche weisen zum Beispiel eine Mutation in einem bestimmten Gen auf, die zur Erbkrankheit Duchenne-Muskeldystrophie führt. Die Krankheit lässt Muskeln degenerieren, was am Ende zum Tode führt. Oder das Erbgut ist so verändert, dass die Tiere weniger insulinproduzierende Zellen in der Bauchspeicheldrüse entwickeln als üblicherweise. Sie können somit Glukose schlechter verwerten – so wie Menschen, die an Diabetes leiden. Bei anderen Schweinen wiederum wurden be-



Biotechnologie-Labore in der Bauernhofkullisse: Eckhard Wolf, Tiermediziner und Genforscher, leitet das Moorversuchsgut bei Oberschleißheim. Foto: C. Olesinski



Eingriff à la Dolly: Eine Sau wartet auf die Implantation eines editierten, also gentechnisch veränderten Embryos (Bilder auf dieser Seite). Dazu haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Moorversuchsgut zuvor eine Eizelle präpariert: In einer einzelnen Schweine-

stimmte Strukturen der insulinproduzierenden Zellen gentechnisch mit einem fluoreszierenden Farbmolekül markiert. „Auf diese Weise lässt sich der Insulinumsatz in einem lebenden Organismus verfolgen“, sagt Wolf und zeigt auf die betreffenden Tiere, die äußerlich wie ganz normale Hausschweine daherkommen: Sie grunzen, schnüffeln, quieken – und riechen, wie Schweine eben riechen.

Zurück zu den Auckland Island Pigs, deren Geschichte Anfang des 19. Jahrhunderts begann. Damals strandeten Schiffe auf den Auckland Islands 320 Kilometer südlich von Neuseeland. Mit ihnen gelangten europäische Schweine

auf die Inseln. Sie paarten sich mit einheimischen Artgenossen, über die Zeit entstand so eine neue Rasse. Doch weshalb muss man ihr Erbgut für die potenzielle Organspende verändern? Für die Antwort holt Wolf aus: „Auf der Oberfläche von Schweinezellen befinden sich bestimmte Zuckermoleküle, gegen die wir Menschen Antikörper haben“, erklärt er. „Setzt man nun Schweinezellen oder komplette Schweineorgane in den Menschen ein, würden diese Antikörper an die Zuckerstrukturen binden und so körpereigene Abwehrmechanismen aktivieren.“ Diese würden in kürzester Zeit die Schweinezellen und damit das gesamte Organ zerstören.

Die Organabstoßung ist eine der größten Herausforderungen der Transplantationsmedizin – und besonders der Xenotransplantation, so nennen Fachleute die Verpflanzung von Organen zwischen verschiedenen Arten. Der Körper duldet keine Eindringlinge und bekämpft sie vehement – auch transplantierte Organe. Gleichwohl gilt: Die Reaktion fällt umso schwächer aus, je ähnlicher sich Spender und Empfänger sind. Folgerichtig sind menschliche Organe am besten für eine Transplantation geeignet, doch ist die Nachfrage viel höher als das Angebot.

Genetische Anpassungen hemmen menschliche Abstoßungsreaktionen

Viel Hoffnung liegt daher auf den Schweinen – und der Gentechnik: „Wir schalten diejenigen Gene aus, die für die Synthese der Zuckerreste verantwortlich sind“, erklärt Wolf. Darüber hinaus wird das tierische Erbgut derart verändert, dass es die menschliche Abstoßungsreaktion hemmt. „Ein weiteres Problem ist, dass es zu Blutgerinnseln kommen kann, wenn menschliches Blut durch Schweinegefäße

»Um Krankheitsmechanismen zu untersuchen und neue Diagnoseverfahren und Therapien zu erproben, sind Tiermodelle zwingend notwendig.«



zelle haben sie zunächst das Erbgut gezielt verändert und den Zellkern in die entkernte Eizelle eingesetzt. Daraus wächst ein editierter Embryo heran, den Barbara Kessler in einen Eileiter des Schweines implantiert (Bilder auf dieser Seite). Fotos: Christoph Olesinski

fließt“, sagt Eckhard Wolf. Daher werden die Schweinezellen gentechnisch mit menschlichen Eiweißen ausgestattet, die die Blutgerinnung regulieren.

