

# munDO



## Künstlich

### Volle Kompetenz

Die Informatikerin Prof. Katharina Morik koordiniert bundesweit vier Kompetenzzentren für Maschinelles Lernen.

Seite 8

### Gute Interaktion

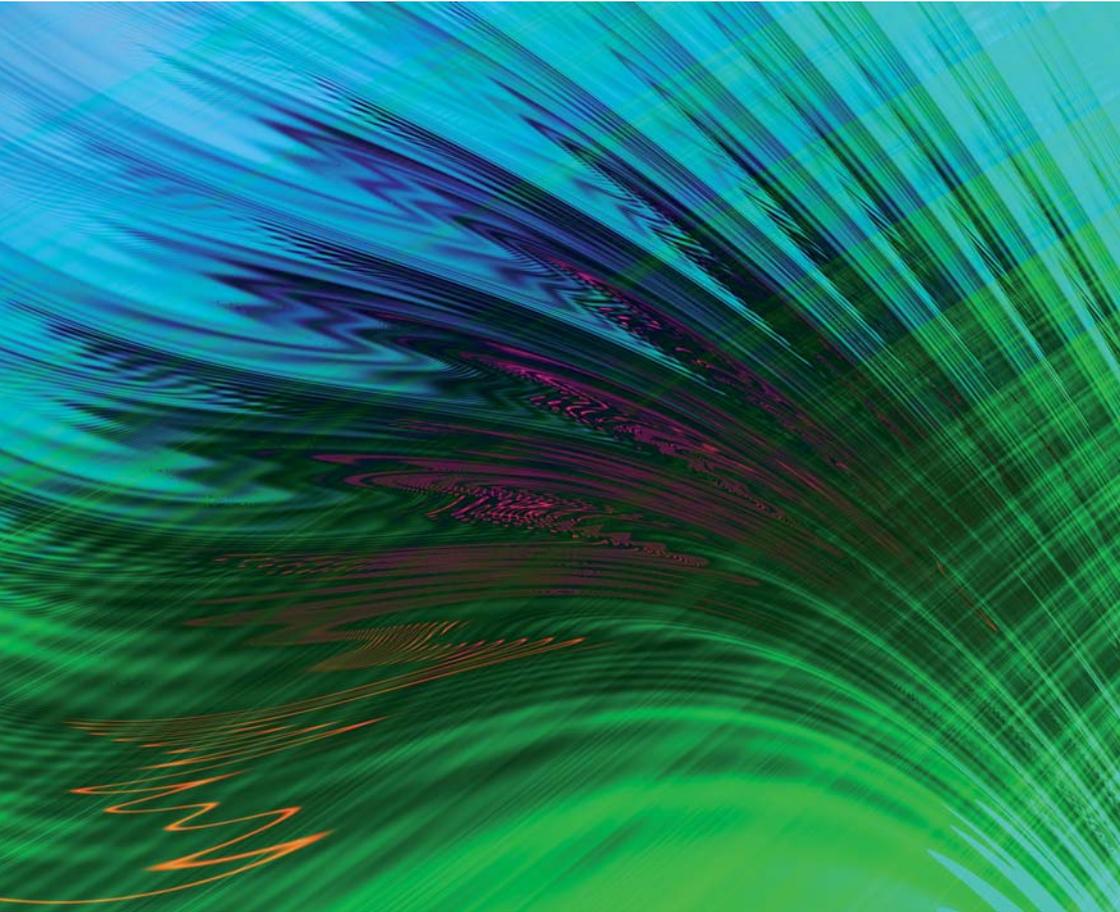
Prof. Johannes Weyer erforscht das Zusammenspiel von Mensch und Maschine beim automatisierten Fahren.

Seite 28

### Runde Sache

Prof. Henrike Haug erklärt, wie sich die Darstellung der Welt mittels Globen über die Jahrhunderte verändert hat.

Seite 34



Liebe Leserin, lieber Leser,

das Oberthema dieser mundo lautet „Künstlich“. Damit schließen wir an das Thema des Wissenschaftsjahres 2019 „Künstliche Intelligenz“ an, öffnen die Ausgabe aber auch für weitere Themen aus den Rehabilitationswissenschaften, der Kunstgeschichte und der Musikwissenschaft.

Der erste Teil dieser mundo widmet sich der Künstlichen Intelligenz (KI). Systeme und Anwendungen, die auf KI basieren, sind schon heute vielfach Bestandteil unseres Lebens: Industrieroboter, die schwere oder monotone Arbeiten übernehmen, oder smarte Computer, die in kurzer Zeit riesige Datenmengen verarbeiten können – und damit für die Forschung unverzichtbar sind. Ganz abgesehen von virtuellen Assistenzsystemen, die zu unseren alltäglichen Begleitern geworden sind.

Mit Prof. Katharina Morik haben wir eine Pionierin der KI und des Maschinellen Lernens an unserer Universität. Sie spricht im mundo-Interview über aktuelle Forschungsfelder und gesellschaftliche Herausforderungen. Wie man Maschinelles Lernen effizienter macht, zeigt der Beitrag über die Forschung des Informatikers Dr. Nico Piatkowski.

In welchen Bereichen KI zum Einsatz kommt, präsentieren Prof. Michael ten Hoppel für die Logistik und Prof. Paul Czodrowski für die Chemische Biologie. Prof. Johannes Weyer beschäftigt sich als Techniksoziologe mit der Verständigung

zwischen künstlicher und menschlicher Intelligenz am Beispiel des automatisierten Fahrens.

Der zweite Teil dieser mundo beleuchtet das Titelthema „Künstlich“ von einer anderen Perspektive. Die Kunsthistorikerin JProf. Henrike Haug beschäftigt sich mit *künstlichen Welten*: Sie erforscht die Geschichte von Globen und anderen Darstellungsformen der wirklichen Welt. Als *künstliche Helfer* kommen Roboter im Deutschen Rettungsrobotik-Zentrum zum Einsatz: Der Elektrotechniker Prof. Christian Wietfeld bringt hier seine Expertise auf dem Gebiet der drahtlosen Vernetzung ein.

*Künstliche Hilfsmittel* können sich Menschen mit Behinderungen in einer inklusiven Werkstatt am 3D-Drucker erstellen. JProf. Ingo Bosse und Dr. Bastian Pelka haben den sogenannten „Makerspace“ eingerichtet, um moderne Technologie für alle Menschen zugänglich zu machen. Aus der Musikwissenschaft bewegen sich Prof. Eva-Maria Houben und Prof. Günther Rötter im Spannungsfeld von natürlicher und *künstlicher Musik*. Denn Musik lässt sich heute nicht nur mit klassischen Instrumenten erzeugen, sondern auch mit Computern. Diese können natürliche Klänge verändern, synthetische Töne erzeugen und sogar eigene Kompositionen schaffen.

Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre!

Prof. Gabriele Sadowski, Prorektorin Forschung

Dortmund, Juni 2019



# In dieser Ausgabe

news ... news ... news

Seite 6

## Titelthema

### Künstliche Intelligenz

#### Pionierin des Maschinellen Lernens

Prof. Katharina Morik spricht im mundo-Interview über Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen und aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen.

Seite 8

#### Die Zukunft ist energieeffizient

Dr. Nico Piatkowski entwickelt Lösungen der Künstlichen Intelligenz, die auf kleinen Rechnern laufen, wenige Ressourcen verbrauchen – und trotzdem gute Ergebnisse bringen.

Seite 12

#### Die Logistik vor einer Zeitenwende

Die Logistik erlebt eine Zeitenwende, wie sie grundsätzlich nicht sein könnte. Die Digitalisierung von allem und die Künstliche Intelligenz in allem wird alles ändern, sagt Prof. Michael ten Hompel.

Seite 18

#### Ein „Best-of“ aus zwei Welten

Zwei Taktgeber bestimmen die Arbeit von Prof. Paul Czodrowski: Chemie und Informatik. Er verbindet Wirkstoff-forschung mit Künstlicher Intelligenz. Ein Porträt über den Forscher und Musikliebhaber.

Seite 24

#### Mensch, dein Auto!

Der Techniksoziologe Prof. Johannes Weyer begleitet Mensch und Auto auf dem Weg in die schöne neue Welt des automatisierten Fahrens.

Seite 28

## mundorama

### Gründungen aus der Wissenschaft

Neue Flexibilität beim 3D-Druck

Seite 58

### Wissenschaft für Kinder – minimundo

Unser Essen – auch ein Geschäft?

Seite 60

## Künstlich

### Die Erde ist keine Scheibe

JProf. Henrike Haug forscht zu künstlichen Welten – zu Globen, die schon seit Jahrhunderten eine Vorstellung vom Planeten Erde vermitteln.

Seite 34

### Retter in der Not

Prof. Christian Wietfeld arbeitet im Deutschen Rettungsrobotik-Zentrum, in dem Partner aus Forschung und Industrie sowie Einsatzkräfte mobile Robotersysteme für die zivile Gefahrenabwehr entwickeln.

Seite 40

### Künstlicher Händedruck

JProf. Ingo Bosse und Dr. Bastian Pelka haben gemeinsam mit der AWO Dortmunds erste inklusive Werkstatt eingerichtet. Dort können Menschen mit Behinderungen selbst 3D-Drucker nutzen, um individuelle Hilfsmittel herzustellen.

Seite 46

### Musikalische Grenzgänge

Musik lässt sich nicht nur mit klassischen Instrumenten erzeugen, sondern auch mit Computern. Was das für Musizierende und für unsere Hörgewohnheiten bedeutet, damit setzen sich Prof. Eva-Maria Houben und Prof. Günther Rötter auseinander.

Seite 52

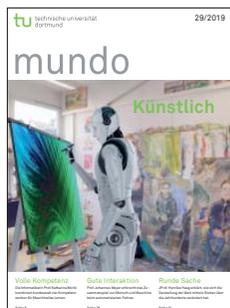
### Campus und Köpfe

Neue Professorinnen und Professoren

Seite 62

### Ehrungen und Preise

Seite 66



## Impressum

mundo – das Forschungsmagazin der Technischen Universität Dortmund

Herausgeber: TU Dortmund, Referat Hochschulkommunikation, 44221 Dortmund

Chefredaktion: Lena Reil

Kontakt zur Redaktion: Tel. 0231/755-5449, Mail: redaktion.mundo@tu-dortmund.de

Vi.i.S.d.P.: Eva Prost, Tel. 0231/755-2535, Mail: eva.prost@tu-dortmund.de

Redaktionelle Mitarbeit: Elena Bernard, Lisa Burgardt, Claudia Pejas, Katrin Pinetzki, Susanne Riese, Martin Rothenberg, Livia Rüger, Anna-Christina Senske, Lisa Tüch (mini-mundo), Birte Vierjahn

Layout und Bildredaktion: Gabriele Scholz

Wissenschaftlicher Beirat: Prof. Michael Henke, Prof. Nele McElvany, Prof. Henrik Müller, Prof. Christiane Pott, Prof. Daniel Rauh, Prof. Gabriele Sadowski, Prof. Matthias Schneider, Prof. Petra Wiederkehr

Druck: Koffler DruckManagement GmbH

Erscheinungsweise: zweimal jährlich



## „Initialzündung“ mit Chemie-Nobelpreisträgerin



Mehr als 950 Interessierte erlebten im Mai den Vortrag von Chemie-Nobelpreisträgerin Prof. Frances Arnold. Die US-Amerikanerin eröffnete die neue Vortragsreihe „Initialzündung“ an der TU Dortmund. Im Rahmen der neuen Vortragsreihe lädt die Universität renommierte Wissenschaftlerinnen

und Wissenschaftler aus aller Welt an die TU Dortmund ein. Prof. Frances Arnold war für ihren Vortrag extra aus den USA angereist. Sie referierte zum Thema „Innovation by Evolution: Expanding the Protein Universe“.

Für ihre Arbeit auf dem Gebiet der Antikörper- und Enzymforschung erhielt Frances Arnold 2018 den Nobelpreis in Chemie. Aus Antikörpern werden Medikamente gegen Krebs oder Autoimmunerkrankungen hergestellt, Enzyme starten und beschleunigen chemische Reaktionen. Arnold konnte die Leistung von Enzymen verbessern oder Enzyme sogar derart modifizieren, dass sie chemische Reaktionen auslösen oder Stoffe herstellen, die es in der Natur nicht gibt. Der Vorteil dieser Enzyme ist, dass sie sauberer, energieeffizienter und preiswerter sind als herkömmliche chemische Prozesse.

Mit ihrem Vortrag wurden die Jubilee Lecture Series anlässlich des 50-jährigen Bestehens der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen beendet und gleichzeitig die neue Vortragsreihe „Initialzündung“ der TU Dortmund eröffnet.



### Dirk Biermann

Prof. Dirk Biermann ist es gelungen, die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) von der Einrichtung eines neuen Schwerpunktprogramms an der TU Dortmund zu überzeugen. Sein Antrag setzte sich unter 50 Initiativen durch: „FLUSIMPRO“ wird ab 2020 für sechs Jahre gefördert. Rund 20 interdisziplinäre Teilprojekte mit einem Gesamtvolumen von rund 2,3 Millionen Euro pro Jahr sollen ein aktuelles Forschungsgebiet untersuchen: die Rolle von Flüssigkeiten in Produktionsprozessen. Es sollen fundamentale Erkenntnisse gewonnen und Optimierungen – etwa in Bezug auf die Minimierung von Fluidmengen – realisiert werden.

## Treffen in Dortmund



Im Juni trafen sich an der TU Dortmund erstmals Vertreterinnen und Vertreter aller durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Machine-Learning-Projekte in Deutschland sowie Expertinnen und Experten aus Industrie, Wirtschaft und Wissenschaft zu einer gemeinsamen Tagung. Organisiert wurde diese vom Kompetenzzentrum Maschinelles Lernen Rhein-Ruhr (ML2R).

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Industrie, Privatwirtschaft und Wissenschaft nutzten die Gelegenheit, sich auszutauschen und untereinander zu vernetzen. In rund 30 Vorträgen wurden die vielfältigen Anwendungsbereiche des Maschinellen Lernens deutlich – von Logistik, Transport und Produktion, über Meteorologie, Biologie und ein breites medizinisches Anwendungsfeld bis hin zu Windkraftanlagen und Datensicherheit in Unternehmen. Prof. Katharina Morik von der TU Dortmund, eine Sprecherin des ML2R, präsentierte einige der aktuellen Herausforderungen für das Maschinelle Lernen.

## Sicherheit

Der entscheidende Schritt zur Gründung des Max-Planck-Instituts für Cybersicherheit und Schutz der Privatsphäre in Nordrhein-Westfalen ist getan: Die Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK) hat den Plänen zur Einrichtung des Instituts in Bochum zugestimmt.

Die TU Dortmund und die Ruhr-Universität Bochum haben das Institut gemeinsam eingeworben: Die TU Dortmund bietet große Expertise im Bereich der Informatik. Die Dortmunder Fakultät für Informatik war eine der ersten universitären Informatik-einrichtungen in Deutschland und gehört heute bundesweit zu den größten Informatik-Fakultäten. Damit bietet sie ein fachliches Spektrum der Informatik an, das nur wenige Standorte in Deutschland aufweisen.

Schwerpunkt des neuen Max-Planck-Instituts wird die Grundlagenforschung auf internationalem Spitzenniveau zu Cybersicherheit, Kryptografie, IT-Systemsicherheit und zu rechtlichen, ökonomischen und sozialen Aspekten von Sicherheit und Privatsphäre sein.



## 20 Millionen Euro für Exzellenz Start-up Center

Anfang des Jahres erhielt die TU Dortmund den Zuschlag als „Exzellenz Start-up Center“ vom Land NRW. Über fünf Jahre fließen rund 20 Millionen Euro, damit die Universität die Anzahl und Qualität innovativer Ausgründungen steigern und den Start-ups optimal unter die Arme greifen kann. NRW-Wirtschaftsminister Andreas Pinkwart (r.) gratulierte TU-Kanzler Albrecht Ehlers (2.v.r.) und Prof. Andreas Liening (4.v.l.) zum Erfolg. Bereits in den 1980er-Jahren hat die TU Dortmund den benachbarten Technologiepark mitinitiiert. 2005 wurde die Professur für Entrepreneurship und Ökonomische Bildung geschaffen, 2012 die Start-up-Förderung mit „tu>startup“ systematisch in der Hochschule verankert. 2017 wurde mit dem Centrum für Entrepreneurship & Transfer (CET) eine zentrale Einrichtung für die Gründungsförderung und den Technologie- und Wissenstransfer geschaffen. Die Themen Transfer und Entrepreneurship sollen sich künftig als dritte Säule neben Forschung und Lehre etablieren.

## Regionale Ungleichheit und Wirtschaftspolitik

Regionale Ungleichheiten, etwa bei Einkommen oder Beschäftigung, sind ausgeprägt und dauerhaft. Warum gleichen sich die Lebensverhältnisse in den Regionen nicht an? Welche Mechanismen verhindern das und welche wirtschaftspolitischen Folgerungen lassen sich daraus ableiten? Diesen Fragen widmen sich Doktorandinnen und Doktoranden in der Universitätsallianz Ruhr im neuen Graduiertenkolleg „Regionale Ungleichheit und Wirtschaftspolitik“. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert das Kolleg an der Universitätsallianz Ruhr (UA Ruhr) ab der zweiten Jahreshälfte 2019 für zunächst viereinhalb Jahre mit 3,6 Millionen Euro.

Regionale Wirtschaftsstrukturen unterscheiden sich in wichtigen Punkten von der Gesamtstruktur einer Volkswirtschaft, sodass Erkenntnisse aus Länderstudien nicht direkt auf die regionale Ebene übertragen werden können. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden im Kolleg neue methodische Entwicklungen in der Regionalökonomik nutzen, um solche Fragen zu klären.



Ökonomen aus unterschiedlichen Bereichen wie etwa Arbeitsmärkte, Finanzwissenschaft und Makroökonomik bringen ihr Wissen ein. „Damit bieten wir ein exzellentes akademisches Lernumfeld für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler“, betont Prof. Christiane Hellmanzik. Sie ist gemeinsam mit Prof. Philip Jung von der TU Dortmund an dem Kolleg beteiligt.

## Interview

# Pionierin des Maschinellen Lernens

Prof. Katharina Morik spricht im mundo-Interview über Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen und aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen.

Prof. Katharina Morik gilt als Pionierin des Maschinellen Lernens (ML), die bereits zu Künstlicher Intelligenz (KI) forschte, bevor dieser Begriff seine heutige Verbreitung fand. Die Informatikerin wurde 1981 an der Universität Hamburg promoviert und 1988 an der TU Berlin habilitiert. Bereits 1988 gründete sie die Fachgruppe für Maschinelles Lernen in der Gesellschaft für Informatik.

Katharina Morik ist seit 1991 Professorin an der TU Dortmund, wo sie an der Fakultät für Informatik den Bereich Künstliche Intelligenz aufbaute. 2011 warb sie den Sonderforschungsbereich 876 „Verfügbarkeit von Information durch Analyse unter Ressourcenbeschränkung“ ein, dessen Sprecherin sie ist. Katharina Morik ist seit 2018 außerdem Sprecherin des neuen „Kompetenzzentrums Maschinelles Lernen Rhein-Ruhr“ (ML2R), das das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert. Im Auftrag der Bundesregierung koordiniert sie alle vier Kompetenzzentren in Deutschland.

Die Wissenschaftlerin hat an zahlreichen europäischen Forschungsprojekten mitgewirkt. Außerdem fördert sie den Transfer in die Praxis: Die prominenteste Ausgründung aus ihrem Bereich ist die Firma RapidMiner, die seit Gründung im Jahr 2007 auf 100 Beschäftigte weltweit gewachsen ist. Das Unternehmen bietet frei verfügbare Software für Maschinelles Lernen und Data Mining an.

**Frau Morik, KI ist heute ein absolutes Schlagwort. Beinahe täglich finden wir Berichterstattung darüber in den großen Tageszeitungen. Worum geht es genau, wenn wir über Künstliche Intelligenz sprechen?**

Es geht ganz einfach um die Fähigkeit eines Computers, eine Aufgabe zu lösen. Und zwar eine Aufgabe, deren Lösung von einem Menschen Intelligenz erfordern würde.