Neben den Stallungen steht ein altes Bauernhaus – die gesamte Kulisse gleicht eher der eines idealtypischen Landwirtschaftsbetriebs als der einer Forschungseinrichtung. In den einstigen Ställen sind aber hochmoderne Biotechnologie-Labore untergebracht; unzählige Gewebe- und Blutproben lagern hier in großen Tiefkühlschränken. Seit knapp 30 Jahren gibt es das Moorversuchsgut; Eckhard Wolf ist seit Anfang an mit dabei und leitet die LMU-Einrichtung seit nunmehr 27 Jahren.

In den Laboren im Erdgeschoss des Bauernhauses verändern Wolfs Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zunächst in einer einzelnen Schweinezelle das Erbgut. Dazu nutzen sie unter anderem die Genschere CRISPR/Cas9, ein molekulares Skalpell, mit dem sie die DNA präzise durchtrennen und Abschnitte daraus entfernen oder neue einfügen können. Den gentechnisch veränderten Zellkern pflanzen die Forschenden dann in eine entkernte Eizelle ein, eine Technik, die erstmals im Jahr

1997 beim Klonen des Schafs Dolly angewandt wurde.

„Wir haben den Versuch damals kurz darauf erfolgreich reproduziert“, erzählt Wolf und zeigt stolz den Arbeitsplatz, an dem das bahnbrechende Experiment stattfand. Aber zurück zur Methode: „Aus den präparierten Eizellen wachsen Embryonen heran, die dann in die Eileiter einer Sau eingesetzt werden“, fährt der Klon-Experte fort. Klappt alles, kommen einige Monate später Ferkel zur Welt, die eine gezielte genetische Veränderung aufweisen. Diese Tiere lassen sich dann ganz normal über Zucht weitervermehren.

Paviane mit dem Herzen eines Schweins

Wie weit ist Wolf mit seinen Arbeiten? Wann können die Schweineherzen in Menschen verpflanzt werden? „Ich denke, dass wir in zwei Jahren die richtigen Spendertiere haben“, sagt Wolf – also solche, die alle geplanten genetischen Modifikationen aufweisen. Die Herzen dieser Schweine müssen anschließend

auf Pavianen getestet werden. „Ist diese Transplantation erfolgreich, können wir dann eine erste klinische Pilotstudie mit vier bis sechs Patienten beantragen“, so skizziert Wolf die Planungen.

In bisherigen Versuchen mit Herzen „normal“-wüchsiger Schweine an Pavianen überlebten die Affen rund sechs Monate. Die Experimente, die im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Sonderforschungsbereiches gemacht wurden, haben aber auch gezeigt, dass die jungen Schweineherzen nach der Transplantation so weiterwachsen, als würden sie sich weiterhin im Schwein befinden. Irgendwann sind die Herzen zu groß für den Brustkorb der rund 20 Kilogramm schweren Tiere. Zwar lässt sich das Wachsen gentechnisch begrenzen – aber: Je mehr genetische Modifikationen man auf unterschiedlichen Chromosomen hat, desto schwieriger wird es, durch Zucht am Ende die richtige Kombination zu erzeugen. „Aus diesem Grund haben wir uns für die kleineren Auckland Island Pigs entschieden, die ein kleineres Herz haben“, sagt Wolf.

Größe und Abstoßungsreaktionen könnte man also in den Griff bekommen, glaubt



Schweine nicht nur als Organspender, sondern auch als Modelle für die medizinische Forschung: Eckhard Wolf und Barbara Kessler haben für die Zucht der Tiere molekulare Methoden entwickelt, die Stall und Labor verbinden. Foto: Christoph Olesinski

Wolf. Außerdem muss vor der Transplantation noch sichergestellt werden, dass das tierische Spenderherz nicht mit Viren infiziert ist. Dem ersten Xenotransplantations-Patienten David Bennett ist vermutlich genau das zum Verhängnis geworden. Am 10. Januar 2022 bekam der US-Amerikaner als erster Mensch überhaupt ein genetisch modifiziertes Schweineherz eingepflanzt.

Bennett litt an einer fortgeschrittenen Herzinsuffizienz, begleitet von Herzrhythmusstörungen. Aufgrund seiner fortgeschrittenen Erkrankung und weil er sich nur unzureichend an die therapeutischen Maßnahmen hielt, galt er als ungeeigneter Empfänger eines menschlichen Spenderherzens. Das Schweineorgan war daher seine einzige Chance. Zwei Monate nach dem Eingriff verstarb Bennett – wahrscheinlich wegen Schweineviren. „Durch einen einfachen Antikörpertest am Spendertier hätte man eine solche Infektion im Vorfeld entdecken können“, sagt Wolf. „Bennetts Gesundheitszustand war aber

vorher schon außerordentlich schlecht. Vermutlich hätte ihn eine Xenotransplantation ohnehin nicht langfristig retten können.“

War die Transplantation aus seiner Sicht dennoch ein Erfolg? „Es war“, so räumt Wolf ein, „ein gewagtes Experiment“, was die Überlebenschance des Patienten anbelangt, selbst wenn man von vermeidbaren Komplikationen absieht. Auch war das Risiko eines Rückschlags für die gesamte Forschung rund um die Xenotransplantation sicherlich groß. Das Experiment habe aber gezeigt, so LMU-Forscher Wolf, dass der Ansatz funktionieren kann – sogar bei einem Patienten, der alles andere als ideale Voraussetzungen mitbrachte.

Für welche Patientengruppe aber wäre ein solcher Eingriff eine vertretbare Option? Wolf definiert einen „idealen“ Patienten so: „Es ist einer, bei dem man mit einem positiven Effekt für seine Gesundheit rechnen kann. Und für den gleichzeitig

kein menschliches Herz oder mechanisches Unterstützungssystem infrage kommt.“ Als Beispiel nennt er Krebspatienten, die aufgrund ihres hohen Sterberisikos kein menschliches Organ bekommen. Oder Kleinkinder mit schweren Herzmissbildungen, hebt Wolf hervor. Für diesen Altersbereich gibt es nur äußerst wenige menschliche Spenderherzen.

Aus den teuren Schweineherzen könnte ein Geschäft werden

„Gesunden Menschen erscheint die Vorstellung, mit einem Schweineherz zu leben, womöglich absurd“, sagt Wolf. „Für manche könnte es aber die einzige Chance sein zu überleben.“ Entsprechend könnte aus den Schweineherzen, wie auch bei anderen medizinischen Entwicklungen, ein Geschäft werden, weil Spenderorgane ein sehr knappes Gut sind.

»Gesunden Menschen erscheint die Vorstellung, mit einem Schweineherz zu leben, womöglich absurd. Für manche könnte es aber die einzige Chance sein zu überleben.«

Die Züchtung der Tiere läge dann nicht mehr in den Händen der Forschungseinrichtungen, sondern bei Unternehmen. „Die Kosten für eine Schweineherztransplantation werden sich wahrscheinlich an mechanischen Herzunterstützungssystemen orientieren, also voraussichtlich im Bereich zwischen 80.000 und 150.000 Euro“, schätzt Wolf.

Dabei wird es nicht nur um Herzen gehen. „Theoretisch sind unsere Herzspender-schweine auch als Nierenspende geeignet“, sagt Wolf. Außerdem arbeiten die Forschenden des Moorversuchsguts bereits jetzt an Schweinen, die als Spender von Pankreasinseln zur Behandlung von Typ-1-Diabetes infrage kommen. Pankreasinseln sind Zellansammlungen in der Bauchspeicheldrüse, dem Pankreas, die die Höhe des Blutzuckers registrieren und Insulin herstellen. Bei Patienten mit Typ-1-Diabetes arbeiten diese Pankreasinseln nicht richtig.

Und schließlich wäre da noch die Frage der Verhältnismäßigkeit

All das sind denkbare Xenotransplantationen. „Weit mehr Patienten“, so betont Wolf, „profitieren aber am Ende von der Modellorganismus-Forschung.“ Nur mithilfe solcher Experimente ließen sich neue Therapie- oder Diagnoseansätze in die Klinik bringen. Wolf nennt als Beispiel Experimente an den Tieren mit Duchenne-Muskeldystrophie, an denen die Forschenden ein neues bildgebendes Diagnoseverfahren testeten. Der nicht-invasive Ansatz könnte den sechsinütigen Gehstest ersetzen, mit dem Ärzte standardmäßig das Fortschreiten von DMD und die Auswirkungen einer Behandlung überwachen. Bei der neuen Methode ist das Ergebnis nicht abhängig von der Motivation der

Betroffenen und ihrer verbleibenden Gehfähigkeit.