**Das hört sich nach einer recht simplen Definition von KI an. Worin besteht der Unterschied zur menschlichen Intelligenz?**

Diese Einfachheit ist ja das Schöne an der Definition. Ich kann sie am Beispiel Schachspiel verdeutlichen: Einen Menschen, der besonders gut Schach spielen kann, würden wir als intelligent bezeichnen. Gleiches gilt für den intelligenten Computer: Er ist in der Lage, das Schachspiel als komplexe Aufgabe zu lösen. Jetzt kommt der Unterschied: Wir gehen bei einem Schach spielenden Menschen davon aus, dass er auch andere Aufgaben lösen kann – zum Beispiel sprechen, schreiben oder gar musizieren. Das liegt daran, dass wir den Menschen immer als Ganzes betrachten, als intelligentes Wesen. Viele denken das fälschlicherweise auch vom Computer: Wenn der so intelligent ist, dass er Schach spielen kann, dann kann er doch bestimmt auch all die untergeordneten Fähigkeiten, die ein Mensch auf dem Weg zum Schachweltmeister lernen würde. Achtung: Das kann er nicht. Der kann einfach nur super

gut Schach spielen. Die Intelligenz des Computers besteht einzig darin, diese eine Aufgabe zu lösen. Er ist kein intelligentes Wesen. Das ist mir sehr wichtig, weil diese Annahme immer wieder zu Missverständnissen führt.

**Meinen Sie damit Horrorszenarien wie die „Versetzung von Maschinen, die sich unserer Kontrolle entziehen“? Können Sie die Angst davor nehmen?**

Genau. Solche Szenarien basieren immer auf der falschen Vorstellung, Künstliche Intelligenz sei ein Wesen. Das ist sie nicht. Sobald man wirklich verstanden hat, dass Künstliche Intelligenz eine Fähigkeit ist, eine Aufgabe zu lösen, braucht man keine Angst vor ihr zu haben. Vor einer intelligenten Spritzgussmaschine, die ihre Teile ressourcenschonender produziert, muss niemand Angst haben. Auch Bücher und Filme, die solche Szenarien beschreiben, gehen von diesem falschen Begriff des Wesens aus. Die Robotergesetze von Isaac Asimov oder aber der Film *AI* von Steven Spielberg sind natürlich unterhaltsam – aber eben Fiktion.

**Bislang haben wir über Künstliche Intelligenz gesprochen. Der Computer kann neuerdings sogar noch mehr: Er kann lernen. Wie gehören Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen zusammen?**

Das mag jetzt für die Öffentlichkeit überraschend sein: Das Maschinelle Lernen ist kein neues Phänomen. Schon Alan Turing wusste in den 1940er-Jahren,



## In Kürze

### Die Vision

Künstliche Intelligenz kann uns eine bessere Zukunft bescheren: KI-Lösungen werden Produktionsprozesse optimieren, unsere Mobilität grundlegend verändern – und vor allem Ressourcen schonen.

### Die Herausforderung

In der Forschung sind wir in Deutschland bereits Weltklasse. Bei der Skalierung hapert es noch: Wir müssen mehr Nachwuchs ausbilden, der die Anwendung von KI in der Wirtschaft vorantreibt, fordert Prof. Katharina Morik.



Hoher politischer Besuch an der TU Dortmund: Prof. Katharina Morik begrüßte Anja Karliczek, Bundesministerin für Bildung und Forschung, im Juni 2018 (l.) und Isabel Pfeiffer-Poensgen, Ministerin für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, im Januar 2019 (r.).



Prof. Katharina Morik beim Expertengespräch über Künstliche Intelligenz mit Bundeskanzlerin Angela Merkel im Mai 2018 im Bundeskanzleramt.

dass man einen Computer nicht so programmieren kann, dass er ein hochkomplexes Problem löst. Wir können ihn aber lehren, diese Aufgabe zu lösen. Das kann er dann auch in aller Ruhe tun, im Gegensatz zu uns Menschen schläft er ja nicht.

#### Das heißt also, Maschinelles Lernen war von Anfang an Teil der Künstlichen Intelligenz?

Genau, das wurde nur in Deutschland nicht so gesehen. Deutschland hat lange Zeit einfach die „alte KI“ gefördert, also Künstliche Intelligenz ohne Lernen. Hierbei wurden zum Beispiel in der Produktion oder in der Telekommunikation tatsächlich alle Regeln von Hand geschrieben. Ich selbst habe auch am Anfang Regeln von Hand geschrieben. Das fand ich allerdings sehr mühsam, deswegen beschäftige ich mich seit nunmehr 36 Jahren mit Maschinellern Lernen: Ich schreibe also lieber den Algorithmus, der für mich arbeitet. Und sollte ich dann feststellen, dass etwas nicht funktioniert, schreibe ich halt einen Algorithmus, der das korrigiert. Man sieht also: Maschinelles Lernen optimiert Systeme. Und sobald man das verstanden hat, wird es richtig dynamisch: Schließlich ist Maschinelles Lernen auch nur ein System. Also können wir mit Maschinellern Lernen das Maschinelle Lernen verbessern. Irgendwann wird es sehr komplex und für die Anwenderin oder den Anwender nur schwer zu verstehen.

#### Im Kompetenzzentrum ML2R haben Sie sich deshalb zum Ziel gesetzt, Maschinelles Lernen für den Menschen verständlich zu machen. Wie soll das gehen?

Das stimmt grundsätzlich. Wir müssen daran arbeiten, das Maschinelle Lernen verständlicher zu machen. Allerdings ist dieser Anspruch eigentlich abwegig, denn dafür müssten ja jede Anwenderin und jeder Anwender mindestens vier Jahre Informatik studieren. Mir schwebt da etwas anderes vor: Wir machen es wie die Waschmaschinenhersteller. Es ist doch so: Ich verstehe meine Waschmaschine nicht, und das muss ich auch gar nicht. Es reicht doch völlig aus, dass ich weiß, dass sie wenig Energie und wenig Wasser verbraucht – und dass ich sie bedienen kann. Dafür hat die Textilindustrie diese kleinen Waschzettel in fast alle Kleidungsstücke eingenäht. Im Kompetenzzentrum wollen wir solche „Waschzettel“ für Algorithmen entwickeln. Diese sollen auf einen Blick zeigen, wie viel Energie und wie viel Speicher der Algorithmus verbraucht, ob er in Realzeit läuft, für welche Hardware er geeignet ist – und welche Garantien wir für ihn geben können.

#### Wo sollen die Algorithmen denn zum Einsatz kommen?

Wir befinden uns aktuell in der sogenannten vierten industriellen Revolution, die die Prozesse in der industriellen Produktion umfassend digitalisiert. Und

ich habe ja bereits geschildert, dass Maschinelles Lernen Prozesse verbessert. Es sollte also beinahe überall zum Einsatz kommen: natürlich in der Produktion, aber auch in der Medizin, in der Mobilität. Noch sind wir weit davon entfernt, aber wenn wir nicht dranbleiben, sind wir irgendwann international nicht mehr konkurrenzfähig. Andere Länder sind hier bereits ein ganzes Stück weiter als wir.

#### Deswegen hat die Bundesregierung im letzten Jahr die vier Kompetenzzentren für Maschinelles Lernen ins Leben gerufen. Das Ziel lautet, die Künstliche Intelligenz in Deutschland auf ein weltweit führendes Niveau zu bringen. Ist das aus Ihrer Sicht realistisch?

Auf diese Frage gibt es zwei Antworten: Erstens: Die Forschungsqualität, die einzelne, wenige Personen bringen, ist bereits auf weltweitem Spitzenniveau. Das kann man zum Beispiel daran festmachen, dass wir bei internationalen Top-Konferenzen stark vertreten sind. Wer hier veröffentlichen darf, hat zuvor einen knallharten, mehrstufigen Begutachtungsprozess durchlaufen. Zweitens, und jetzt kommt das Aber: Wir skalieren nicht. Das heißt, dass wir in der Masse nicht mithalten können. Es gibt in Deutschland einige wenige sehr gute Forscherinnen und Forscher, die Nachwuchs ausbilden. Ihre Kapazitäten sind aber begrenzt. Dabei brauchen wir nichts dringender als gut ausgebildeten

Nachwuchs – sowohl in der Forschung, als auch in der Lehre, und natürlich in den Unternehmen.

#### Wir treten also auf der Stelle?

Leider ja. Zum Vergleich: Die Eliteuniversitäten in den USA haben jeweils eine zweistellige Zahl an Professoren für Maschinelles Lernen. Aber auch Kanada und China investieren massiv und bilden den Nachwuchs aus, der dann die Digitalisierungsprozesse in der Wirtschaft umsetzen kann. Ich glaube, unsere Bundesregierung hat das verstanden – und ja auch bereits Investitionen zugesagt. Wenn wir nicht mehr Professuren für den Bereich haben, können wir den Bedarf im Gesundheitswesen, in der Produktion, im Verkehrswesen nicht decken. Und dann werden diese Bereiche schon bald im internationalen Wettbewerb nicht mehr mithalten können.

#### Es geht Ihnen also um die Wirtschaft, wenn Sie mehr KI-Professuren fordern?

Selbstverständlich. Und um die ganze Gesellschaft. Man meint vielleicht, eine Wissenschaftlerin oder ein Wissenschaftler denkt immer nur an die eigene Karriere. Das stimmt nicht. Wir wollen unseren Beitrag dazu leisten, dass die Wirtschaft auch noch unsere Einzelkinder ernähren kann – und zwar möglichst umweltfreundlich und ressourcenschonend. Dafür brauchen wir unbedingt Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen.

#### Woran forschen Sie aktuell?

Ein Beispiel für ein sehr heißes Forschungsfeld ist Counterfactual Reasoning, also kontrafaktische Argumentation, das uns auch im Kompetenzzentrum beschäftigt. Es geht hierbei im Groben darum, wie wir mit verzerrten Verteilungen umgehen. In der realen Anwendung in der Fabrik ist die verzerrte Verteilung die Ausgangssituation: In 99 Prozent der Fälle läuft alles gut, lediglich ein Prozent ist fehlerhaft. Wenn wir mit Maschinellern Lernen also die Prozesse besser machen wollen, müssen wir bei genau diesem einen Prozent ansetzen: Das fehlerhafte Teil frühzeitig erkennen, es direkt ausschleusen oder die Maschine nachregeln. Was das Ganze so schwierig macht: Viele dieser Fehler, vor allem die besonders schwerwiegenden, tauchen in den Daten nicht auf, unser Algorithmus kann nicht daraus lernen. Es stehen schließlich immer noch Menschen an den Maschinen, die eingreifen, bevor etwas wirklich Dramatisches passiert. Jetzt gilt es, beim Maschinellen Lernen Dinge zu berücksichtigen, die wir nicht sehen. Solche „Was-wäre-wenn“-Spiele stehen aktuell bei uns auf der Tagesordnung. Das ist sehr spannend und da ist viel zu tun.

#### Ein weiteres aktuelles Forschungsfeld ist das automatisierte Fahren. Was halten Sie davon?

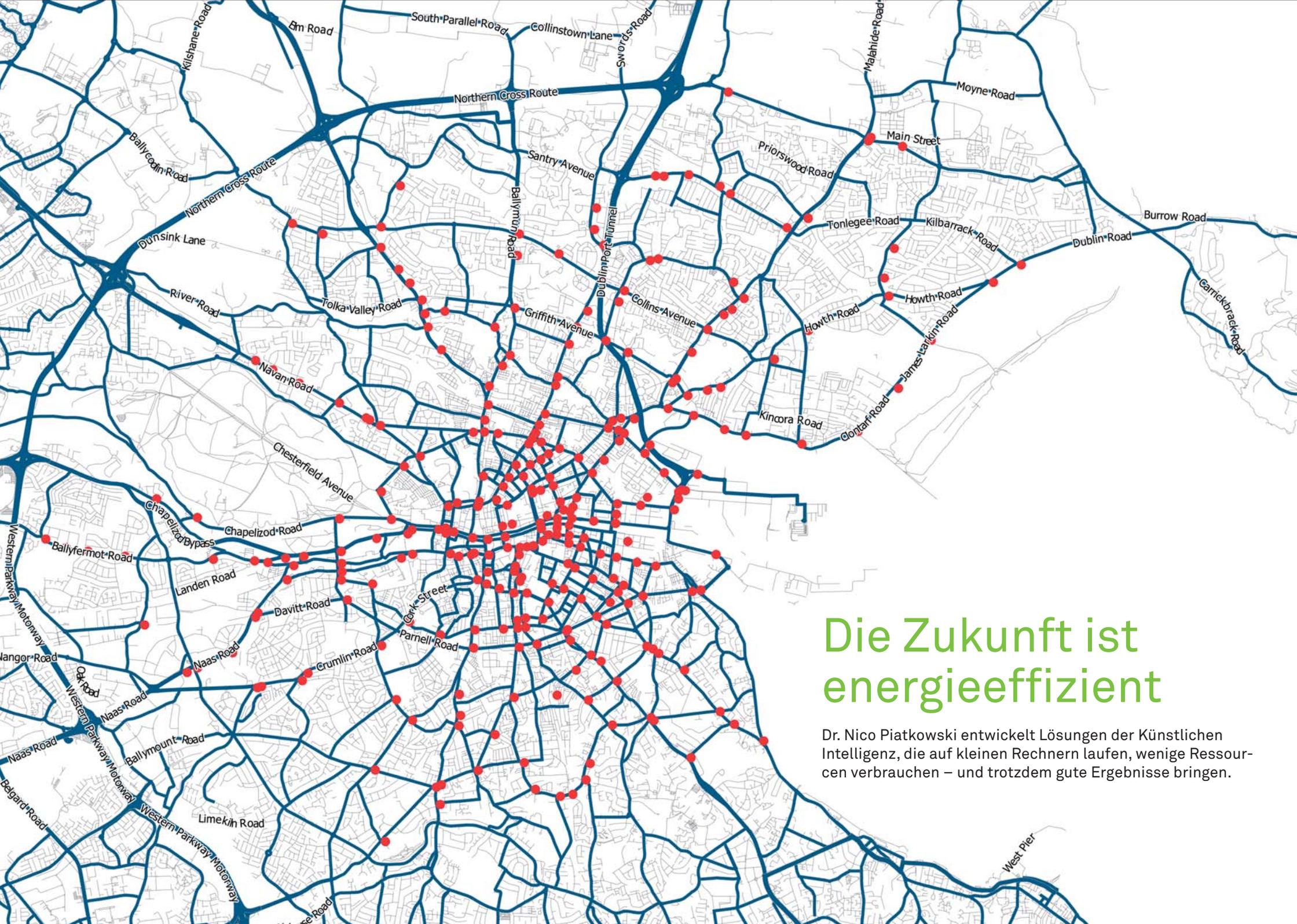
Automatisiertes Fahren ist ein spannendes Thema, aber nur ein kleiner Teil,

wenn wir über die Mobilität der Zukunft nachdenken. Im Ausschuss für moderne Mobilität der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) arbeiten wir an ganz neuen Konzepten. Mit Hilfe der Künstlichen Intelligenz – etwa einem intelligenten Car-Sharing – könnte man den Verkehr viel ressourcenschonender gestalten: Wir könnten die Anzahl der Autos drastisch reduzieren, sie nur bei Bedarf einsetzen und uns von dem Gedanken lösen, jeder Mensch müsste ein eigenes Auto besitzen. Das würde auch den öffentlichen Raum frei machen von parkenden Autos und die Flächen wieder nutzbar machen für Fahrräder und Fußgänger. Genau da liegt das Potenzial der Künstlichen Intelligenz für die Ressourcenschonung.

#### Sie sagen uns eine bessere Zukunft voraus, wenn wir auf Künstliche Intelligenz setzen. Gibt es denn auch etwas, worüber wir uns Sorgen machen sollten?

Leider ja, das hat allerdings nur entfernt mit KI zu tun. Ich erlebe es im Moment so, dass das Internet sich unserer Kontrolle immer mehr entzieht. Hier finden schlimmste Straftaten von Hetze bis Menschenhandel statt und die Polizei kriegt das nicht in den Griff. Und das ist etwas, was ich auch als Sorge teile. Wir haben in den 1970er-Jahren gedacht, das Internet stünde für Freiheit und Demokratie. Ich habe gehofft, dass die Möglichkeit der Vernetzung zu Frieden führt. Wir haben jedoch in den sozialen Medien gesehen, dass ein Lernverfahren, das sich nach der vorhandenen Datenlage richtet, ein Hassroboter wird. Das ist durch Maschinelles Lernen deutlich geworden, dafür kann aber das Maschinelle Lernen nichts. Ich glaube nicht, dass die Mehrheit der Menschen Nazis und Rassisten sind, aber in den sozialen Medien wird furchtbar viel Hass und Hetze verbreitet. Herauszufinden, warum das so ist und was wir dagegen tun können, ist eine Aufgabe, die über die Künstliche Intelligenz hinausgeht.

Lena Reil



# Die Zukunft ist energieeffizient

Dr. Nico Piatkowski entwickelt Lösungen der Künstlichen Intelligenz, die auf kleinen Rechnern laufen, wenige Ressourcen verbrauchen – und trotzdem gute Ergebnisse bringen.

**In Kürze**

**Das Problem**

Maschinelles Lernen braucht in der Regel viel Speicher und Energie. Der hohe Ressourcenbedarf macht die Anwendung solcher Lösungen in vielen Bereichen unmöglich.

**Der Lösungsweg**

Dr. Nico Piatkowski entwickelt Verfahren, die weniger Ressourcen verbrauchen und trotzdem gute Ergebnisse liefern. Diese können dann auch auf kleinen Rechnern laufen.



Dr. Nico Piatkowski ist als Wissenschaftler im Bereich Künstliche Intelligenz der Fakultät für Informatik und am Kompetenzzentrum Maschinelles Lernen Rhein-Ruhr (ML2R) tätig. Der gebürtige Dortmunder studierte Wirtschaftswissenschaften und Informatik an der TU Dortmund. Durch seine studentische Tätigkeit lernte er die Arbeit auf diesem Gebiet näher kennen und war anschließend wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 876 „Verfügbarkeit von Information durch Analyse unter Ressourcenbeschränkung“ tätig. Im Rahmen dieser Forschung schloss er seine Promotion zum Thema „Exponential Families on Resource-Constrained Systems“ mit Auszeichnung ab und erhielt 2018 den Dissertationspreis der TU Dortmund. Zahlreiche begutachtete Veröffentlichungen belegen den Stellenwert seiner Forschung im Bereich des Maschinellen Lernens in ressourcenbeschränkten Systemen.

Heute werden an allen denkbaren Stellen Daten erhoben und gespeichert. Ihre Auswertung ist komplex und für menschliche Gehirne nur begrenzt durchführbar. Computersysteme hingegen können eine undenkbar Anzahl von Variablen kombinieren und auswerten – wenn man ihnen genug Zeit und Speicherplatz zur Verfügung stellt. Denn dieses „Maschinelle Lernen“ kann im schlechtesten Fall eine Lebenszeit dauern. Außerdem verbraucht die Arbeit mit großen Datenmengen viele Ressourcen wie Speicherkapazität und damit auch Energie.

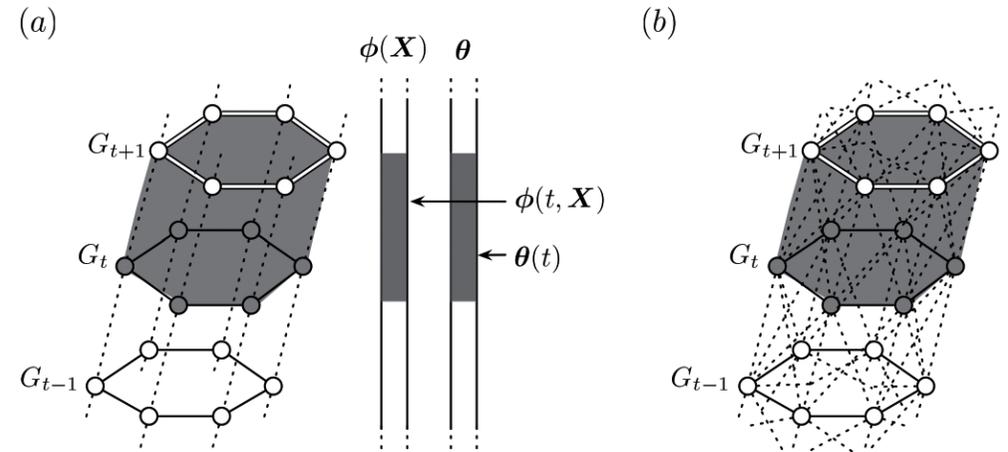
Die hohe Komplexität und der Ressourcenbedarf machen die Anwendung solcher Analysesysteme in vielen Bereichen unmöglich. Der Großteil der Künstlichen Intelligenz ist deshalb auf Großrechnern zu Hause. Dr. Nico Piatkowski arbeitet an der Fakultät für Informatik der TU Dortmund sowie am neuen Kompetenzzentrum Maschinelles Lernen Rhein-Ruhr (ML2R) an Lösungen, die auf kleinen Rechnern laufen, die weniger bis kaum Ressourcen verbrauchen und trotzdem ein annähernd gleichwertiges Ergebnis bringen.