Bei allen Erfolgen: Was ist mit der Kritik von Tierschützern? Die erreiche ihn selten, sagt der Tiermediziner. Man habe ja nichts zu verbergen und sei sehr transparent. „Es darf natürlich kein einziger unnötiger Tierversuch stattfinden – und die Experimente dürfen nur von Experten gemacht werden, die dafür ausgebildet sind“, mahnt er. Nur so sei sichergestellt, dass unnötiges Leiden wirklich vermieden werde. Auch der deutsche Ethikrat forderte schon 2011 – wie bei allen Tierversuchen – „eine artgerechte Haltung der Versuchstiere und die Vermeidung von Schmerzen infolge des Einbringens eines menschlichen Gens“. Gegen eine Genmanipulation an Tieren zu Versuchszwecken hat das in dieser Frage maßgebliche Gremium nichts Prinzipielles einzuwenden.

Wolf präzisiert hier seinen Ansatz: „Wenn ein Schwein einem Menschen das Leben rettet, dann ist das Schweineleben gut investiert.“ Nicht jeder sieht das so. Der Verein „Ärzte gegen Tierversuche“ etwa spricht sich gegen jegliche tierischen Experimente aus. „Es gibt de facto kein Medikament, das ohne Tierversuche in die Klinik gekommen ist“, widerspricht Wolf. Und schließlich wäre da noch die Frage der Verhältnismäßigkeit: „Seit Jahrzehnten werden in Deutschland rund fünfzig Millionen Schweine pro Jahr für

die Fleischproduktion geschlachtet. Nur wenige tausend werden im gleichen Zeitraum zu wichtigen Versuchszwecken eingesetzt“, argumentiert Wolf.

Auf dem Moorversuchsgut haben die Schweine anders als in der Massentierhaltung vergleichsweise viel Platz und können sich in der Gruppe frei bewegen, zeigt Wolf. Ins Freie dürfen die Tiere allerdings nicht, die Stallungen sind vollständig geschlossen und zusätzlich von einem weitläufigen Zaun umgeben, damit Wildschweine dem Gebäude nicht zu nahekommen. An frischer Luft besteht immer das Risiko, dass sich die Schweine mit Krankheitserregern infizieren. Und das wäre verheerend, im schlimmsten Fall könnte es viel Geld und die Arbeit von Jahrzehnten zunichte machen.

Prof. Dr. med. vet. Eckhard Wolf ist Inhaber des Lehrstuhls für Molekulare Tierzucht und Biotechnologie am Genzentrum und am Veterinärwissenschaftlichen Department der LMU. Wolf, Jahrgang 1963, studierte Tiermedizin an der LMU; Promotion ebenfalls dort. Er war Postdoktorand zunächst am Institut für Tierzucht der LMU, dann Arbeitsgruppenleiter an der Veterinärmedizinischen Universität Wien, wo er sich auch habilitierte, bevor er im Jahr 1995 als Professor an die LMU zurückkam. Wolf ist Direktor des Centers for Innovative Medical Models (CiMM) an der LMU und Sprecher des DFG-finanzierten Sonderforschungsbereiches „Biologie der xenogenen Zell- und Organtransplantation – vom Labor in die Klinik“.



Büchertisch

Ein wichtiges Datum der imperialen Erzählung: der „Tag des Sieges“ über Nazideutschland im Zweiten Weltkrieg. Militärparade auf dem Roten Platz in Moskau, 9. Mai 2022. Shamil Zhumatov/REUTERS/Picture Alliance

Imperiales Mindset



Seit mehr als einem Jahr fragt sich die Welt, warum Putins Russland seinen Vernichtungskrieg gegen die Ukraine führt. Das Entsetzen sitzt tief, und schon angesichts der Gräueltaten sind plausible Erklärungen schwer zu finden. Zu irritierend ist die mit Hass, Mythen und Obsessionen

aufgeladene Propagandaschlacht, mit der sich die Aggressoren ins Recht zu setzen versuchen. Martin Schulze Wessel, Osteuropahistoriker an der LMU, sucht die Erklärung für Putins Politik denn auch nicht in der gegenwartszentrierten Sicht auf eine Logik des Machterhalts. Russland stehe, so sagt Schulze Wessel, heute nicht nur „im Banne eines Diktators“, sondern auch einer – weithin unbewältigten und im Westen unverstandenen – imperialen Tradition aus dem 18. und 19. Jahrhundert.