Analysiert man Daten mit klassischen, statistischen Methoden, kann man Aussage in Form eines Prozentsatzes treffen. Ein Beispiel ist die Nutzung von Kundendaten eines Streaming-Anbieters. Einfache Analysen sind durch Abzählen von Variablen möglich. So kann

beispielsweise die Aussage getroffen werden, dass 70 Prozent der Nutzer männlich sind. Will man den Kunden aber Serien und Filme empfehlen, sind viel komplexere Auswertungen nötig. Ein Rechner würde aus den Variablen unzählige Kombinationen bilden und aus den Erfahrungswerten Schlüsse ziehen. Das Ergebnis könnte so aussehen: Männer, die älter als 20 Jahre sind und die ersten sieben Staffeln von „The Walking Dead“ in weniger als zwölf Tagen geschaut haben, interessieren sich auch für „Game of Thrones“. Solche Ergebnisse, die für den erfahrenen Seriengucker vielleicht trivial klingen, sind für Computer bei einer so großen Datenmenge nur mit komplexen Berechnungen möglich, für die man Maschinelles Lernen nutzt.

**Lernen können nur Gehirne?**

Der Begriff „Maschinelles Lernen“ wirft viele Fragen auf. Lernen ist ja zunächst die Leistung eines Gehirns – also erst einmal Lebewesen vorbehalten. Schaut man sich an, was unter Maschinellern Lernen verstanden wird, gibt es hier durchaus Parallelen zum menschlichen Lernen: Genauso wie bei einem Lebewesen lernt das System anhand von Beispielen und kann diese am Ende verallgemeinern. Es geht also darum, basierend auf Erfahrungen ein Ziel zu erreichen, um daraus Wissen zu generieren.



Verkehrsprognosen sind eine Anwendung von Maschinellern unter Ressourcenbeschränkung. Hier eine Visualisierung von einem einfachen Modell: Die Knoten stellen die Sensoren dar, die in den Straßen verteilt sind. Die Grafik auf der vorigen Seite zeigt die Sensorpositionen in den Straßen von Dublin.

Das Ziel beim Maschinellen Lernen ist durch eine mathematische Funktion spezifiziert, die von Anfang an feststeht und zwei Eingaben hat. Einmal ist das die Erfahrung, in diesem Fall ein Datensatz, der dem Rechner zur Verfügung gestellt wird. Die zweite Eingabe ist das gelernte Modell, das wieder durch eine mathematische Funktion dargestellt wird. Die Daten werden in das gelernte Modell gegeben, das dann sein Ergebnis an die Zielfunktion weiterreicht. Diese überprüft die errechneten Werte und bestimmt die Abweichung zum gewünschten Ergebnis, zum Ziel. Auf diese Weise werden unzählige Funktionen durchgespielt. Mithilfe des Maschinellen Lernens soll eine Funktion herausgefiltert werden, deren Ergebnis am wenigsten vom gewünschten Resultat abweicht.

Das ganze Prinzip ist tatsächlich vom menschlichen Lernen abgeleitet. Auch bei einem Lebewesen muss es so etwas wie eine Zielfunktion geben, die ihm sagt, ob das Weltbild, also das ge-

lernte Modell, zu den Erfahrungen, also den Daten, passt. Auch wir Menschen greifen auf eine Menge möglicher Modelle zurück, die manchmal leichter und manchmal schwerer anzuwenden sind. Letztere müssen wir dann länger lernen. Auch wenn Maschinen in der Verarbeitung der Daten auf einen Anwendungsbereich beschränkt sind, in der Bewältigung von Datenmassen sind sie unseren Gehirnen überlegen. Doch in Sachen Energieeffizienz gibt es einen klaren Sieger: Ein Gehirn verbraucht mit 20 bis 30 Watt in etwa so viel wie eine Glühbirne. Ein Großrechner benötigt bei ähnlicher Leistung bis zu 100.000 Watt oder mehr. An dieser Stelle setzt die Forschungsarbeit von Piatkowski an: „Mein Ziel ist, Systeme in Bereichen einzusetzen, in denen die Ressourcen beschränkt sind und die trotzdem ähnlich gute Rechenleistungen wie unter ‚normalen‘ Bedingungen erreichen.“ Dazu geht er neue Wege in der Forschung.

Ein Computer oder auch jedes Mobiltelefon hat einen Basisprozessor, der mit

**SFB 876 und ML2R**

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 876 „Verfügbarkeit von Information durch Analyse unter Ressourcenbeschränkung“ wird seit 2011 an der TU Dortmund gefördert. Im SFB erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie man Daten in Echtzeit filtert, analysiert und dann Informationen gewinnt, die zeitnah, verständlich und ohne großen Energiebedarf zur Verfügung stehen.

Das Kompetenzzentrum Maschinelles Lernen Rhein-Ruhr (ML2R) ist eines von bundesweit vier Zentren für Spitzenforschung im Bereich der Künstlichen Intelligenz. In der Forschungseinrichtung bündeln die TU Dortmund, die Universität Bonn und die Fraunhofer-Institute für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS in Sankt Augustin sowie für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund seit 2018 ihre Expertise.

ganzen Zahlen rechnen kann, und einen zusätzlichen Prozessor, der Zahlen mit Nachkommastellen bilden kann. Kleinstrechner kommen mit dem Basisprozessor aus und verbrauchen sehr wenig Strom. Auf diesen Rechnern soll es mit der Forschung der TU Dortmund möglich werden, Künstliche Intelligenz zu nutzen. „Ein Anwendungsbeispiel sind intelligente Drohnen, die in der Logistik, also zum Beispiel in einer Lagerhalle, eingesetzt werden können“, erklärt Piatkowski. Diese Drohnen müssen mit so wenig Energie wie möglich auskommen, um über einen längeren Zeitraum funktionsfähig zu sein. Damit ein sicherer Betrieb gewährleistet ist, soll sich die Funktion nicht auf eine Funkverbindung stützen. Die Intelligenz sollte direkt im Objekt sein, um Komplettausfälle möglichst zu verhindern. Hinzu kommt der Sicherheitsaspekt: Können die Daten direkt auf dem Gerät ausgewertet werden, müssen keine Informationen über einen Server laufen. „Um diese kleinen Geräte mit Künstlicher Intelligenz ausstatten zu können, habe ich eine klassische Methode, die Regularisierung, angewandt – aber diese neu interpretiert.“

Genauere Wahrscheinlichkeiten sind nicht immer nötig



Intelligente Drohnen in der Logistik müssen mit wenig Energie auskommen, um über einen längeren Zeitraum fliegen zu können.

Systeme zur Datenanalyse arbeiten in zwei Phasen. In der Lernphase werden Variablen neu kombiniert und Zusammenhänge zwischen ihnen gesucht. In der Anwendungsphase wird das gelernte Modell genutzt, um Wahrscheinlichkeiten zu berechnen und Vorhersagen oder Handlungsempfehlungen abzugeben. Unterschiedliche Verfahren des Maschinellen Lernens unterscheiden sich dadurch, wie die Menge möglicher Modelle eingeschränkt und wie darin gesucht wird. Die Einschränkung von Modellen bezeichnet man als Regularisierung. Alle Forschungen, die es bislang in diesem Bereich gab, beschäftigten sich damit, die Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten der Variablen zu reduzieren. Das Lernergebnis wird dadurch eingegrenzt, dass es sich nicht beliebig an die Daten anpassen kann.

„Ich habe mich jedoch auf einen anderen Bereich konzentriert und die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten begrenzt“, verrät Nico Piatkowski. „Bei einem solchen Eingriff in die Berechnung arbeiten wir bewusst damit, dass Fehler generiert werden.“ Denn dadurch, dass auf den Kleinstrechnern nur noch mit ganzen Zahlen gerechnet wird, können die Abstufungen in den Prozentzahlen nicht mehr beliebig klein sein. Neue Formelabschnitte stellen dann sicher, dass das Ergebnis trotzdem noch brauchbar ist, indem sie den Fehler „berechenbar“ machen. Piatkowski erklärt: „Wir setzen dabei darauf, dass eine geringe Abweichung in

den Prozentzahlen das Resultat nicht beeinträchtigt.“ Dabei ist ihm durch verschiedene Auswertungen bewusst, wie groß die Abweichungen sein können. In vielen Anwendungsfällen reicht es zum Beispiel aus zu wissen, welches Ergebnis die größte oder kleinste Wahrscheinlichkeit hat. Diese Bereiche schauen sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dann genauer an.

In einem weiteren Forschungsansatz hat Piatkowski die Berechnung an einer anderen Stelle beschränkt. In den Funktionen sind häufig Rechenabschnitte zu finden, die aus Exponentialfunktionen bestehen. Exponentialfunktionen sind

Berechnungen, die auf Kleinstrechnern viel Energie benötigen. Schon in der Mathematik wurden diese Funktionen häufig durch eine Polynomapproximation ersetzt, die einer Exponentialfunktion sehr ähnlich sein kann. Genau das hat Piatkowski auch am Rechner gemacht.

Andere Herangehensweise

„Die Schwierigkeit an dieser Stelle ist, ein passendes Polynom zu finden, das den Fehler in der Berechnung extrem klein werden lässt.“ Der Clou dabei ist:

Eine Polynomapproximation lässt sich durch unterschiedliche Formeldarstellungen noch weiter vereinfachen. „Da ein Rechner bestimmte Rechenschritte schneller ausführt als andere, kann so wieder eine Menge Energie eingespart werden“, weiß Piatkowski.

Diese beiden Ansätze, die sich mit der Beschränkung der Wahrscheinlichkeitsberechnung beschäftigen, sind Neuland auf dem Forschungsgebiet der Künstlichen Intelligenz und haben dem Dortmunder Forscher schon verschiedene Preise eingebracht. Für Nico Piatkowski ist die TU Dortmund seit seinem Studium seine wissenschaftliche Hei-

mat und er fühlt sich hier gut aufgehoben. „Wir haben hier einen klaren formalen, mathematischen Schwerpunkt, was besonders für eine wissenschaftliche Karriere wichtig ist. Aufgrund der Größe der Fakultät können wir wunderbar mit anderen Fachgebieten der Informatik gemeinsam forschen.“ Und auch die Zusammenarbeit über die Grenzen der Fakultät hinaus ist für Piatkowski ein echter Mehrwert: „Wir kooperieren oft mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Bereichen Physik, Statistik und Elektrotechnik. Interdisziplinäre Forschung wird hier gelebt.“

Und die ist besonders in einem solchen Zukunftsbereich wie der Künstlichen Intelligenz wichtig. Konzerne und freie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler arbeiten an vielen verschiedenen Ansätzen, um maschinelles Lernen praktikabel zu machen. Die Auswertung von Daten ist vor allem für die Wirtschaft ein sehr wichtiges Thema. „An den Hochschulen betreiben wir vor allem Grundlagenforschung. Das ist wichtig, weil viele Innovationen mehrere Jahrzehnte brauchen, um profitabel zu werden. Da geht den Unternehmen meistens die Puste aus“, sagt Piatkowski. Außerdem ist das maschinelle Lernen auch für die Öffentlichkeit wichtig. Bei der Auswertung von Verkehrsdaten, aber auch und insbesondere im Gesundheitssektor bei der Erkennung von Krankheiten und bei ihrer Erforschung wird das maschinelle Lernen in Zukunft eine große Rolle spielen.

Allerdings scheint eines sicher: Um so effizient zu sein wie das menschliche Gehirn, müssen die Rechner noch viel lernen.

Anna-Christina Senske



## Die Logistik vor einer Zeitenwende

Die Logistik erlebt eine Zeitenwende, wie sie grundsätzlich nicht sein könnte. Die Digitalisierung von allem und die Künstliche Intelligenz in allem wird alles ändern, sagt Prof. Michael ten Hompel.



**Prof. Michael ten Hompel** ist Professor für Förder- und Lagerwesen an der TU Dortmund und geschäftsführender Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML. Ten Hompel studierte Elektrotechnik an der RWTH Aachen und promovierte an der Universität Witten/Herdecke. Er war lange als Unternehmer tätig. 2000 wechselte er in die Leitung des Fraunhofer IML und folgte dem Ruf an die TU Dortmund. Er gilt als Wegbereiter für das Internet der Dinge in Deutschland, initiierte Europas bedeutendstes Logistikforschungcluster, den EffizienzCluster LogistikRuhr, und war maßgeblich an der Gründung des LogistikCampus der TU Dortmund beteiligt.

Er hält zahlreiche Patente und arbeitet in mehr als zwei Dutzend Aufsichtsräten, Vorständen, Verbänden und Institutionen. Er ist Sprecher des Direktoriums der Fraunhofer Technology Academy und Vizepräsident der wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik WGTL. 2011 wurde Michael ten Hompel als erster Logistiker in die Akademie der Technikwissenschaften (acatech) aufgenommen, 2012 folgte die Aufnahme in die Logistik Hall of Fame.

## In Kürze

### Die Beobachtung

Die Logistik bietet hervorragende Voraussetzungen für den Einsatz und die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz. Das liegt vor allem daran, dass die einzelnen Prozesse leicht mathematisch zu beschreiben, in der Summe aber extrem kompliziert sind.

### Der Forschungsstand

In verschiedenen Projekten kommt die KI in der Logistik bereits zum Einsatz: Die Bandbreite reicht von intelligenten Paletten und Behältern bis hin zu Drohnenschwärmen. Die große Frage der Zukunft wird sein: Wie vernetzen sich all diese autonomen Systeme, um die weltweiten Warenströme zu organisieren?

Paletten erkennen selbst, wo sie hin müssen, Paletten wissen, was sie tragen und wohin sie bewegt werden, Müllcontainer melden sich, wenn sie voll sind. Die Logistik ist ein Tummelplatz für Künstliche Intelligenz (KI). Die Zukunft hat hier längst begonnen. Doch jetzt steht eine Zeitenwende bevor. „Das wird in den nächsten Monaten passieren“, sagt Michael ten Hompel, Logistikprofessor an der Fakultät Maschinenbau der TU Dortmund und geschäftsführender Leiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML.

Aber warum soll die KI ausgerechnet in der Logistik ihren großen Auftritt haben? Weil das Bewegen von Dingen von A nach B – ebenso wie die Mobilität, also das Bewegen von Menschen – so einfach und kompliziert zugleich ist, sagt der Experte. Im Detail sind die Prozesse leicht mathematisch zu beschreiben. Es geht schlicht darum, etwas zur rechten Zeit an den rechten Ort zu bringen. In der Summe aber sind die Abläufe hoch kompliziert. „Die Netzwerke der Logistik gehören zu den komplexesten überhaupt und zählen auch für Künstliche Intelligenz zu den komplexesten Anwendungen. Sie sind sehr groß, sehr schnell, stark verteilt und zugleich nach multiplen Kriterien zu optimieren.“ Genau diese Konstellation macht es so interessant für die KI.

### Winzige Sensoren zeichnen weite Reisen auf

In einem Großversuch mit mehreren Unternehmen schickte das Fraunhofer IML 500 intelligent ausgerüstete Europaletten in Umlauf. Sie sind eine Entwicklung aus verschiedenen sogenannten Enterprise Labs, in denen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer IML gemeinsam mit Unternehmen an konkreten Innovationen für die Praxis forschen und diese direkt vor Ort umsetzen. Im Großversuch zeigt ein Bildschirm die Reiseroute der Ladungsträger in den letzten drei Monaten – ein dicht verzweigtes Wegenetz kreuz und quer durch Europa.



In der intelligenten Palette steckt das kleinste Beispiel für Künstliche Intelligenz in der Logistik: der etwa münzgroße „Low-Cost-Tracker“.



Auch Infos zu Ladung oder Temperatur können empfangen oder Änderungen des Zielorts gesendet werden. Die Palette weiß, wohin sie muss, und sie merkt, wenn sie bewegt wird. Geschieht das unplanmäßig, meldet sie sich, was unter anderem ein guter Schutz gegen Diebstahl ist. Frachtdiebstahl kostet die Unternehmen jedes Jahr Milliarden Euro, ebenso fehlgeleitete Ware. Ein wasserfester Sensor in den Paletten registriert Beschleunigung, Temperatur, Kippwinkel, Stöße und Lage. Bei Abweichungen leitet er die Daten an ein eigenes Portal weiter. Die Kommunikation läuft über sogenannte NarrowBand-Funknetze (NB-IoT), ist mit dem neuen 5G-Handynetz kompatibel und benötigt extrem wenig Energie.

Hinter der intelligent vernetzten Palette steckt das kleinste aktuelle Beispiel für

Künstliche Intelligenz in der Logistik, der gemeinsam mit der Deutschen Telekom entwickelte „Low-Cost-Tracker“. Er nutzt KI-Verfahren in verblüffend kleinem Design und zu geringen Kosten. In den etwa münzgroßen gewölbten Trackern verbergen sich Sensoren und eine Batterieleistung für fünf bis zehn Jahre. Die Winzlinge sind stets lokalisierbar und können einfache KI-Verfahren umsetzen und kommunizieren. Dafür messen Sensoren bis zu sieben Werte, ein wenige Cent teurer Prozessor wertet diese Daten aus. Gefunkt wird auch hier über NarrowBand, was selbst unter schwierigen Bedingungen funktioniert, oder zukünftig über das neue 5G-Netz.

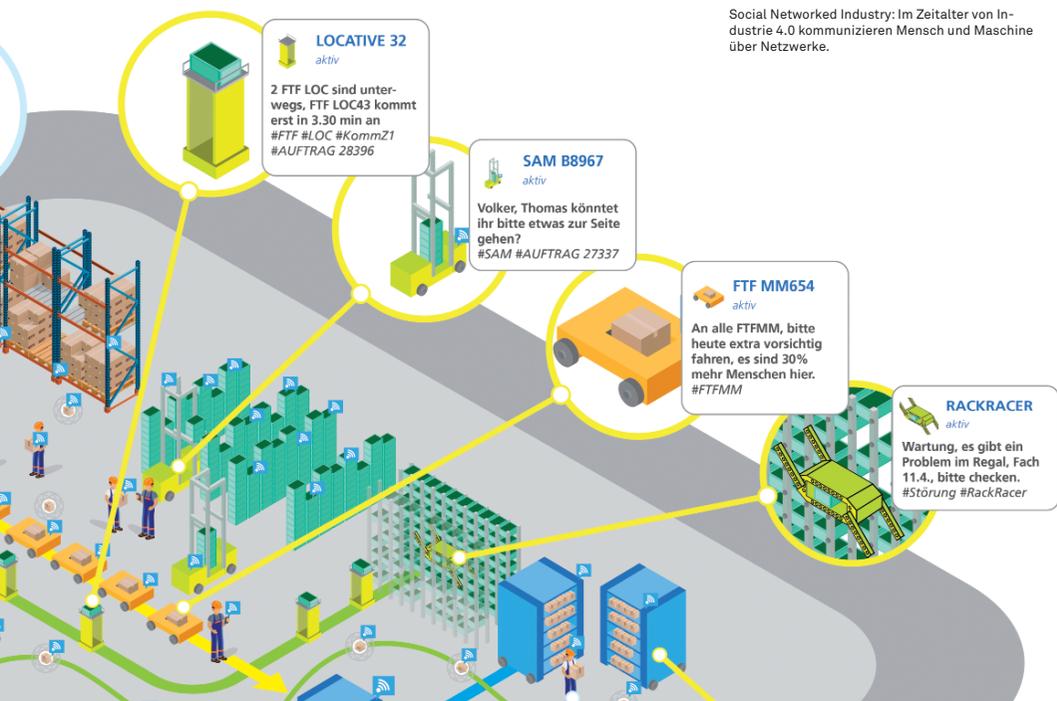
„Die Preise für die neue Technik sind dramatisch gesunken“, sagt ten Hompel. Das bedeutet, die schlaunen Mini-Helfer sind günstig, vielseitig und verfügbar. „Das macht Künstliche Intelligenz in allem möglich – von der Türklingel bis zur Mülltonne.“ Millionen kleiner Abläufe können auf diese Weise in das Internet der Dinge eingebunden werden. Damit wird es endlich massentauglich.

Intelligente Instrumente werden den Arbeitsplatz der Zukunft begleiten. So genannte cyber-physische Systeme – wie intelligente Ladungsträger, autonome Transportsysteme und selbstständig navigierende Drohnenschwärme – führen Algorithmen aus, entwickeln sich weiter und funktionieren ohne zentrale Steuerung.

### Mensch und Maschine bilden neue Teams

Was das für die Interaktion von Mensch und Technik bedeutet, untersucht das Fraunhofer IML gemeinsam mit der Fakultät Maschinenbau und dem Bereich Industrie- und Arbeitsforschung der TU Dortmund im 2018 eröffneten „Innovationslabor Hybride Dienstleistungen in der Logistik“.

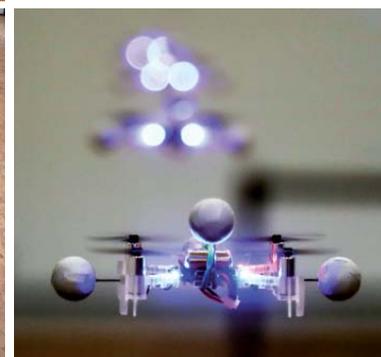
Die Dortmunder sind führend in der Entwicklung des enormen Potenzials, das die KI für die Logistik birgt. Der Bereich Förder- und Lagerwesen der TU



Social Networked Industry: Im Zeitalter von Industrie 4.0 kommunizieren Mensch und Maschine über Netzwerke.



Visionen sind bereits Wirklichkeit. Autonome Fahrzeuge treffen auf intelligente Behälter, Drohnen-schwärme fliegen selbstständig durch den Raum.



Dortmund zählt zu den ersten reinen Logistiklehrstühlen in Deutschland. Am LogistikCampus arbeiten die Fachleute mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern anderer Bereiche wie Informatik, Elektrotechnik und Design zusammen. Mittlerweile trifft die Technologie auf neue Möglichkeiten. Kürzlich wurde ein neuer Superrechner in Betrieb genommen. Er hat eine nominale Rechnerleistung von bis zu zwei Petaflops – das bedeutet: eine Quadrillion Floating Point Operations, also Gleitkommazahl-Operationen, pro Sekunde. Das sind unvorstellbare rund 270.000 Berechnungen für jeden der 7,3 Milliarden Menschen auf der Welt in jeder Sekunde. „Das ist ein Weltsimulator“, sagt Michael ten Hompel. Dieses Superhirn ist auch den großen Netzwerksimulationen der Logistik gewachsen.

Wegen dieser Quantensprünge sind Experten wie ten Hompel von einer nahen Ausbreitung cyber-physischer Systeme

überzeugt. Neben dem immensen Wachstum von Rechnerleistung und Speicherkapazität bietet die echtzeitfähige Vernetzung eine Voraussetzung für die Zeitenwende. Sie ermöglichen weltumspannende und hochverteilte Systeme, in denen KI operiert, und zwar weit effizienter als der Mensch. Der bleibt als eine Art Dirigent im Hintergrund und überlässt das Gefährliche und Belastende den Maschinen. Er kommt dort zum Einsatz, wo seine ureigenen Fähigkeiten jeder Maschine auch in Zukunft überlegen sein werden: wenn es um Kreativität oder feine Motorik geht.

**Drohenschwärme fliegen selbstständig durch den Raum**

Wie die Zusammenarbeit von Mensch und Maschine im Zeitalter von Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge aus-

sehen könnte, demonstrieren die Forscherinnen und Forscher schon heute eindrucksvoll im Innovationslabor. Sie entwickeln dort Instrumente für eine sozial vernetzte Industrie – Social Networked Industry –, die über Netzwerke kommuniziert.

In zwei mit modernster Technik ausgestatteten Hallen sind Visionen bereits Wirklichkeit: Autonome Fahrzeuge treffen auf intelligente mobile Behälter, Drohnen-schwärme bewegen sich selbstständig durch den dreidimensionalen Raum und interagieren mit dem Menschen. Der Computer kann die Ausstattung und Abläufe in der Halle bis ins letzte Detail simulieren. Er analysiert die Bewegungen des realen Menschen, der dazu einen speziellen Tracking-Anzug trägt, und transformiert sie in eine virtuelle Umgebung. Im digitalen Abbild der Arbeitsumgebung können Abläufe effizient und sicher getestet und optimiert werden.

Anhand der Drohnen-schwärme und autonomen Transportsysteme entwickeln die Forscherinnen und Forscher Algorithmen, mit denen dann Fahrzeuge und Maschinen untereinander und in der Interaktion mit dem Menschen gesteuert werden können. Dazu setzen sie KI-Verfahren wie Maschinelles Lernen und neuronale Netze ein. „Das Forschungslabor ist genau so eine intelligente Umgebung, wie sie in Zukunft üblich sein wird“, sagt ten Hompel.

**KI steckt in allem**

Chips in Kaffeemaschinen, Türklingeln, Beleuchtung: „Schon bald wird es kaum noch etwas geben, wo keine KI drinsteckt“, sagt der Logistikforscher. Schon heute bestimmten Bildalgorithmen, ob eine Palette richtig gepackt ist. Komplexe Programme finden bei internationalen Lieferketten die bes-

ten Verbindungen und Wege für die Waren, Low-Cost-Tracker stattet alle möglichen Lieferungen mit winzigen intelligenten Systemen aus. KI kommt bereits in vielen dezentralen Einheiten zum Einsatz. Für ten Hompel ist nun die zentrale Frage, wie all diese kleinen KI-Träger gesteuert werden. Wenn mit 5G ein echtzeitfähiges Netzwerk zur Verfügung steht, kann ein lernendes Gesamtsystem entstehen, in dem autonome Systeme miteinander in Verbindung treten.

Kombiniert mit Technologien wie Distributed Ledger, Blockchain und Smart Contracting laufen demnächst Verhandlung, Vertragsabschluss und schließlich auch Bezahlung – per elektronischer Währung – automatisiert innerhalb des Netzwerks. Das alles zusammenzuführen, ist momentan die größte Aufgabe für die Logistikforscherinnen und -forscher. Wie soll der Datenraum aussehen, in dem all dies geschieht? Und wer

macht das Rennen um die Hoheit im Dataspace?

Herrschaft über die Warenströme bedeutet auch einen Großteil Herrschaft über die Wirtschaft. Deutschland ist laut Weltbank Logistikweltmeister unter 163 Ländern. „Wir müssen sehen, dass wir das bleiben und ganz vorne mit dabei sind. Noch halten wir alles in Händen, aber die Unternehmen müssen sich der anstehenden Entwicklung bewusst sein.“ Ten Hompel setzt sich für ein Open-Source-System ein, auf das alle zugreifen und mit dem alle arbeiten können, wenn die Zeitenwende kommt. Und dass sie kommt, ist für den Experten nur eine Frage der Zeit. „Es muss gigantische Plattformen geben, die in der Realität die Warenströme organisieren, disponieren, steuern und kontrollieren. Das ist der Lebensraum für Künstliche Intelligenz.“

Susanne Riese

Porträt

# Ein „Best-of“ aus zwei Welten

Zwei Taktgeber bestimmen die Arbeit von Prof. Paul Czodrowski: Chemie und Informatik. Er verbindet Wirkstoffforschung mit Künstlicher Intelligenz. Ein Porträt über den Forscher und Musikliebhaber.

## In Kürze

### Das Ziel

Wirkstoffforschung soll schneller und kostengünstiger werden: KI-Algorithmen könnten die Passgenauigkeit von Wirkstoff und Wirkort im Körper vorhersagen.

### Der Weg

Prof. Paul Czodrowski setzt auf seine Kenntnisse in Chemie, Biologie und Informatik – und auf die Zusammenarbeit im Drug Discovery Hub Dortmund.

Der Song „Body“ der australischen Sängerin Julia Jacklin steht momentan ganz oben auf der Liste von Paul Czodrowskis Lieblingsliedern, die der Wissenschaftler jeden Monat auf seiner Homepage veröffentlicht. Allein diese Playlist gibt einen Hinweis darauf, dass nicht nur Atome, Moleküle und biologische Effekte das Herz des Professors von der Fakultät für Chemie und Chemische Biologie höherschlagen lassen. Dass die Chemie jedoch die erste Geige in seinem beruflichen Werdegang spielt, war Paul Czodrowski schon früh klar. In einer Jugend-forscht-AG entdeckte er bereits in der Mittelstufe, wie sehr ihn das Zusammenspiel chemischer Stoffe fasziniert. Die Entscheidung für das Chemiestudium an der TU München war also vorprogrammiert. Doch auch die Informatik reizte Czodrowski schon früh. Sie wurde im übertragenen Sinne zur Hintergrundmusik seiner Karriere und entwickelte sich neben der Chemie zu einem großen Taktgeber.

Linie gar nicht ums Sprechen, sondern um die Übertragung von Daten. Meine Freunde und ich haben das sogenannte Packet Radio für eine Art Chat-System genutzt. Das Internet war damals noch ganz am Anfang seiner Entwicklung und für uns kaum zugänglich. Dadurch wurde das Packet Radio für uns umso interessanter“, erinnert sich der Professor. Während seines ersten Auslandsaufenthalts im Studium trafen dann Chemie, Biologie und Informatik aufeinander und bildeten bei ihm trotz ihrer offensichtlichen Unterschiede die Basis für einen harmonischen Dreiklang.

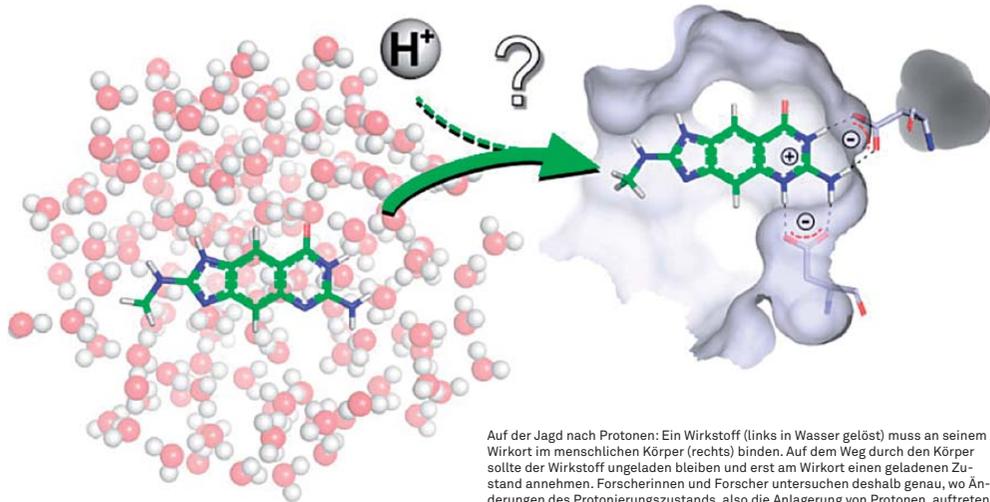
An der University of California in San Diego kam Paul Czodrowski zum ersten Mal mit der Bioinformatik in Berührung. Das Projekt, an dem er mitforschte, ging der Entstehung des Lebens auf molekularer Ebene auf den Grund. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler untersuchten, wie aus der „Ursuppe des Lebens“ Aminosäuren, Proteine und weitere Biomoleküle entstehen. Dafür nutzten sie Datenbanken, Algorithmen und Methoden der Künstlichen Intelli-

genz (KI). „Das war mein erster Kontakt mit der Verknüpfung zwischen Computern, Chemie und Biologie. Allerdings war auch mein zweiter USA-Aufenthalt prägend für meinen weiteren Karriereweg“, sagt Czodrowski. An der Brown University in Providence untersuchte der damalige Diplomand der Chemie die Dynamiken von Proteinen, um zu verstehen, wie Arzneimittel an ihrem Wirkort im menschlichen Körper wirken. Dies begeisterte Czodrowski so, dass er sich dafür entschied, die klassische Chemie nach dem Diplom zu verlassen und in Pharmazie zu promovieren.

### KI-Algorithmen sollen Passgenauigkeit von Wirkstoffen vorhersagen

Während der Promotion verbrachte Czodrowski mehrere Forschungsaufenthalte am University College Dublin in Irland sowie am CNRS (Laboratoire de Conception et Application de Molécules Bioactives) in Illkirch in Frankreich. 2006 promovierte er in pharmazeutischer Chemie an der Philipps-Universität Marburg. Es folgten zwölf Jahre Wirkstoffforschung in den zwei großen Pharmaunternehmen Boehringer Ingelheim und Merck, bei denen die Arbeit mit KI-Methoden zum Alltag gehört. In Tausenden Testreihen, die die Unternehmen für die Entwicklung eines Wirkstoffs durchführen, werden riesige Datenmengen erhoben. Paul Czodrowski spricht von einem „Goldschatz“: Sofern die Daten langfristig gespeichert und sorgfältig gepflegt

Musikliebhaber Prof. Paul Czodrowski trat bei der ersten Dortmunder „Night of the Profs“ im Mai als DJ auf.



Auf der Jagd nach Protonen: Ein Wirkstoff (links in Wasser gelöst) muss an seinem Wirkort im menschlichen Körper (rechts) binden. Auf dem Weg durch den Körper sollte der Wirkstoff ungeladen bleiben und erst am Wirkort einen geladenen Zustand annehmen. Forscherinnen und Forscher untersuchen deshalb genau, wo Änderungen des Protonierungszustands, also die Anlagerung von Protonen, auftreten.

werden, ersparen sie den Forschungsabteilungen der Unternehmen Zeit und Mühe. Anhand der Informationen, die der Computer bereits hat, kann er – mit einer gewissen Genauigkeit – vor dem eigentlichen Versuch vorhersagen, ob Tests mit einem bestimmten Wirkstoff erfolgversprechend sind oder nicht.

„In der Pharmabranche sind die Arbeitsbedingungen toll. Es ist allerdings so, dass man direkt wieder ein neues Projekt startet, sobald der gesuchte Wirkstoff gefunden ist. Aber genau an diesem Punkt fängt das Spannende für mich erst an. Gerade für diese Grundlagenforschung bin ich an die Universität zurückgekommen. Ich habe viele offene Fragen mitgebracht, die ich im Dortmunder Umfeld angehen möchte“, sagt Czodrowski.

In einem ersten Schritt gilt es, die KI-Algorithmen so zu gestalten, dass sich zuverlässige Vorhersagen beispielsweise über die Passgenauigkeit von Wirkstoff und Wirkort im menschlichen Körper treffen lassen. In seinem vollständig auf Open-Source-Software basierenden Ansatz namens OCEAN (Optimized Cross rActivity estimation) hat

Czodrowski zunächst rein statistische Methoden genutzt, um eine der vielen Herausforderungen für Wirkstoffforscherinnen und -forscher zu meistern. Ein möglicher Anwendungsfall ist die Unterscheidung zwischen Kinasen, die attraktive Wirkorte für die onkologische Forschung sind. Im Körper gibt es allerdings eine Vielzahl solcher Kinasen, die sich strukturell sehr ähnlich sind. Ein passgenaues Arzneimittel, das einen bestimmten Typ Krebs bekämpfen soll, muss nun maßgeschneidert ausschließlich mit der richtigen Kinase wechselwirken, dem sogenannten On-Target. Aufgrund der strukturellen Ähnlichkeit haben die Wirkstoffe jedoch auch Auswirkungen auf andere Kinasen, die in diesem Zusammenhang Off-Targets genannt werden. Dadurch kann es zu Nebenwirkungen kommen, die teilweise lebensgefährlich sein können. „Neben den rein statistischen Modellen möchten wir hierfür in Zukunft auch KI-Algorithmen einsetzen. Dazu läuft bereits eine erste Masterarbeit zusammen mit der Fakultät für Informatik.“

Damit ein Algorithmus zuverlässige Vorhersagen für die Wirkstoffforschung treffen kann, muss er allerdings mit

vielen Informationen über die Moleküle gespeist werden, aus denen sich die Arzneimittel zusammensetzen: Ist ein Wirkstoff gut löslich? Kann er eine Zellmembran durchdringen? Ist er fettliebend, also lipophil? Gibt es möglicherweise toxische Wechselwirkungen mit anderen Stoffen im menschlichen Körper?

#### Zukunftsmusik: Vollautomatisierte Wirkstoffforschung im Labor

„Das ist eine heroische Aufgabe, aber ich fühle mich hierfür bestens gewappnet“, so der Wissenschaftler. „Es gibt natürlich schon Datenbanken, in denen viele Parameter, die Moleküle charakterisieren, eingepflegt sind, aber eben noch nicht alle, die für die Wirkstoffforschung relevant sind.“ Mit seiner Arbeit möchte Czodrowski auch dazu beitragen, weitere Eigenschaften von Molekülen zu untersuchen, um diese Informationen dann wiederum in Programme einfließen zu lassen, die der Wirkstoffforschung nutzen. So beschäftigt sich der Professor beispielsweise mit dem pKa-Wert von Molekülen, der den so-

genannten Protonierungsgrad bezieht. „Dieser Wert ist für die Arzneimittelentwicklung unter anderem auch deswegen wichtig, weil er beispielsweise etwas über die Löslichkeit oder die Lipophilie eines Stoffes aussagt.“

Wenn man Paul Czodrowski danach fragt, wohin seine Forschung in rund zehn Jahren geführt haben soll, präsentiert der Wissenschaftler eine ganz klare Vision, die weit mehr als nur Zukunftsmusik ist. „Meine Idee ist die vollautomatisierte Wirkstoffforschung im Labor. Man geht also von einem Krankheitsbild aus, das man mit einem Wirkstoff heilen möchte. Mithilfe eines Algorithmus könnte man sich dann Moleküle vorschlagen lassen, die sich zur Heilung dieses Krankheitsbildes eignen. Anschließend würde ein Roboter, der ebenfalls an den Computer angeschlossen ist, das Molekül herstellen und wiederum eigenständig testen. Sollten die Tests beispielsweise zeigen, dass das Molekül noch nicht löslich genug ist, würde der Roboter dies an den Computer zurückmelden, der diese Information in der Datenbank vermerkt, auf die der Algorithmus zurückgreift. In einem nächsten Schritt würde – erneut vollautomatisiert – dann ein neues Molekül hergestellt werden, das eine bessere Löslichkeit als das vorherige hat. Das würde dann wieder getestet werden und so weiter...“, erklärt der Forscher, der ganz klar von der Aussage Abstand nimmt, dass Menschen zukünftig in Laboren überflüssig würden, sobald seine Idee Realität wird.

#### Moleküle weiter im Labor erforschen

Der TU-Professor spricht von einer Kombination aus Wet Lab und Dry Lab, wenn er seine Forschung beschreibt. Das Wet Lab ist sein Labor auf dem Campus der Universität, in dem Versuche und Testreihen durchgeführt werden. Das Dry Lab sind Computer, auf denen die Datenbanken mit den Profil-Informationen der Moleküle liegen und die KI-Algorithmen, die aus diesen Informationen die Schlüsse ziehen, die für die Wirkstoffforschung relevant sind. „Es



Im Rahmen seiner Studien wird der Arbeitskreis von Prof. Paul Czodrowski auch eigene Kristallstrukturen am Diffraktometer des Drug Discovery Hub Dortmund bestimmen.