Schulze Wessel spricht von einem „Fluch des Imperiums“ und so nennt er auch sein Buch. Er zeichnet darin drei Jahrhunderte russischer Geschichte nach –

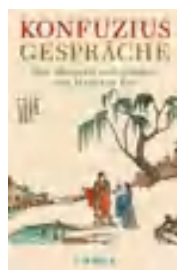
die Geschichte einer fatalen Kontinuität. Als eine solche „Pfadabhängigkeit“ möchte der Historiker das Wort „Fluch“ auch verstanden wissen. Die allmähliche Entwicklung zu einer imperialen Politik beginnt für Schulze Wessel mit der Herrschaft des Zaren Peter I. und dessen Expansionspolitik und Großmachtstreben. Dieser Prozess hat sich verselbständigt und eine Kultur geschaffen, ein imperiales Mindset, in dem sich eine Nation nur noch als *imperiale* Nation denken lässt und in der es völlig selbstverständlich ist, dass die Ukraine dazugehört – und kein eigenständiges historisches Subjekt sein kann. Daraus speist sich Putins Retroprojekt, Russland wieder groß zu machen.



Schulze Wessel erzählt von den engen Verkettungen der Geschichte Russlands mit der Polens und der Ukraine, von Annexionen und Teilungen, von Zweckbündnissen und Interessenkongruenzen mit Preußen und Habsburg und einem schon seit dem 19. Jahrhundert währenden ideologisch aufgeladenen Ost-West-Konflikt. Und indem Martin Schulze Wessel die historischen Entwicklungen um „die Ukraine, Polen und den Irrweg in der russischen Geschichte“, wie es im Untertitel heißt, minutiös analysiert, zeigt er Russlands Identitätsproblem und entlarvt die Irrationalitäten Putinscher Geschichtsklitterung. (math)

Martin Schulze Wessel: Der Fluch des Imperiums. Verlag C.H. Beck, München 2023, 352 Seiten, 28 Euro

Konfuzius im Kontext



An inspirierenden Zitaten des großen chinesischen Meisters mangelt es nicht. Sie tauchen in politischen Reden auf, in literarischen Vorwörtern und auf Aphorismen-Seiten im Netz. Die meisten davon sind frei erfunden. Oder durch die Flüsterpost der Jahrhunderte so verwässert und zurechtgebogen, dass man heutzutage eigentlich so gut wie alles hinter die Worte „Konfuzius sagt:“ schreiben kann. „In China würde man die meisten Sprüche wohl nicht wiedererkennen“, sagt Hans van Ess. Der Sinologe hat die wichtigste Quelle, die *Gespräche* des Konfuzius neu in die deutsche Sprache übersetzt. In seiner Version will er so nah am Originaltext bleiben, wie möglich – ohne abendländische Färbungen, wie sie bisherigen Übersetzungen anhaften. „Man muss“, so sagt van Ess, „den Kontext verstehen und erklären, warum man etwas so und nicht anders übersetzt.“ Der deutsche Text ist daher gespickt mit Kommentaren, mit denen der Leser tiefer in die wahre Welt des Konfuzius eintauchen kann. Außerdem seien die *Gespräche* keine wahllose Ansammlung einzelner Sprüche, sondern ein komplexes, durchkomponiertes Werk. So weiß man am Ende nicht nur, was Konfuzius sagt, sondern versteht bestenfalls sogar, was er damit meinte. (doa)

Konfuzius: Gespräche. Neu übersetzt und kommentiert von Hans van Ess. C.H. Beck, München 2023, 816 Seiten, 48 Euro

Wer schreibt, der bleibt



Jesus sprach Aramäisch. Wichtige Teile des Alten Testament sind in dieser „Weltsprache des Altertums“ geschrieben, wie Holger Gzella, Ordinarius für Alttestamentliche Theologie an der LMU, sie nennt. Sie war mehr als zwei Jahrtausende lang die Sprache in den ersten Weltreichen der Geschichte, im Assyrischen Reich oder im Babylonischen Reich, sie war Amtssprache des persischen Großreichs. Bis hin zur Entstehung des Islam dominierte sie die Welt. Erst im 7. Jahrhundert n. Chr. wurde sie durch das Arabische, die Sprache des Korans, als vorherrschende Sprache im Vorderen Orient abgelöst. Gzella zeichnet in seinem Buch „Aramäisch“ aber nicht nur geschickt nach, wie Schrift und Macht verwoben waren, wie Netzwerke von Beamten und Schreibern in den frühen Reichen Politik, Recht und Religion der Alten Welt prägten. Er erzählt auch, warum eine neue Sprache und ihre Schrift für eine neu entstehende Welt mit ihren Hierarchien und Einflussphären so wichtig waren und wie es sich im Raum zwischen Nordafrika und Indien durchsetzen konnte. Aramäisch ebnete den Weg für die späteren Alphabetsprachen. Und wer denkt, er habe es mit einer toten Sprache zu tun, irrt. Noch heute sprechen rund eine Million Menschen Weiterentwicklung der einstigen Weltsprache. (huf)