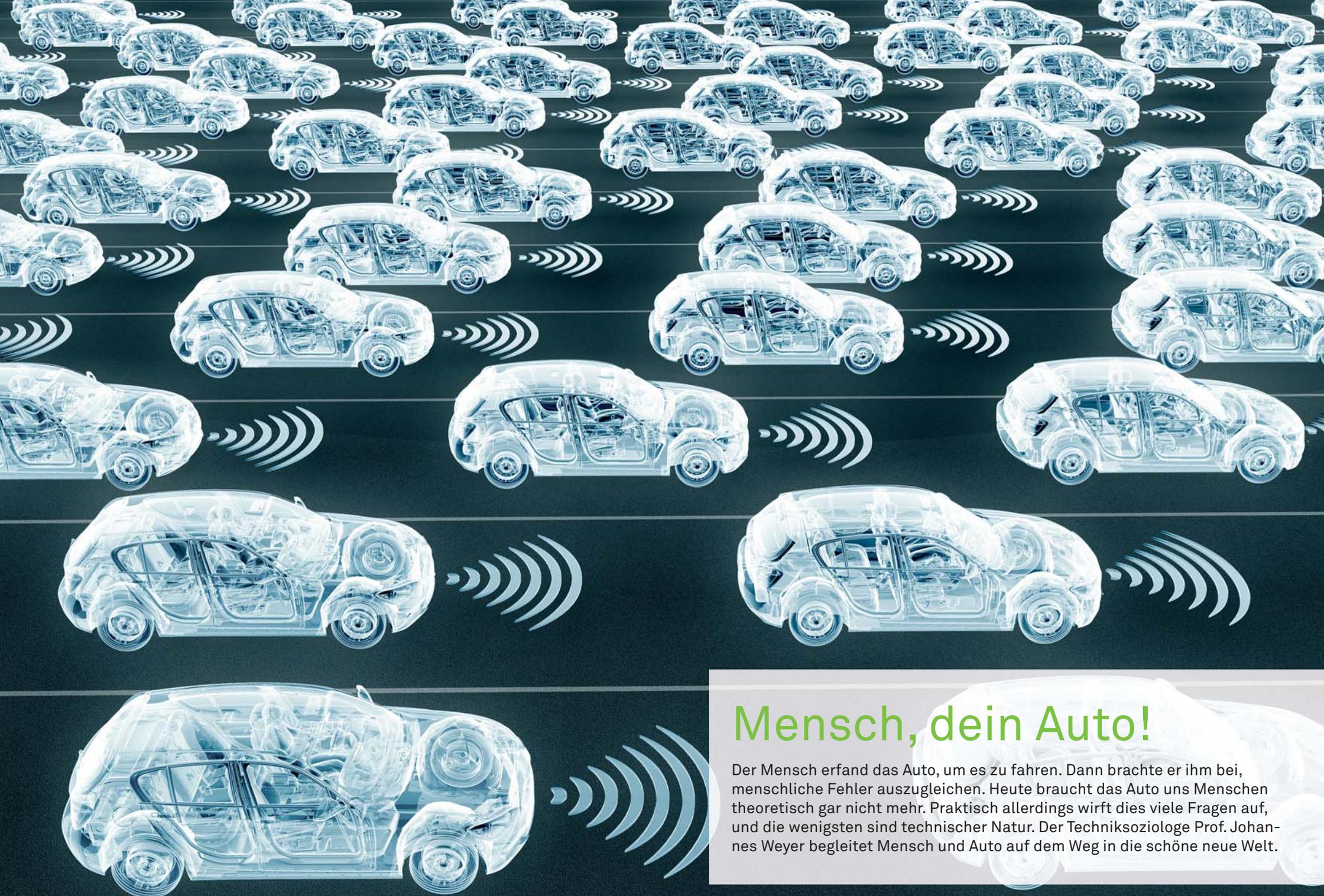
wird immer wichtiger, dass Chemikerinnen und Chemiker auch Programmierkenntnisse haben. Man sollte schon im Bachelor lernen, wie man Datenbanken richtig nutzt und wie man kleine Vorhersagemodelle programmiert. Dazu werde ich auch mehrere Vorlesungen halten – nach dem Motto: ‚Mensch, Maschine, Moleküle: von der Bilderkennung zur Wirkstoffforschung‘“, sagt Czodrowski.

Der Wissenschaftler möchte aber noch mehr Disziplinen zusammenbringen: So arbeitet er gerade mit Dortmunder Informatikern und Statistikern und einer Mathematikerin von der Ruhr-Universität Bochum an einem gemeinsamen Antrag für ein Projekt, bei dem sogenannte Deep-Learning-Methoden weiterentwickelt werden sollen. Die fächer- und standortübergreifende Forschung ist für Czodrowski ein wichtiges Anliegen: „Es ist großartig, dass wir in Dortmund den Drug Discovery Hub haben, in dem die entsprechenden Einrichtungen der Universität und die passenden Unternehmen ihre Kompetenzen im Bereich der Wirkstoffforschung bündeln. So werden wir auf diesem Feld zu einem starken Standort, der auch weit über Dortmund hinaus sichtbar ist.“ Der

Forscher freut sich darauf, mit seinen Kolleginnen und Kollegen an Methoden zu tüfteln, weil im Arbeitsalltag in der Pharmabranche oftmals hierfür nicht ausreichend Zeit gegeben ist. Da Czodrowski ein großer Fan von Open-Source-Software ist, wird er die Programme, die in seinen Projekten entstehen, der Community zur Verfügung stellen, damit die Expertinnen und Experten sie gemeinsam weiterentwickeln können. Bevor es so weit ist, muss allerdings noch eine riesige Menge chemischer Strukturen und ihrer biologischen Aktivitäten in eine maschinenlesbare Form gebracht werden – eine trockene Aufgabe, die allerdings unumgänglich ist.

Die passenden Songs für diese Arbeitsphase hat Czodrowski bereits zusammengestellt. Seine musikalische Inspiration kann man auf der monatlich aktualisierten Playlist sogar nachhören: [www.czodrowskilab.org/music](http://www.czodrowskilab.org/music).

Livia Rügner



## Mensch, dein Auto!

Der Mensch erfand das Auto, um es zu fahren. Dann brachte er ihm bei, menschliche Fehler auszugleichen. Heute braucht das Auto uns Menschen theoretisch gar nicht mehr. Praktisch allerdings wirft dies viele Fragen auf, und die wenigsten sind technischer Natur. Der Techniksoziologe Prof. Johannes Weyer begleitet Mensch und Auto auf dem Weg in die schöne neue Welt.



**Prof. Johannes Weyer** ist seit 2002 Professor für Techniksoziologie an der TU Dortmund. Er forscht zu den Themen Mensch-Maschine-Interaktion, Datengesellschaft sowie Steuerung komplexer Systeme (in den Bereichen Verkehr und Energie). Gemeinsam mit seinem Team hat er den Simulator SimCo entwickelt, mit dessen Hilfe Szenarien der nachhaltigen Transformation des Verkehrssystems untersucht werden können. Seine wichtigsten Veröffentlichungen sind: „Techniksoziologie“ (2008), „Soziale Netzwerke“ (2014), „Werner von Braun“ (2018) und „Die Echtzeitgesellschaft“ (2019).

Von 1984 bis 1999 lehrte Weyer an der Fakultät für Soziologie der Universität Bielefeld. Von 1993 bis 1998 war er Heisenberg-Stipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Von 1992 bis 1993 vertrat er den Lehrstuhl für Soziologie (ehem. Ulrich Beck) an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg, von 1996 bis 1997 den Lehrstuhl Technik und Gesellschaft (ehem. Thomas Malsch) an der Universität Dortmund. Johannes Weyer war Vorstandsmitglied der Sektion Wissenschafts- und Technikforschung der Deutschen Gesellschaft für Soziologie.

Johannes Weyer besitzt seit mehr als drei Jahrzehnten einen Führerschein und nennt sich selbst einen routinierten Fahrer. Dennoch hält er es für wahrscheinlich, irgendwann noch einmal die Fahrschulbank drücken zu müssen. Der Grund: sein neues Auto – und dessen Assistenzsysteme. „Seit ich es habe, lerne ich jeden Tag dazu“, so Weyer. Staunend nahm er etwa zur Kenntnis, dass die Abstandsautomatik nur auf bereits vorausfahrende Autos reagiert, nicht aber auf Autos, die von der Seite einscheren. Tatsächlich lernt der Techniksoziologe nicht nur sein Fahrzeug, sondern auch sich selbst besser kennen. „Ich beobachte, was es mit mir macht, wenn ein intelligentes System mit mir zusammen ein Fahrzeug steuert.“ Genau darum geht es auch in seinem aktuellen Forschungsprojekt. In dem vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur geförderten Projekt „MoFFa“ erforscht Prof. Weyer die Aufgabenverteilung und -übergabe zwischen Mensch und Maschine beim automatisierten Fahren. Denn wenn immer mehr Zuständigkeiten vom Menschen an die Technik gehen, verändern sich Rollen und Regeln – ein Fall für die Soziologie.

#### Von Automatisierung zur Autonomie

Seit der Mensch existiert, versucht er, sich den Alltag zu erleichtern. Die Technik war dabei immer ein Instrument des Menschen und tat, was dieser wollte. Die technische Entwicklung erreichte ihren vorläufigen Höhepunkt in den 1950er-Jahren mit der Automatisierung: Dinge handelten selbsttätig – wie etwa ein Türöffner. Der reagiert nach dem Wenn-Dann-Prinzip: Wenn ein Objekt sich nähert, öffnet sich die Tür. Der Einzug autonomer Technik in den vergangenen 20 Jahren bedeutet einen Paradigmenwechsel. Der Mensch versetzte die Systeme in die Lage, selbst Entscheidungen zu treffen: Wenn ein Objekt sich nähert und autorisiert ist, dann öffne – ansonsten nicht. So funktionieren etwa smarte Katzenklappen, die mit einem Mikrochip interagieren. Oder, bezogen auf Weyers Forschungs-



Heikler Moment: Die Aufgabenübergabe zwischen menschlichem Fahrer und Fahrerassistenzsystemen beim automatisierten Fahren.

gegenstand, das Automobil: Bremse, wenn der Abstand zum vorausfahrenden Auto eine festgelegte Distanz unterschreitet. „Die autonome Technik hat Freiheitsgrade und kann uns mit ihren Entscheidungen überraschen. Wie gehen wir damit um, dass Technik diese bislang menschliche Rolle übernimmt? Und wie funktioniert das Zusammenspiel von Mensch und Technik, wie könnte man die Interaktion verbessern?“, beschreibt Weyer den Ansatzpunkt seiner Forschung.

Es sind Fragen, die einem Ingenieur überflüssig erscheinen könnten, denn: Die technische Entwicklung ist ja viel weiter. Längst sind die Systeme in der Lage, ihr eigenes Verhalten zu optimieren, also aus ihren Erfahrungen zu lernen. Die menschliche Intelligenz verliert den Status ihrer Einzigartigkeit; sie könnte durch Künstliche Intelligenz ersetzt werden. Das Auto braucht Menschen dann allenfalls noch als Passagiere. So gesehen ist die heutige Situation, in der viele Assistenzsysteme den Menschen im Auto unterstützen, nur eine leidige Übergangszeit, bis die Gesellschaft so weit ist, den Maschinen das Kommando zu überlassen – denn die Maschinen sind schon so weit.

Es überrascht nicht, dass ein Techniksoziologe etwas anders darüber denkt. „Ich bin fest davon überzeugt, dass wir den Menschen gerade bei der Steuerung komplexer Systeme immer brauchen werden. Aktuell sowieso, und in der Zukunft auch. Das Stichwort lautet Zusammenarbeit: Wir brauchen neue Formen der Interaktion von Mensch und Maschine und eine Neujustierung der Rollen“, sagt Weyer.

#### Der heikle Moment der Übergabe

Momentan, sagt er, trägt der Mensch im Auto Verantwortung für etwas, das er gar nicht begreifen kann – unmöglich, dem gerecht zu werden. Es ist die anspruchsvolle Rolle eines Controllers, der ein sehr genaues Verständnis der Funktionsweise aller Systeme und auch ihrer Grenzen benötigt. „Die Automatik regelt 99 Prozent aller Situationen. Für den Menschen im Auto bedeutet das Routine und Monotonie. Aber in einem Prozent der Fälle muss ich eingreifen – dann muss ich mir in wenigen Sekunden ein Bild verschaffen und einen Überblick über die Lage gewinnen. Das ist mental eine enorm anspruchsvolle

Aufgabe“, so Weyer. „Wir müssen also die Systeme so einrichten, dass der Mensch es kann.“

Eine Analyse etlicher Unglücke in verschiedenen Branchen bestätigte: Immer wieder war es für die Beteiligten ein Problem, unter Zeitdruck ein mentales Lagebild zu entwickeln – also schnell zu entscheiden, wo man steht und was zu tun ist. Umso wichtiger sind die Strukturen der Interaktion zwischen Mensch und Maschine: Wie funktioniert in solch heiklen Momenten der Kontrollübergabe das Zusammenspiel von Mensch und Roboter, Avatar oder Spracherkennungssystem?

„MoFFa“, das Forschungsprojekt, an dem Prof. Weyer gemeinsam mit dem Bereich Regelungssystemtechnik der TU Dortmund und dem Forschungs- und Technologiezentrum Ladungssicherung Selm gGmbH (LaSiSe) arbeitet, ist die Abkürzung für „Holistisches Modell zur Interaktion von Fahrer und Fahrerassistenzsystemen“. Die ganzheitliche Herangehensweise ist das Besondere an dem Projekt, das dem Auto fahrenden Menschen letztlich dabei helfen soll, sicher und selbstbewusst am Steuer zu sitzen, auch wenn das Steuern über

## In Kürze

### Die Fragen

*Prof. Johannes Weyer beschäftigt sich in seiner Forschung mit der Verständigung zwischen künstlicher und menschlicher Intelligenz: Wie begegnen Menschen intelligenten Maschinen?*

### Die Forderung

*Die zunehmende Automatisierung von Fahraufgaben erfordert eine klare Rollenverteilung im Fahrzeug: Auto fahrende Menschen müssen sicher und selbstbewusst am Steuer sitzen, auch wenn das Steuern über weite Strecken die Maschine übernimmt.*

weite Strecken die Maschine übernimmt.

Für das Projekt machte sich das Team um den Techniksoziologen erst einmal daran, verschiedene Fahrertypen zu eruieren, um sie anschließend im Fahrsimulator und bei einer echten Fahrt auf der Teststrecke zu beobachten. „Wir vermuten, dass eine Rolle spielt, welcher Typ am Steuer sitzt“, sagt Weyer. Welcher Typus schaltet das Assistenzsystem aus, wenn es Fehler macht, und welcher versucht, seine Funktionsweise zu verstehen? Wer nimmt Hinweise des Systems entgegen und passt sein Fahrverhalten an, wer ignoriert sie?

#### Der individuelle Fahrassistent

„Wir sind gerade mittendrin und haben 1800 Personen schriftlich zu ihrem Fahrverhalten befragt. Nun wollen wir am Fahrsimulator gewisse Situationen nachstellen, um mit Hilfe von Scans und Kameras den Fahrertypen Bewegungsprofile zuzuordnen, z.B. eine bestimmte Körperhaltung oder Gesten. Das Ziel ist, anhand weniger Parameter erkennen zu können, welcher Fahrertyp im Auto sitzt“, so Weyer. Der Nutzen liegt auf der Hand: Jeder Typ könnte am Ende eine auf ihn abgestimmte Ansprache und Funktionalität des Assistenzsystems erhalten. Jemand, der mit der Technik nichts zu tun haben will, braucht andere Infos als jemand, der genau wissen will, was gerade geschieht.

Spannend für die Forscher ist vor allem das „Übergabeproblem“: Jene Situation, in der der Mensch die Kontrolle wieder übernehmen muss. Etwa, wenn das Auto voll autonom auf einer zweispurigen Landstraße fährt, in der Mitte eine weiße, durchgezogene Linie. Plötzlich taucht ein Fahrradfahrer auf. „Das autonom fahrende Auto wird das Fahrrad wegen der durchgezogenen Linie in der Mitte nicht überholen. Es bleibt hinter dem Radfahrer hängen“, sagt Weyer. „Es wird immer Situationen geben, in denen der Mensch übernehmen muss. Wie lange brauche ich dann, um wieder umzuschalten und eine Entscheidung

zu treffen? Fest steht: Ich muss ein gutes Gefühl haben und darf keine Scheu entwickeln, solche Situationen noch einmal zu erleben. Übergaben sind kritische Situationen, und wir wissen heute noch nicht, ob wir lernen werden, sie in Zukunft sicher zu bewältigen.“

#### Der unsichtbare Dritte auf dem Beifahrersitz

Wer übernimmt die Kontrolle in welchen Situationen, und vor allem: Wessen Regeln gelten dann? Bei dieser Frage kommt man schnell an seine Grenzen bzw. landet bei ethisch-moralischen Aspekten. Prof. Weyer nennt ein Beispiel: Ein Fahrer setzt sich ins voll autonome Auto und will es selbst fahren. Das System erkennt, dass er zu viel Al-

kohol getrunken hat. Darf der Mensch trotzdem fahren? Oder darf das System den Menschen daran hindern, wie es nun der Autohersteller Volvo plant? „Wir meinen, die beiden sollten das nicht untereinander ausmachen. Ein unabhängiges drittes System sollte entscheiden“, sagt Weyer. „Wir finden, dass im Auto immer drei sitzen müssen: Das autonome System, der menschliche Fahrer und ein Koordinator, der aufpasst, dass die beiden das richtig machen. In diesem System sind Normen und Regeln abgelegt“ – eine unsichtbare richterliche Instanz auf dem Beifahrersitz. Ein innovativer Vorschlag, der weitere Fragen aufwirft: Noch ein zusätzliches Modul im Auto? „Aber die Alternative wäre: Der Stärkere setzt sich durch. Ich denke, es ist sinnvoll, das Fahren-Können und Fahren-Dürfen voneinander zu trennen“, argumentiert Weyer.

Über die Frage, welche Regeln und Normen in diesem System hinterlegt werden, wird dann noch zu diskutieren sein. „Wir Soziologen sagen, man sollte die Automatisierung nicht übertreiben. Gewisse Situationen beherrscht nur der Mensch. Wenn es darum geht, stumpf immer das Gleiche zu tun, sind Automaten besser – etwa darin, ein Flugzeug zehn Stunden lang in die gleiche Richtung zu fliegen.“ Intuitives und schnelles Handeln allerdings ist die Sache autonomer Systeme nicht. „Dass wir Soziologen inzwischen überhaupt in die Forschung einbezogen sind, hat ja mit Fehlentwicklungen zu tun. Die Automatisierung war stark technikgetrieben – nun geht es darum, Mensch und Maschine miteinander in Verbindung zu bringen.“

Paradox sei das schon, findet Johannes Weyer: Die vollautonome Technik, die

ganz ohne den Menschen auskommen kann und will, muss nun „menschlicher“ werden, um mit uns interagieren zu können. Warum vertraut man nicht auf die Qualitäten des Menschen, sondern arbeitet an der Humanisierung der Technik? Und kommt man damit nicht in Teufels Küche?

#### Technik wird menschlich – und Menschen bleiben wichtig

Mit seinen Zweifeln und Bedenken steht Weyer nicht allein: Schließlich ist derzeit nicht alles erlaubt, was technisch möglich wäre – das gilt vor allem für die Künstliche Intelligenz. „Man kann schon heute Systeme so ausstatten, dass sie aus Erfahrungen lernen“, sagt Weyer. „Das heißt aber auch, ich

kann nicht mehr voraussehen, wie das System agiert. Alle Sicherheitsbestimmungen weltweit basieren derzeit noch darauf, dass Systeme voll kontrollierbar sind.“

Als Zeitung lesenden Passagier im eigenen Auto jedenfalls mag sich Prof. Weyer sich selbst nicht vorstellen. „Ich glaube, der Faktor Mensch im Auto wird umso wichtiger, je weniger er das Fahrzeug aktiv steuert.“

**Katrin Pinetzki**



Wer sitzt am Steuer? Wenn das Auto einen Fahrertyp erkennt, erhält dieser eine auf ihn abgestimmte Ansprache und Funktionalität des Assistenzsystems.



## Die Erde ist keine Scheibe

JProf. Henrike Haug vom Seminar für Kunst und Kunstwissenschaft forscht zu künstlichen Welten – zu Globen, die schon seit Jahrhunderten eine Vorstellung vom Planeten Erde vermitteln. Denn noch immer gibt es „Flacherde-Anhänger“, die die Meinung vertreten, dass die Erde eine Scheibe ist.

**In Kürze**

**Die Beobachtung**

Die Darstellung des Planeten Erde hat sich im Laufe der Menschheitsgeschichte entsprechend des jeweiligen Wissensstandes immer wieder verändert.

**Das Fazit**

Die Vorstellung einer Kugelgestalt stammt bereits aus der Antike – einige Flacherde-Anhänger lassen sich davon jedoch bis heute nicht überzeugen.



**JProf. Henrike Haug** studierte Kunstgeschichte, klassische Archäologie und mittelalterliche Geschichte an der Freien Universität Berlin und der Università di Pisa (Italien). Von 2009 bis 2015 arbeitete sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der TU Berlin. Ihre Dissertation verfasste sie am Kunsthistorischen Institut im italienischen Florenz (Max-Planck-Institut).

2017 wurde Henrike Haug als Juniorprofessorin für Kunstgeschichte an die Fakultät Kunst- und Sportwissenschaften der TU Dortmund berufen. Hier befasst sie sich mit dem Themenfeld „Materielles Erbe“. Zu ihren Forschungsinteressen gehören die visuellen Erinnerungskulturen der italienischen Stadtstaaten, das Materialwissen frühneuzeitlicher Goldschmieden sowie historische Techniknarrative. Sie arbeitet mit Studierenden an neuen Formaten zur Sammlung von Objektgeschichten für eine gemeinsame Erinnerungskultur.

**W**illiam Anders, Frank Bormann und Jim Lovell erlebten am ersten Weihnachtstag 1968 exklusiv, was zuvor noch kein Mensch gesehen hatte: Die Astronauten umkreisten an Bord des US-Raumsschiffs Apollo 8 als erste Menschen die Erde. Aus dem Weltall hatten sie einen hervorragenden Blick auf unseren blauen Planeten und sandten ein berühmtes Foto davon auf die Erde. Die US-Astronauten wurden so zu Augenzeugen der Kugelgestalt der Erde. Das aber können und mögen viele Menschen – vor allem die Mitglieder der Flat Earth Society – nicht glauben. Dabei wird seit Jahrhunderten mit Erdmodellen, den Globen, eine augenscheinliche Vorstellung von der tatsächlichen Gestalt der Erde vermittelt – wenngleich sich die Globen erst im Laufe der Jahrhunderte einer exakten Darstellung von Mutter Erde annäherten.

Henrike Haug, Juniorprofessorin an der Fakultät Kunst- und Sportwissenschaften der TU Dortmund, forscht zu diesen „künstlichen Welten“ und den unterschiedlichen Protagonisten aus diversen Wissensbereichen, die ab 1500 antraten, immer exaktere Abbilder der Welt zu schaffen, die sie selbst in ihrer Gesamtheit niemals sehen konnten. Es ist ein Netzwerk aus Vermessern und Seefahrern, aus Instrumentenbauern, Kartographen und Globenherstellern, die versuchten, ein „Bild der Welt“ zu erschaffen. Dabei entstand erst allmählich die uns so vertraute Form des Tischglobus: Frühere Formen sind beispielsweise Globuspokale, darunter ein Kunstwerk, das der Züricher Gold-

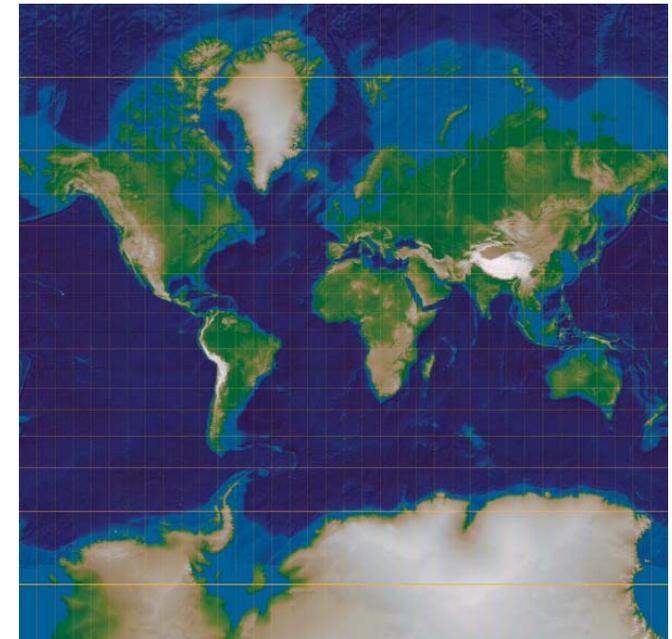
schmied Hans Jakob Stampfer um 1550 als ein hybrides Goldschmiedeobjekt schuf (Bild S. 38). Dieser Pokal kann als wissenschaftliches Instrument zur Vermessung von Zeit und Raum, als Anschauungsmodell der Erdgestalt und – praktischerweise – auch als Trinkschale für den Genuss von Wein genutzt werden. „Gleichzeitig kann an ihm abgelesen werden, mit welchen Problemen der Goldschmied zu kämpfen hatte, um das Abbild der Welt in eine anschauliche Form zu bringen“, berichtet Haug.

**Eurozentristische Sicht der Welt**

Die Faktenlage zur Erde mit ihren Meeren und Kontinenten war nämlich zu Lebzeiten des Goldschmieds ständigen Wandlungen unterworfen: Zwar hatte Ferdinand Magellan mit seiner Weltumsegelung von 1519 bis 1522 bewiesen, dass die Erde rund ist und die Weltmeere verbunden sind. Doch waren außerhalb von Europa die meisten Gebiete auf unserem Planeten noch nicht vollständig kartographisch erfasst: Der Name des – aus europäischer Sicht – „neu entdeckten“ Kontinents „America“ tauchte erstmals 1507 auf der berühmten Weltkarte von Martin Waldseemüller auf (Bild rechts). Eine Generation vorher war durch die Umsegelung des Kaps der guten Hoffnung durch portugiesische Seefahrer der Küstenverlauf des südlichen Afrikas erkundet und auf dem ersten erhaltenen Globus, dem Erdapfel von Martin Behaim in Nürnberg, verzeichnet worden.



Amerika tauchte erstmals 1507 auf der Weltkarte von Martin Waldseemüller auf.



Die „eurozentristische“ Weltansicht des Kartographen Gerhard Mercator prägt seit 1569 unsere Wahrnehmung.

Die berühmte Weltansicht des Kartographen Gerhard Mercator (Bild oben) – 1551 als Professor für Kosmografie an die neu zu gründende Universität Duisburg berufen – zeigte 1569 schon die Kontinente, bis auf Australien. Seine Art der Darstellung, die sogenannte Mercator-Projektion, ist bis heute wegen ihrer Winkeltreue für die See- und Luftfahrt bahnbrechend, im Detail aber größenverzerrt und damit fehlerhaft. Sie zeigt vor allem eine „eurozentristische Sicht“ der Welt, die unsere Wahrnehmung bis heute stark prägt: Europa ist „Mittelpunkt“ der Welt, an den „Rändern“ liegen Asien und Afrika, das langsam in den Blick tretende Amerika bleibt als ferner – und wilder – Westen lange Zeit ein weißer Fleck auf der Landkarte. Wenn heute eine Weltkarte betrachtet

wird, schaut der Mensch ein Kunstwerk an, das im 16. Jahrhundert geschaffen wurde – ein Faktum, das wohl die Wenigsten bewusst bedenken. „Die Schöpfer von Globen näherten sich in der Ausführung ihrer Modelle dem aktuellsten Stand des Wissens an, den ihnen die Seefahrer und Entdecker zur Verfügung stellen konnten“, berichtet JProf. Haug. Dem Goldschmied Stampfer beispielsweise standen vielfältiges zweidimensionales Kartenmaterial sowie Berichte von Ländern und Meeren zu Verfügung, aus denen er sein dreidimensionales Abbild der Erde erstellte.

Doch Stampfer ließ sich von dieser unvollständigen und sich stetig wandelnden Faktenlage nicht abschrecken – er integrierte sie sogar in Teilen in sein

Weltbild, wenn er zur „Terra Australis“ (hier noch nicht Australien, sondern ein legendärer Südkontinent, aus dem erst später die Antarktis werden sollte) vermerkt, dass sie gerade erst „aufgefunden“ und noch nicht gänzlich erforscht sei. Er schuf ein multifunktionales Artefakt: Sein Globus ist in eine Halterung eingelassen, deren Fuß einen Horizontring trägt, in dem ein Meridianring senkrecht steht. Der Globus kann damit sowohl um die eigene Achse gedreht, als auch in jede beliebige Lage gekippt werden, indem die Polachse bewegt wird, die auf dem Meridianring läuft.

War dieses Unikat Ergebnis der Arbeit eines – offensichtlich hochbegabten – Goldschmiedemeisters, der mit seinem Globuspokal den Mitmenschen

weit mehr als nur die Welt erklärt? Das Artefakt liefert nämlich noch mehr Informationen als die Tatsache, dass die Erde eine Kugel ist: Ein halbkreisförmiger Ring zeigt den nördlichen Polarkreis an. Darüber erhebt sich eine Armillarsphäre, also eine Weltmaschine, die als astronomisches Gerät zum Messen der Himmelskreise eingesetzt wurde. Sie ist als ein kugelförmiges System von Reifen ausgeführt, die die vermeintlichen Planetenlaufbahnen um die Erde in umlaufenden Ringen veranschaulicht.

Der Globuspokal, dieses Abbild der Welt und des Weltalls aus dem Jahr 1550, entstand in Zusammenarbeit des Handwerkers mit Wissenschaftlern: „Das auf den ersten Blick verspielte Kunstkammer-Objekt offenbart sich als Produkt mehrerer Wissensformen“, so Henrike Haug. „Es konnte nur durch die Kombination der Fähigkeiten des Goldschmieds mit dem Wissen von Mathematikern, Vermessern und Kartographen entstehen.“ Auf dem Fuß des Pokals ist ein ewiger Kalender eingraviert, auf dem Horizontring sind die Tierkreiszeichen, die Monate und Tage des Jahres, die wichtigsten Heiligenfeste, die Monatsnamen sowie die vier Himmelsrichtungen ablesbar. Die Armillarsphäre dient darüber hinaus als Sonnenuhr, der Globus zeigt neben der Jahresbahn der Sonne, den Tierkreiszeichen und einigen Sternen die Weltmeere in Silber und die Kontinente und Inseln in Gold – quasi das gesamte damals bekannte Universum – in einem Werkstück.

#### Die Erde als dreidimensionales Objekt

Dies alles zeigt, wie Wissenschaftler und Handwerker an einem Erklärungsmodell für unseren Planeten und darüber hinaus bisweilen auch für das Weltall arbeiteten, vermaßen und beobachteten und dabei versuchten, die gesammelten Daten in ein schlüssiges Weltbild zu überführen. Die Vorstellung von der Kugelgestalt entstammt dabei der Antike und war das gesamte Mittelalter über bekannt – so dass die Vorstellung von einem „finsternen Mittelalter“, das an die Welt als Scheibe

glaubte, keineswegs korrekt ist. Was sich um 1500 vor allem änderte, waren der Zugang zur Welt, eine Zunahme an präzisen Messinstrumenten, das empirische Sammeln von Daten, die Genauigkeit der Vermessung – und eben auch die Visualisierungen in Form von Karten und von Globen.

Der griechische Philosoph Aristoteles hatte die Welt bereits als Kugel in einem Planetensystem eingeordnet. Der 145 vor Christi Geburt gestorbene Philosoph Krates von Mallos hatte die Welt als Kugel gesehen und einen ersten Globus gebaut. Wie genau dieser Globus aussah, ist nicht überliefert. Die Forschung nimmt an, dass es sich um ein abstrahierendes Bild der damals bekannten Welt handelt: die Erdteile Europa, Asien und Afrika, sowie die Klimazonen, die in

für bewohnbar gehalten und für Menschen nicht bewohnbare Gebiete unterteilt wurden.

Aus dem 13. Jahrhundert liegen sichere Informationen über einen aus Gold und Perlen gearbeiteten Himmelsglobus vor, den der Hohenstaufenkaiser Friedrich II. durch arabische Gelehrte anfertigen ließ, die an seinem Hof lebten. Schon Kaiser Karl der Kahle (gestorben 877) trägt als Insignien seiner Macht und Ausweis seines universalen Herrschaftsanspruchs eine Weltkugel mit Kreuz in der Hand, so ist er in seinem Psalter in der Pariser Nationalbibliothek abgebildet: Auch solch eine Darstellung kann als Zeugnis dafür gewertet werden, dass wissenschaftliche Eliten der Erde eine Kugelgestalt gaben. Ein erhaltenes Objekt dieser Weltsticht

Globuspokal um 1550  
von Hans Jakob Stampfer



Reichsapfel um 1200,  
verwahrt in der Kaiserlichen  
Schatzkammer Wien



ist der heute in der Schatzkammer der Wiener Hofburg verwahrte globus crucifer, der Reichsapfel des heiligen römischen Reiches (Bild oben).

#### „Globen formen noch heute unser Weltbild“

Die künstliche Welt Globus, diese Miniatur-Erde, erklärt also schon seit Jahrhunderten unseren Planeten als eine Kugel: Sie wurde nur ab dem 16. Jahrhundert immer genauer erschlossen und dabei auch größer: Zeigte der Erdapfel von Behaim 1493 allein die damals bekannten drei Kontinente Europa, Asien und Afrika, tauchte bald auch Amerika auf den Kugeln auf. Wichtig ist auch im Blick zu behalten, dass

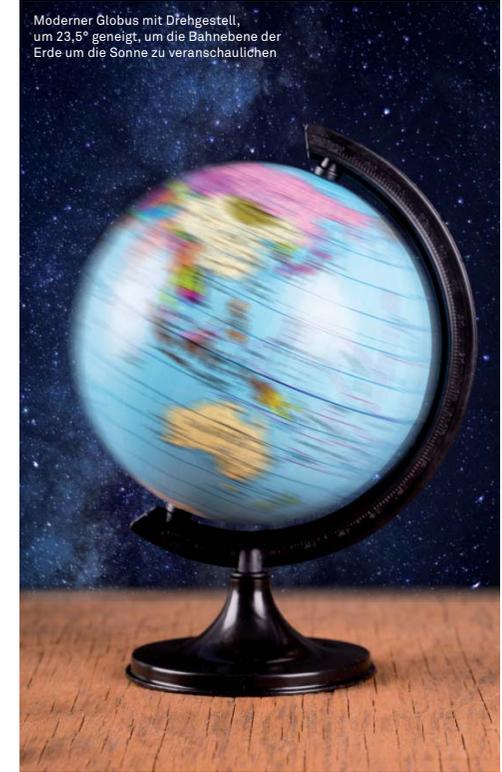
die kartographische Erfassung und visuelle Darstellung der Welt durch die Europäer dabei nicht allein aus rein wissenschaftlichem Interesse erfolgte. Karten (und Globen) seien – darauf verweist der französische Soziologe Bruno Latour – zwar Papier und Zeichen, die aber in den Händen von Kolonialmächten dazu dienen, ganze Länder zu besetzen und zu unterwerfen.

Ab der Mitte des 16. Jahrhunderts finden sich Karten und Globen überall – und avancieren zum Zeichen der europäischen Expansion, die „fremde“ Länder erobert und ausbeutet und damit neue Waren und Edelmetalle in bisher nicht gekanntem Ausmaß für die sich rasant verändernden Märkte und den neu entdeckten Konsum von Luxusgütern erschließt. Zugleich sind sie

sichtbares Zeichen der Erforschung und immer detaillierteren „Entdeckung“ der Welt – die heute sicher keine weißen Flecken mehr zeigt und scheinbar gänzlich erfasst ist.

Die Flacherde-Anhänger überzeugt das nicht. Sie verkehren im Gegenzug die Argumentation: Schon im Kindergarten würde der menschliche Nachwuchs mit Globen programmiert, den Planeten Erde als Kugel zu sehen. Das seien Fake News. „Es ist leider beinahe aussichtslos, wissenschaftlich gegen solche Meinungen zu argumentieren“, sagt JProf. Henrike Haug. „In einem Punkt haben sie sogar Recht im Unrecht: Schließlich formen Globen noch heute unser Weltbild.“

Martin Rothenberg





## Retter in der Not

In Dortmund entsteht das Deutsche Rettungsrobotik-Zentrum (DRZ), in dem Partner aus Forschung und Industrie sowie Einsatzkräfte aus ganz Deutschland gemeinsam mobile Robotersysteme für die zivile Gefahrenabwehr entwickeln. Prof. Christian Wietfeld bringt im DRZ seine Expertise auf dem Gebiet der zuverlässigen, drahtlosen Vernetzung ein.

## „Roboter können in gefährlichen Situationen Aufgaben von Rettungskräften übernehmen.“

Prof. Christian Wietfeld



Prof. Christian Wietfeld hat an der RWTH Aachen Elektrotechnik studiert und dort 1997 seine Promotion mit Auszeichnung abgeschlossen. Nach verschiedenen Stationen in der Industrie leitet er seit 2005 den Bereich Kommunikationsnetze an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dortmund. Seit 2014 ist er stellvertretender Sprecher im SFB 876 „Verfügbarkeit von Information durch Analyse unter Ressourcenbeschränkung“. Er leitet verschiedene Forschungsprojekte, u.a. LARUS. Zudem ist Prof. Wietfeld Mitherausgeber des IEEE Wireless Communication Magazines. 2018 wurde er in den wissenschaftlichen Programmausschuss „Forschung für die zivile Sicherheit“ des BMBF berufen. Er forscht schwerpunktmäßig zu Systementwürfen, Modellierungen und Leistungsbewertungen modernster Kommunikationsnetze. Im Mai 2019 hat Prof. Wietfeld das „Competence Center 5G.NRW“ eingeworben, das die Landesregierung mit 1,2 Millionen Euro fördert.

### In Kürze

#### Die Innovation

Autonome Robotersysteme sollen Rettungskräfte zukünftig bei gefährlichen Einsätzen im Bereich der zivilen Gefahrenabwehr unterstützen.

#### Die Forschung

Im Deutschen Rettungsrobotik-Zentrum in Dortmund entwickeln und erproben Partner aus Forschung, Industrie und Rettungswesen Anwendungen für den praktischen Einsatz.

Eine Fabrik steht in Flammen. Zahlreiche kleine, unbemannte Raupenfahrzeuge mit beweglichen Löscharm rücken aus, den Brand zu löschen, während gleichzeitig Roboter im Gebäude Türen öffnen, um nach verschütteten Personen zu suchen und Drohnen zur Erkundung in die Kaminschächte fliegen – alles orchestriert von Einsatzkräften, die in einer mehrere hundert Meter entfernten, mobilen Leitzentrale sitzen. Was nach Science Fiction klingt, könnte in Dortmund schon bald Realität werden.

Auf dem ehemaligen Industriegelände Phoenix West in Dortmund-Hörde entsteht derzeit ein nationales Kompetenzzentrum, in dem Vertreterinnen und Vertreter aus Forschung und Industrie gemeinsam mit Rettungskräften mobile Robotersysteme für die zivile Gefahrenabwehr entwickeln. Basis hierfür bieten die vier Leitszenarien Feuer, Einsturz und Verschüttung, Detektion von Gefahrstoffen sowie Hochwasser. Denn trotz guter Ausbildung, taktischer Konzepte und zuverlässiger Schutzausrüstung werden jedes Jahr weltweit Einsatzkräfte während ihrer Arbeit verletzt oder getötet. „Die Roboter sollen einen schnellen Überblick über die Gefahrenlage liefern, außerdem können sie in gefährlichen Situationen Aufgaben von Rettungskräften übernehmen und somit zu deren Schutz und Unterstützung beitragen“, erklärt Prof. Christian Wietfeld vom Bereich Kommunikationsnetze an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der TU Dortmund.

Die Anforderungen an die Rettungsrobotersysteme sind vielfältig. Wietfeld und sein Team bringen beim Aufbau des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrums (A-DRZ) ihre Expertise auf dem Gebiet der zuverlässigen Vernetzung und drahtlosen Kommunikation ein. In einem Living Lab, einem innen- und außenliegenden Testparcours auf dem Gelände des DRZ, werden sich die Roboter unter herausfordernden, realen Bedingungen beweisen müssen. Hierzu zählen unter anderem Störungen im Kommunikationskanal, die der Bereich Kommunikationsnetze der TU Dortmund simulieren wird. „Störungen im



Das Projekt LARUS erforscht, wie Drohnen bei der Ortung, Suche und Rettung von havarierten und in Seenot geratenen Personen eingesetzt werden können.