Holger Gzella: Aramäisch. Weltsprache des Altertums. Verlag C.H. Beck, München 2023, 480 Seiten, 36 Euro



Pflanzen im Klimastress: vertrockneter Mais, Brandenburg, Anfang September 2022. Foto: Sascha Steinach/ZB/Picture Alliance

Die Zukunftsfrage

Können sich unsere Pflanzen auf den Klimawandel einstellen?

Marianela Fader, Professorin für physische Geographie und Nexus-Forschung an der LMU: „Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Pflanzenwelt sind keine Sache der Zukunft, es gibt sie schon jetzt. Pflanzenarten sterben aus, und zwar zu einer höheren Rate, als dies natürlicherweise geschehen würde, nicht nur durch klimatische Einflüsse, auch durch Entwaldung, Urbanisierung, Umweltverschmutzung und die Einfuhr invasiver Arten. In der Landwirtschaft beobachten wir vermehrt klimawandelbedingte Ertragseinbußen und Zerstörung von Ernten durch Dürren, Überflutungen und Stürme. Der Mensch kann die Anpassung der Ökosysteme fördern, indem man naturbasierte Lösungen präferiert. Beispiele dafür wären chemiearme, biodiversitätsreiche Landwirtschaftssysteme. Die Anpassungsfähigkeit vom Mensch und Natur hat jedoch Grenzen, Klimawandelmitigation ist in vielen Fällen effektiver.“

Dario Leister, Professor für Botanik an der LMU: „Vor einigen Jahren hätte manch einer diese Frage noch mit einem Schulterzucken beantwortet und darauf hingewiesen, dass wir schon immer abwechselnd Eis- und Warmzeiten hatten, dass die Temperaturen innerhalb eines Tages um 20 Grad Celsius schwanken können und dass Pflanzen daher daran gewöhnt sind. Heute wissen wir es besser. Klimazonen verschieben sich so schnell, dass die Pflanzenwelt nicht mitkommt. Die Erwärmung trifft nicht nur die ursprünglichen Ökosysteme, sondern auch die vom Menschen geprägten. Die Erwärmung hat auch indirekte Auswirkungen wie Wasserknappheit oder vermehrten Schädlingsbefall. In Einzelfällen wie etwa im Weinbau kann der Klimawandel für manche Regionen sogar vorteilhaft sein, aber generell wird er uns in der Landwirtschaft vor große Herausforderungen stellen.“

Lesen Sie im nächsten Heft ein ausführliches Gespräch zur Klimaanpassung von Pflanzen.

Impressum

Herausgeber

Präsidium der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München

Konzept und Redaktion

Kommunikation & Presse LMU
Claudia Russo (verantwortlich)
Martin Thureau (Redaktionsleitung)
Hubert Filser (freier Redakteur/Online)
Christine Meyer (freie Grafikerin)

Autorinnen und Autoren dieser Ausgabe

Dominic Anders (doa), Maximilian Burkhart,

Janosch Deeg, Claudia Doyle, Hubert Filser (huf),
Monika Gödde (göd), Bernd Graff, Nikolaus
Nützel, Andreas Schuck, Martin Thureau (math),
Felicita Wilke

Auflage

6.000 Exemplare

Erscheinungsweise

halbjährlich

Druck

Kriechbaumer Druck GmbH & Co. KG, München
Einsichten. Das Forschungsmagazin wird auf
Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft gedruckt.

Distribution

Mathias Schiener

Redaktionsadresse

Geschwister-Scholl-Platz 1
80539 München
Tel.: 089 2180-3808
E-Mail: Einsichten@lmu.de

www.lmu.de/einsichten

Unter dieser Adresse können Sie
Einsichten. Das Forschungsmagazin
auch kostenlos abonnieren.