Mobilfunk sind Realität. Das erlebt man auch als Handynutzer immer wieder“, sagt Wietfeld. „Die Robotikforschung hat sich bislang darauf konzentriert, mechanische Fähigkeiten zu verbessern, damit die Roboter beispielsweise Hindernisse aus dem Weg räumen können. Die kommunikationstechnischen Herausforderungen sind dagegen noch nicht ausreichend angegangen worden.“

#### Seenotrettung per Drohne

Bei der Entwicklung einer zuverlässigen Kommunikationslösung können Wietfeld und seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf ihre Erfahrungen aus LARUS zurückgreifen. LARUS ist ein bereits seit 2016 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördertes Forschungsprojekt zur „Lageunterstützung bei Seenoteinsätzen durch unbemannte Luftfahrtsysteme“, dessen Verbundkoordinator Wietfeld ist. Für havarierte Schiffe und in Seenot geratene Menschen zählt jede Minute. Die Vorteile eines drohnen-gestützten Rettungseinsatzes liegen dabei auf der

Hand: Mit einer Geschwindigkeit von bis zu 200 km/h erreichen die Flugobjekte den Unglücksort wesentlich schneller als ein Gefährt zu Wasser. Da sie unbemannt sind, können sie zudem auch unter ungünstigen Wetterbedingungen eingesetzt werden. Außerdem sind sie in der Lage, in Echtzeit präzise Informationen über die Situation vor Ort zu liefern. Dies zu gewährleisten, ist die Aufgabe des Bereichs Kommunikationsnetze der TU Dortmund, der die Kommunikation zwischen der Leitzentrale und dem Unmanned Aerial Vehicle (UAV), also der Drohne, erforscht und optimiert hat. Die Funkverbindung muss aus zwei Gründen besonders stabil und zuverlässig sein: zum einen, damit das Fluggerät, das sich in der Regel außerhalb der Sichtweite der Pilotin oder des Piloten befindet, sicher gesteuert werden kann und zum anderen, um wichtige Nutzdaten übertragen zu können.

Erfasst eine Drohne ein AIS-Signal (Automatic Identification System), das Schiffbrüchige unter anderem von ihrer Schwimmweste aus senden können, leitet sie dies an die Zentrale weiter und verharrt zunächst in Wartestellung. Die

### DRZ

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert den Aufbau des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrums (A-DRZ) für zunächst vier Jahre mit knapp 12 Mio. Euro. An dem Kompetenzzentrum, das das Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie der Stadt Dortmund koordiniert, sind neben der TU Dortmund unter anderem die FH Dortmund, die Universität Bonn, das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz Saarbrücken und das Brandschutzunternehmen Minimax beteiligt. Ein Ziel des DRZ besteht darin, Prüfkriterien zu entwickeln, nach denen zukünftige Robotersysteme standardisiert und zertifiziert werden können. Um einen Fortbestand des DRZ über den Förderzeitraum des BMBF hinaus zu sichern, haben die beteiligten Projektpartner bereits den Verein DRZ e.V. gegründet. Prof. Christian Wietfeld vertritt die TU Dortmund im Präsidium des DRZ.

Rettungskräfte konzipieren dann den Einsatz und grenzen ein Gebiet ein, in dem die Drohne anschließend autonom nach der Unglücksstelle sucht. Anhand ihrer Sensordaten und eines intelligenten Suchalgorithmus passt sie das Suchschema selbstständig an. Die in LARUS entwickelten UAVs fungieren zudem als Aerial Hotspot, sie beinhalten also eine kleine Basisstation, mittels derer ein lokales Funknetz aufgespannt werden kann. Hat der Havierte ein Handy oder eine andere Funkquelle zur Verfügung, kann er auf diese Weise mit der Leitzentrale Kontakt aufnehmen.

Eine besondere Herausforderung für das Kommunikationssystem liegt in der großen Entfernung zwischen Leitzentrale und Drohne. So sollen Distanzen bis zu 30 Kilometer überbrückt werden. Auf dem Dach des mobilen Einsatzfahrzeuges, das die TU Dortmund zu Testzwecken angeschafft und ausgerüstet hat, befinden sich daher zwei Antennen, die Signale sowohl empfangen als auch senden können. Über einen Steuerlink erhalten die Rettungskräfte im Einsatzmobil Informationen über die aktuelle Position der Drohne und können wiederum die Antenne für den Nutzpfad in die entsprechende Richtung lenken. Wietfeld erklärt: „Bei dem Nutzpfad handelt es sich um eine Verbindung mit hohen Bit-Raten, die etwa hochwertige Videoübertragungen und sogar die Durchführung eines EKG ermöglicht. Hat jemand an Bord eines havarierten Schiffes gesundheitliche Probleme, kann per Telemedizin eine ärztliche Unterstützung über Audio und Video stattfinden.“

#### Starker Seegang hilft bei der Funkübertragung

Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus der besonderen Eigenart von Funkwellen, da diese in höheren Frequenzbereichen neben dem direkten Pfad immer auch Reflexionen in der Umgebung verursachen. Überlagern sich der direkte Pfad und die Reflexionen, entstehen sogenannte Interferenzmuster – ein in der Funktechnik herausforderndes Szenario, da es zu einer



Das Einsatzmobil der TU Dortmund unterstützt inzwischen den neuen Mobilfunkstandard 5G. Neben zwei leistungsstarken Antennen auf dem Dach gehören auch verschiedene Drohnen zur Ausrüstung.



Auslöschung aller Funkwellen und somit zu einem temporären Funkloch führen kann. Im maritimen Anwendungsfall sind die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu einem auf den ersten Blick überraschenden Ergebnis gelangt: Je ruhiger das Meer, desto stör anfälliger die Funkverbindung. „Eine im wahrsten Sinne des Wortes spiegelglatte Wasseroberfläche wirkt dann als idealer Reflektor, die Funkwellen werden also kaum gedämpft und treffen den direkten Pfad, während sie bei aufgerauter See abgefangen und in unterschiedliche Richtungen gelenkt werden“, so Wietfeld. Diese Wirkung eines starken Wellengangs hatten er und sein Team zunächst in einem Funkkanalmodell modelliert und anschließend in mehreren Feldversuchen validiert.

Die in den Simulationen gewonnenen Erkenntnisse werden sie nun im DRZ einbringen können. Auch bei einem Einsatz von Rettungsrobotern muss eine zuverlässige Kommunikation garantiert sein, nicht zuletzt, weil es sich um eine sicherheitsrelevante Anwendung handelt. Deshalb werden im Living Lab gezielt Reflexionsflächen in die Szenarien integriert, um die Funkübertragung und Vernetzung der Systeme darauf vorzubereiten und zu optimieren. Im Gegensatz zu LARUS müssen allerdings keine großen Entfernungen überbrückt werden, da sich die mobile Einsatzzentrale in der Nähe des Unglücksortes befindet. Aus diesem Grund werden neben der LTE-Übertragung, die bei den Versuchen zur drohnengestützten Seenotrettung überwiegend zum Einsatz kam, auch



Der Transporter dient als mobile Leitzentrale. Von hier aus können die Rettungskräfte den Einsatz steuern, Lagebilder ansehen und Kontakt zu den Drohnen und Robotern halten.

WiFi-Techniken der neuesten Generation genutzt. Der Fokus wird im DRZ allerdings auf dem neuesten Mobilfunkstandard 5G liegen, der echtzeitfähig, besonders zuverlässig und auf die Kommunikation zwischen Maschinen sowie die Vernetzung im Internet der Dinge ausgelegt ist. Das Stichwort lautet: Ultra Reliable Low-Latency Communication (URLLC), eine hohe Zuverlässigkeit der Funkverbindung gepaart mit einer möglichst geringen Verzögerung.

#### Roboter sollen sich kommunikationssensitiv verhalten

Da Störungen grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden können, wird stets

Doch wie legt der Roboter bei all den zu beachtenden Kriterien überhaupt seine Route fest? Für den Einsatz von Rettungsrobotersystemen sind unzählige Szenarien denkbar. Um die verschiedenen Ziele und Herausforderungen miteinander in Einklang zu bringen, gleicht der Roboter diese mit einem Entscheidungsalgorithmus ab. Er bedient sich also der Methoden des Maschinellen Lernens. „Mir ist wichtig, dass an dieser Stelle für Transparenz gesorgt wird“, betont Wietfeld. „Bei einem kombinierten Einsatz mit Robotern setzen Menschen teilweise ihr Leben aufs Spiel und müssen ihren künstlichen Helfern vertrauen. Sie sollten daher nachvollziehen können, auf welcher Grundlage die Roboter ihre Entscheidungen treffen oder wie sie ein Lagebild erzeugen und sichergehen können, dass das System nicht unvorhergesehen reagiert.“

#### Im Einsatz zwischen Notfall und Prävention

Neben Katastrophen wie beispielsweise Störfällen in Industrieanlagen sollen die Rettungsroboter auch in der Prävention eingesetzt werden. So ist denkbar, dass Roboter selbstständig vorgegebene Bereiche inspizieren oder kleine autonome Löschfahrzeuge in Gebäuden bereitstellen, um die aufwendig zu installierenden Sprinkleranlagen zu ersetzen.

Das eingangs beschriebene Szenario ist also viel weniger Zukunftsmusik, als es zunächst scheint. Zumindest im Living Lab des DRZ werden schon in den kommenden drei Jahren Roboter über Hindernisse klettern, mit Einsatzkräften kommunizieren und autonom agieren. Bei ihnen handelt es sich um kleine und kompakte Maschinen, humanoide Gestalten sind – zumindest in der Rettungsrobotik – also vorerst tatsächlich noch Science-Fiction-Filmen vorbehalten.

Lisa Burgardt



## Künstlicher Händedruck

Makerspaces liegen im Trend. Deutschlandweit gibt es mittlerweile mehr als 250 dieser offenen Werkstätten für Bastler und Erfinder. Das Dortmunder SELFMADE bietet erstmals auch Menschen mit Behinderungen diesen Raum für Kreativität – mit überraschenden Ergebnissen.

## In Kürze

### Die Herausforderung

Menschen mit Beeinträchtigungen benötigen vielfach Hilfsmittel, die individuell auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind.

### Die Chance

Im Makerspace der AWO und der TU Dortmund lassen sich mithilfe eines 3D-Druckers maßgeschneiderte Produkte herstellen.



**Dr. Bastian Pelka** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sozialforschungsstelle der TU Dortmund. Hier koordiniert er den Forschungsbereich 3 „Arbeit und Bildung in Europa“, seit 2013 lehrt er zudem „digitale Inklusion“ sowie „Berichterstatter“ an der Fakultät Rehabilitationswissenschaften. Nach dem Studium der Kommunikationswissenschaft, Soziologie und Politikwissenschaft arbeitete der gebürtige Dortmunder als freier Journalist, bevor er 2002 an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster promoviert wurde. Seine Forschungsinteressen umfassen unter anderem einclusion, soziale Innovation für benachteiligte Zielgruppen, Aus- und Weiterbildung, Forschung am Übergang zwischen Schule und Arbeitswelt sowie elektronische Medien.



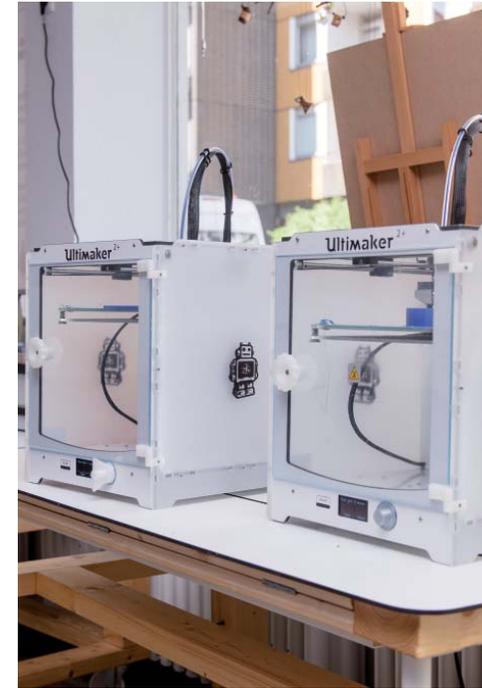
**JProf. Ingo Bosse** ist seit 2013 Juniorprofessor für motorisch-körperliche Entwicklung in Rehabilitation und Pädagogik an der Fakultät Rehabilitationswissenschaften der TU Dortmund. Er studierte Lehramt für Sonderpädagogik in Dortmund, wo er auch promoviert wurde. Als Lehrer arbeitete er sowohl an Förderschulen als auch an Schulen für gemeinsames Lernen in Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt. Als Wissenschaftler war er an den Universitäten in Leipzig und in Halle tätig. Bosse forscht zu Medienpädagogik und -didaktik, Behinderung und Medien sowie Teilhabe und Inklusion. Er ist seit 2014 Sprecher des Fachausschusses Medien und Kommunikation beim Inklusionsbeirat zur Umsetzung der UN-Berlinerrechtskonvention.

Handprothesen in Trendfarben, direkt mit Tattoos. Wir hatten die wildesten Ideen“, lacht Henrike Struck. „Aber was unsere Beschäftigten wirklich brauchen, sind zunächst ganz normale Dinge für das alltägliche Leben.“ Die 52-Jährige ist Leiterin des Bereichs „Menschen mit komplexer Behinderung“ bei den Werkstätten der Arbeiterwohlfahrt (AWO) Dortmund. Sie spricht über das Projekt SELFMADE, das sie zusammen mit der TU Dortmund auf die Beine gestellt hat. Doch von vorn:

Angefangen hat es mit einer Reise. Dr. Bastian Pelka von der Sozialforschungsstelle und JProf. Ingo Bosse aus der Fakultät Rehabilitationswissenschaften der TU Dortmund besuchten europaweit verschiedene Makerspaces, zu Deutsch etwa „Kreativwerkstätten“. Hier treffen sich Menschen, um sich gegenseitig zu helfen, indem sie Wissen und Werkzeuge teilen. Die Bandbreite ist dabei grenzenlos und vom jeweiligen Ort abhängig: Von der Nähmaschine über Filmequipment bis zur oszillierenden Spindelschleifmaschine kann alles dabei sein.

„Dabei haben wir festgestellt, dass Makerspaces immer einen sozialen Aspekt beinhalten“, berichtet Pelka. „Zum Beispiel geht es in Gegenden mit Bürgerkriegserfahrung oft konkret um das Drucken künstlicher Gliedmaßen. Grundsätzlich ist bei allen Kreativwerkstätten das Miteinander ein zentraler Punkt.“ Der 43-Jährige ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sozialforschungsstelle und entwickelte gemeinsam mit Bosse die Idee, ein inklusives Makerspace anzustoßen. Pelkas Hauptforschungsthema ist die „soziale Innovation“, die im Wesentlichen die Frage bewegt: Was bringt Menschen zu neuen Verhaltensweisen? Bosse brachte die Kompetenz zur pädagogischen Förderung von Menschen mit Behinderung sowie zur unterstützten Kommunikation mit ins Projekt.

Gemeinsam gingen sie auf die AWO Dortmund zu, um ein Makerspace zu entwerfen, das auch – aber nicht nur – Menschen mit Behinderung die Möglichkeit bietet, eigene Ideen zu verfol-



Die 3D-Drucker rattern im Makerspace in der Dortmunder Innenstadt vor sich hin (links) und drucken individuelle Hilfsmittel für Menschen mit Behinderungen. Im Regal lagern Muster und Druckanleitungen der Produkte, die hier bereits entstanden sind (rechts).

gen, Dinge zu entwerfen und schließlich das Produkt ihrer Arbeit in den Händen zu halten. Eben SELFMADE: selbstgemacht. Mit diesem Konzept punkteten sie auch im Wettbewerb „Light Cares“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF): So wurde SELFMADE von März 2017 bis September 2018 mit 100.000 Euro gefördert, die hauptsächlich in Personalmittel für das pädagogische Konzept flossen. „Unseres Wissens gibt es nur ein weiteres inklusives Makerspace in Deutschland, bei dem es aber im Detail um den Druck stylischer Prothesen geht“, so Bosse. „Das macht uns ziemlich einzigartig.“

Drei 3D-Drucker stehen in den Räumen der AWO in der Dortmunder Innenstadt. Einer rattert im Schaufenster vor sich hin, immer wieder schauen Passantinnen und Passanten neugierig zu. Dahinter sehen sie einen großen, hellen Raum

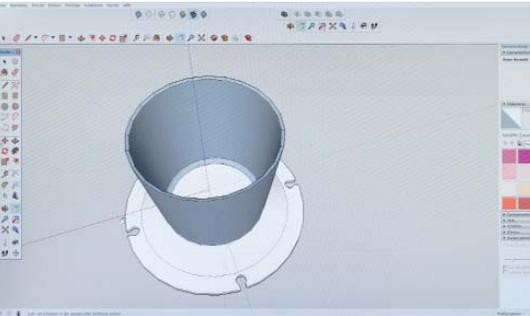
mit breiten Fensterfronten. Entlang des Schaufensters stehen die Drucker. Daneben ein Regal mit vielen durchsichtigen Boxen: Hier lagern Muster und Druckanleitungen der Produkte, die hier bereits entstanden sind. Hauptnutzerinnen und -nutzer der Technologie sind die Angestellten der Werkstätten für Menschen mit Behinderung.

### Schicht für Schicht zum individuellen Hilfsmittel

Doch wie funktioniert ein 3D-Drucker überhaupt? Allen Varianten dieser „Additiven Fertigung“ ist gemein, dass sie als Grundlage 3D-Dateien benötigen. Daraus entstehen anschließend dreidimensionale Objekte, indem schmelzbares Material, Pulver oder eine Flüssigkeit wie Epoxidharz verfestigt wird.

Schicht für Schicht entsteht so ein Objekt. Industriell wird die Technik bereits seit Langem für Kleinserien oder Prototypen genutzt, mit den Makerspaces erobern die Drucker nun die Welt der Tüftlerinnen und Tüftler. Dabei sind die kleinsten Maschinen nicht viel größer als eine Standardzettelbox, die größten drucken gar einstöckige Häuser von über 200 m<sup>2</sup> Fläche in einem Stück.

Einmal an diese Technik herangeführt, sprudelten die Ideen bei den Angestellten der AWO-Werkstätten nur so. Vor allem die kleinen Dinge des Alltags sind es, die die Bastlerinnen und Bastler dringend brauchen. So ist der Kaffeeautomat in den Werkstätten nur mit den herstellereigenen Plastikbechern kompatibel. Heißer Kaffee in einem filigranen Becher und eine Spastik in den Händen vertragen sich allerdings nur schlecht. Die Lösung war eine der



Hilfsmittel, die an einem der vielen Arbeitsplätze im Makerspace auf dem Rechner entstehen, werden im 3D-Drucker Schicht für Schicht Realität.

ersten Kreationen aus dem Drucker und ist bis heute einer der Renner: Der Becherhalter aus stabilem Kunststoff passt genau in die Ausgabeöffnung des Automaten, nimmt den hineinfallenden Standardbecher auf und besitzt große Henkel für den sicheren Griff. Aber auch individuell an die körperlichen Möglichkeiten angepasste Flaschenöffner, Stifthalter oder Besteckverdickungen entwerfen und drucken die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter regelmäßig.

#### Stufensystem erlaubt Teilhabe für alle

Dabei ist den initialen Ideengebern eines ganz wichtig: „Hier geht es um das Selbermachen, man gibt nichts in Auftrag“, erläutert Pelka. „Wir wollen eine Brücke schlagen zwischen dem, was Menschen können und dem, was die Technologie braucht. Dabei haben wir für jeden einen Weg gefunden: unterschiedlich steil und zum Teil in ver-

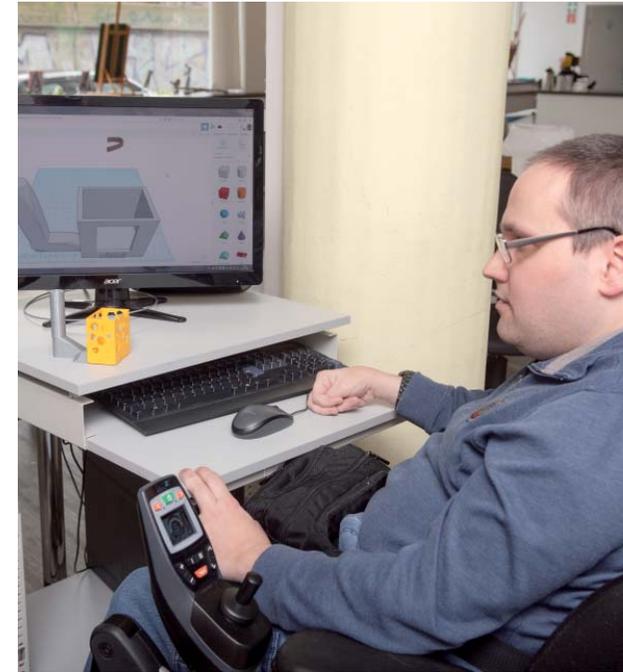
schiedenen Farben, aber letztlich für jeden zu meistern“, so Pelka. Dazu haben sie ein Stufensystem entwickelt:

In Stufe 1 sucht sich eine Person aus dem bestehenden Fundus das Produkt ihrer Wahl entweder aus dem Regal im Makerspace oder auf einer Online-Plattform aus, speist die Daten per SD-Karte in den Drucker ein und startet den Prozess. In Stufe 2 ändert der kreative Kopf zuvor etwas an der Vorlage, um das Produkt besser an den eigenen Bedarf anzupassen. Wer etwas ganz Neues erfindet, bringt sich in Stufe 3 ein. „In diese Kategorie fällt eindeutig die Plektronhand, die sich jemand mit nur einer natürlichen Hand zum Gitarrespielen entworfen hat“, erinnert sich Henrike Struck von der AWO. Die Objekte sind in der Regel aus Kunststoff, aber auch Materialien mit Holz- oder Metallbeimischungen kommen vor. Für Pelka schließt sich hiermit eine Lücke: „Der 3D-Druck ist das fehlende Puzzlestück zwischen Digitalisierung

und physischer Welt. Er eröffnet einen Markt zwischen Massenproduktion und spezialisierten Hilfsmitteln.“

Das Spannende ist die gemeinsame Lust am Machen. Dennoch gibt es zunächst oft Berührungsängste, Passantinnen und Passanten sind neugierig, trauen sich aber nicht recht herein. Daher kommen viele zunächst über persönliche Kontakte: Ein Mitarbeiter der AWO mit Asperger-Autismus wollte gern regelmäßig kommen, hatte aber keine Fahrgelegenheit. Die bot ihm schließlich sein Nachbar, ein Rentner, der selbst etwas im Makerspace entwerfen wollte. Auf diese Weise haben beide ein gemeinsames Hobby entdeckt und kommen nun regelmäßig gemeinsam her.

Auch Thorsten Speckmann hat bereits persönlich von der neuen Technik profitiert. Der 41-Jährige arbeitet in der Telefonzentrale der AWO-Hauptwerkstatt für Menschen mit Behinderung



und kommt mit den modernen Smartphones nur schwer zurecht: Hält er sein Telefon mit einer Hand oben fest, geben die Finger auf dem Touchdisplay bereits ungewollt Befehle ein – der breite Rand früherer Generationen fehlt. Kurzerhand entwarf er sich eine Griffverlängerung für sein Telefon, die es ihm nun erlaubt, es mit einer Hand sicher zu halten und mit der anderen zu tippen.

Doch natürlich gibt es auch zwischenmenschliche Herausforderungen, die es zu meistern gilt. Zum Beispiel kommunizieren nicht alle über gesprochene Sprache: Eine SELFMADE-Nutzerin verständigt sich ausschließlich über Kopfschütteln und -nicken – da kann es schon mal etwas länger dauern, bis der Wunsch klar umrissen und das Produkt zufriedenstellend gestaltet ist. Oder Talker: Bieten die Sprachcomputer überhaupt das Vokabular, das man für eine Entwicklung benötigt? Menschen mit kognitiver Beeinträchtigung wiederum möchten vielleicht anfangs noch

nicht die Technik bedienen, lernen lieber erst Raum und Menschen kennen. „Man muss sich dessen bewusst sein, dass es viele individuelle Herausforderungen gibt“, berichtet Bosse.

#### Hinaus aus dem Elfenbeinturm, hinein ins Leben

Dass die Mühen sich gelohnt haben, steht für die Projektpartner jedoch fest: „Mit SELFMADE haben wir es geschafft, Innovation ins Wohlfahrtssystem zu bringen, den sprichwörtlichen Elfenbeinturm zu verlassen und mitten ins Leben zu gehen“, resümiert Pelka. Denn wie gut der Makerspace angenommen wird, das hat selbst die Projektpartner etwas überrascht. Offenbar füllt SELFMADE eine Bedarfslücke, von der zuvor niemand wusste, dass sie existiert.

Auch in wissenschaftlicher Hinsicht ist das Projekt ein voller Erfolg: Neben

dem Stufenmodell für die Teilhabe aller Menschen haben die Initiatoren mit dem Makerspace einen Ort der Begegnung geschaffen. Über ihre dortige Erfahrung haben sie eine Checkliste für Barrierefreiheit erstellt, die derzeit publiziert und so anderen Makerspaces zur Verfügung gestellt wird. Zudem gibt es von den in der Leuthardstraße erfundenen Objekten Musterstücke vor Ort sowie eine Liste mit Bewertungen und Kommentaren als Leitfaden für alle Interessierten. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse lassen sich zudem auf andere Mensch-Maschine-Interaktionen übertragen.

„Wir haben eine coole Technologie mit Inklusion und Teilhabe verbunden“, erklärt Pelka den Erfolg von SELFMADE. „Und das Projekt war von Anfang an sehr authentisch, kein akademisch ausgedachtes. Die Herausforderungen waren realistisch, echte Anwenderinnen und Anwender haben an ihnen gearbeitet.“ So haben sie es geschafft, eine moderne Technologie für alle Menschen zugänglich zu machen. Nicht im High-End-Modus, sondern wie bei einem Auto, „das man fahren kann, ohne im Detail zu wissen, wie es funktioniert.“

Um ihren Ansatz gesellschaftlich weiterzugeben, haben die Projektleiter bereits Interessierte aus dem lokalen Umfeld eingeladen, das Makerspace kennenzulernen; schließlich geht es um Inklusion: Das Miteinander von Menschen mit und ohne Behinderung. Rund ein Dutzend Menschen sind nun regelmäßig zu den Öffnungszeiten da und drucken – kostenlos. „Zum einen ist das natürlich der Sinn unseres Konzepts, zum anderen dürfen wir keine Hilfsmittel verkaufen“, erläutert Bosse. Dem Makerspace sind keine derartigen Grenzen gesetzt. Wen hier die Muse küss, der darf sich ausleben. So druckte in der Adventszeit jemand ein Relief des Fernsehkoachs Steffen Hensler als Weihnachtsgeschenk aus. Ob der künstliche Koch den Geschmack getroffen hat, ist jedoch nicht bekannt.

Birte Vierjahn



## Musikalische Grenzgänge

Musik lässt sich heute nicht nur mit klassischen Instrumenten erzeugen, sondern auch mit Computern. Diese können natürliche Klänge verändern, synthetische Töne erzeugen und sogar eigene Kompositionen schaffen. Was das für Musizierende und für unsere Hörgewohnheiten bedeutet, damit setzen sich Prof. Eva-Maria Houben und Prof. Günther Rötter auseinander.

„Synthetisch erzeugte Musik begegnet uns im Alltag oft ohne, dass wir sie als solche erkennen.“

Prof. Günther Rötter



**Prof. Eva-Maria Houben** ist Professorin im Bereich Musiktheorie am Institut für Musik und Musikwissenschaft der TU Dortmund. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die zeitgenössische Musik, Musik des 18. und 19. Jahrhunderts, Musikästhetik und neue Rezeptionsformen. Als Komponistin interessiert sie sich unter anderem für experimentelle Musik. Dabei konzentriert sie sich auf verschiedene Formen des Zusammenspiels im Ensemble und arbeitet

auch mit elektroakustischen und aufgenommenen Klängen.

Nach ihrem Schulmusikstudium an der Folkwang-Hochschule für Musik in Essen studierte sie Musikwissenschaft und Germanistik an der damaligen Gerhard-Mercator-Universität in Duisburg. Dort promovierte und habilitierte sie sich in Musikwissenschaft. 1993 wurde sie als Professorin an die TU Dortmund berufen. Sie veranstaltet regelmäßig Konzerte, bei denen Studierende eigene Kompositionen zu Gehör bringen können. Neben der Lehre und der Forschung ist sie als Komponistin, Organistin und Pianistin aktiv.



**Prof. Günther Rötter** ist Professor für Musikwissenschaft mit dem Schwerpunkt Musikpsychologie und Musiksoziologie an der TU Dortmund. Er studierte Schulmusik, Erziehungswissenschaft und Philosophie in Detmold und Paderborn sowie Musikwissenschaft, Psychologie und Philosophie an der Technischen Universität Berlin. Dort promovierte er 1985. Nach Tätigkeiten an der TU Berlin, dem Staatlichen Institut für Musikforschung Berlin, der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster und der Hochschule Vechta habilitierte er sich 1996 an der Universität Osnabrück. An der TU Dortmund war er von 2006 bis 2014 Dekan der Fakultät Kunst- und Sportwissenschaften.

In Forschung und Lehre widmet er sich Themen wie Unterhaltungsmusik, kommerziell eingesetzter funktionaler Musik und Sounddesign. Dabei erforscht er unter anderem die psychologischen Auswirkungen von Musik in verschiedenen Alltagssituationen. Unter seiner Anleitung haben Studierende am Computer und im Tonstudio Musik für die Fahrstühle im Gebäude EF50 komponiert.

## In Kürze

### Die Beobachtung

In der Musik verschwimmt die Grenze dessen, was natürlich entsteht und was künstlich erzeugt wird.

### Das Interesse

Mit einer Kombination aus natürlichen Geräuschen und künstlichen Tönen lassen sich vollkommen neue Klänge erzeugen.

Elektrorock in der Disco, die Filmmusik beim abendlichen Krimi, der Gong der Oper Dortmund – sie alle haben eines gemeinsam: ohne Computer wären sie in dieser Form nicht möglich. „Synthetisch erzeugte Musik begegnet uns täglich im Alltag – oft ohne, dass wir sie als solche erkennen“, sagt Günther Rötter. Er ist Professor für Musikwissenschaft und experimentiert im Tonstudio der TU Dortmund gerne selbst mit elektronischen Klängen. Hier hat er auch den Gong für die Oper Dortmund erstellt. „Ich habe zunächst versucht, einen echten Gong selbst aufzunehmen“, erzählt er. Der Klang entsprach aber nicht seinen Vorstellungen und es war beinahe unmöglich, alle Nebengeräusche herauszufiltern. Also griff Rötter auf eine Klang-Datenbank zurück. Darin stehen unzählige Geräusche zur Verfügung. Diese beruhen oft auf realen Aufnahmen, die im Nachhinein digital bearbeitet wurden. „Der Gong, der jetzt in der Oper zu hören ist, ist also in gewissem Maße künstlich. Und gerade dadurch klingt er viel reiner und echter als der, den ich selbst hätte aufnehmen können.“

Auch Eva-Maria Houben weiß, dass sich viele Effekte leichter synthetisch erzielen lassen. Die Professorin für Musiktheorie komponiert selbst Stücke, in denen sie Instrumente, aufgenommene Geräusche und computererzeugte Tonspektren miteinander kombiniert. „Als Komponistin geht es mir darum, etwas Neues zu schaffen“, sagt sie. „Seit den 50er-Jahren bietet uns die Technik die Möglichkeit, direkt ins Innere des Klanges einzugreifen. Man kann also die Klangfarbe präzise bestimmen und Laute produzieren, die wir in der Natur nicht finden. Das ist kompositorisch äußerst reizvoll.“

### Verschwimmende Grenzen

Die Grenze zwischen künstlich und natürlich verschwimmt in dieser Art der Musik. Sehr deutlich wird dies zum Beispiel in Houbens Komposition „druids and questions“ von 2011. Das mystisch wirkende Stück spielt mit verschie-



Je nachdem, welche Register man zieht, lassen sich mit einer Orgel verschiedene Instrumente imitieren – von Flöten über Trompeten bis hin zu Geigen. So betrachtet, ähnelt die Orgel einem Synthesizer.

denen Arten von Wind und Rauschen: Houben hat dafür einerseits das Geräusch aufgenommen, das entsteht, wenn die Luft eine Orgel durchströmt, während die Register langsam gezogen oder die Tasten im Zeitlupentempo gedrückt werden. Andererseits kommen ein rein elektronisches Rauschen aus dem Computer sowie das natürliche Rauschen des Raumes, in dem die Orgelklänge aufgenommen wurden, hinzu. Doch nicht nur der Computer, auch die Orgel lässt sich bereits selbst als eine Art Maschine betrachten. Mit dem Druck einer Taste wird eine ausgefeilte Mechanik in Gang gesetzt, die letztlich dazu führt, dass ein großer Blasebalg Luft durch die Orgelpfeifen bläst. Verglichen mit dem Spielen einer Flöte, bei

der der menschliche Atem durch das Instrument fließt, wirkt dieser Vorgang deutlich künstlicher.

„Beim Musizieren macht das für mich einen großen Unterschied“, sagt Houben. „An der Orgel habe ich manchmal das Gefühl, ich könnte die Maschine einfach machen lassen. Auch wenn natürlich ich es bin, die die Tasten drückt, gebe ich gefühlt ein Stück weit die Verantwortung ab. Ich persönlich kann deshalb an der Orgel besonders gut improvisieren.“ Ein gewisses Maß an Künstlichkeit kann somit eine neue Freiheit schaffen, die wiederum Kreativität erlaubt. „Noch deutlicher zeigt sich das, wenn man den Laptop als Instrument benutzt“, so Houben. Einige ihrer Stücke lassen sich mit Ensembles

aus Laptops musizieren. Die entsprechenden Klänge werden vorab eingespeichert. Die Spielenden können diese dann durch Tastendruck abspielen und gemeinsam improvisieren. „Da ist also ganz viel Spontaneität und menschliche Kreativität im Spiel. Das macht diese scheinbar künstliche Musik wieder ziemlich natürlich.“



Ob Musik von klassischen Instrumenten oder von einem Sampler stammt, kann ein Laie kaum heraushören. Sampler (Bild oben) erzeugen Töne nicht künstlich, sondern spielen aufgenommene Klänge von klassischen Instrumenten wie beispielsweise Trompete, Klavier oder Geige ab (Bild unten).

Was ist also „künstlich“, was ist „natürlich“? Eine klare Definition gibt es in der Musik nicht. Betrachtet man allein die Klangerzeugung, so lässt sich zwischen akustischen und elektronischen Klängen unterscheiden. Ein Synthesizer würde demnach eher „künstliche“ Musik erzeugen, ein Konzertflügel eher „natürliche“. Einen Übergang bilden laut Rötter sogenannte Sampler. Diese elektronischen Instrumente ähneln Synthesizern. Im Unterschied zu diesen erzeugen sie die Sounds aber nicht künstlich, sondern spielen aufgenommene Klänge von klassischen Instrumenten wie beispielsweise Geige, Klavier oder Trompete ab.



#### Filmmusik aus dem Computer

Wer beim Musikhören nicht explizit darauf achtet, kann oft kaum unterscheiden, ob die Töne von klassischen Instrumenten oder von einem Sampler stammen. Ein großer Teil der Filmmusik wird heutzutage nicht mehr von Orchestern eingespielt, sondern mit einem Sampler erzeugt. Denn gerade für kleinere Produktionen wäre es zu teuer, eigens ein Symphonieorchester zu engagieren. „Am Sampler kann eine Einzelperson sehr ähnliche Sounds innerhalb weniger Stunden zusammenstellen“, so Rötter. Aus seiner Sicht ist das Vorteil und Nachteil zugleich. Einerseits können sich so auch Filme mit geringem Budget eine aufwändig klingende Filmmusik leisten. „Andererseits merkt man schon einen Qualitätsverlust“, meint er. „Tasteninstrumente vom Sampler klingen oft täuschend echt, Streichinstrumente meist eher gewöhnungsbedürftig.“

Über die reine Wiedergabe hinaus bieten Sampler die Möglichkeit, die auf-

genommenen Klänge zu verändern. „So kann man jede beliebige Soundgestalt erreichen. Das bringt frischen Wind in die Musik und ist eine große Bereicherung“, findet Rötter. Er selbst nutzt diese Technik auch im Grenzbereich zwischen Musik und Geräusch. „Ich hatte mal die Idee, einen Warnton zu entwickeln“, berichtet er. „Als Grundlage habe ich eines der nervigsten Geräusche gewählt, das man sich vorstellen kann: Babygeschrei. Auf die meisten Menschen wirkt das sehr alarmierend. Ich habe also gesampeltes Babygeschrei auf einen kurzen Laut komprimiert und anschließend mit vollständig künstlichen Frequenzen

aus dem Synthesizer gemischt. Das Babygeschrei konnte man im fertigen Warnton nicht mehr erkennen, aber seine aufschreckende Wirkung ist erhalten geblieben.“

#### Musik erschaffen wie von selbst

Sowohl am Sampler als auch am Synthesizer sind es Menschen, die die Töne aneinanderreihen. Noch weiter geht die Künstlichkeit, wenn Computer selbst komponieren. „Die Stücke, die dabei herauskommen, machen rein technisch

alles richtig“, sagt Houben. „Aber genau das ist ein Problem: die Perfektion wirkt unnatürlich.“ Von Menschen komponierte Werke weisen gewissermaßen kleine Fehler auf, und gerade dadurch werden sie einzigartig. Der gleiche Effekt zeigt sich bei Schlagzeugcomputern. Diese spielen einen auf die Millisekunde genauen Rhythmus – zu perfekt, um echt zu sein. Um natürlicher zu klingen, haben neuere Modelle einen sogenannten „Humanizer“, einen „Vermenschlicher“, der zufallsgesteuert winzige Unregelmäßigkeiten im Rhythmus einbaut.

Ist also Zufall natürlich, Perfektion dagegen künstlich? „Das stimmt zwar in gewissen Bereichen, aber nicht generell“, sagt Houben. „Das Ideal einer Musik, die sich ohne menschliches Zutun komponiert, gibt es bereits seit Jahrhunderten. Das Instrument, das dieses Ideal verkörpert und im 19. Jahrhundert sehr geschätzt war, ist die Äolsharfe.“ Dabei handelt es sich um einen Resonanzkörper mit Saiten, die vom Wind in Schwingung versetzt werden und so wie von selbst Harmonien ertönen lassen. Die entstehenden Klänge sind immer unterschiedlich und völlig zufällig. Erzeugt werden sie allein von der Natur. Und doch meint Houben: „Für mich ist die Äolsharfe auch wieder ‚künstlich‘, weil sie uns durch ihre Kunst jede Bemühung abnimmt.“

Ob eine bestimmte Musik nun also künstlich oder natürlich ist, lässt sich kaum eindeutig beantworten. „Das ist immer ein Spannungsfeld“, sind sich Houben und Rötter einig. Je nach Betrachtungsweise hat jede Musik sowohl künstliche als auch natürliche Elemente. Selbst wenn ein Ensemble aus Laptops ein Stück aus synthetischen Klängen aufführt, das von einem Computer komponiert wurde, ist doch jede Aufführungssituation einzigartig und verleiht dem Stück Natürlichkeit. So liegt es im Ermessen der Komponierenden, Musizierenden und Zuhörenden, im Spektrum zwischen künstlich und natürlich zu experimentieren, Neues zu schaffen, Wirkungen auszutesten und Grenzen zu erproben.

Elena Bernard



Die Äolsharfe verkörpert das Ideal einer wie von selbst entstehenden Musik. Sie erklingt, wenn der Wind über die Saiten streicht – ganz ohne menschliche Einwirkung. Macht sie das „künstlich“?

# Neue Flexibilität beim 3D-Druck

TU-Startup „FilChange“ will komplexe Bauteile schneller und günstiger herstellen



Jasper Gruson (27) und Philipp Kemper (26) – das Gründerduo vom Dortmunder Startup „FilChange“.

Aufbruchstimmung bei Jasper Gruson (27) und Philipp Kemper (26) – das Gründerduo vom Dortmunder Startup „FilChange“ hat seine ersten eigenen Räume bezogen: Ein kleines Büro mit vier Arbeitsplätzen im Gebäude des Fachgebietes Maschinenelemente an der TU Dortmund, das die Universität dem Team im Rahmen seiner Förderung als „START-UP Hochschulausgründung“ zur Verfügung stellt. Zwei wissenschaftliche Hilfskräfte haben sie schon engagiert und planen Großes: Die beiden studierten Maschinenbauer wollen den Markt der 3D-Drucker revolutionieren. „Das ist ein tolles Gefühl, dass es jetzt endlich richtig losgeht“,

freut sich Jasper Gruson. „Das ist unser erster Job und wir können gleich an unserer eigenen Geschäftsidee arbeiten.“

In einem Druckprozess beliebig viele Kunststoffe verwenden

Im Moment müssen noch Arbeitsplätze und Büro fertig eingerichtet werden – trotzdem ist das Team schon beim Hauptthema: der Entwicklung des ersten Prototyps ihres neuen 3D-Drucksystems namens „FilChange“. Das besteht aus zwei wesentlichen Komponenten: einem Druckkopf mit nur einer

Düse, der verschiedenste Kunststoffmaterialien und -farben beim Druck in einem Produkt kombinieren kann, und einem Wechselsystem, das diesem Druckkopf die verschiedenen Materialien zur Verfügung stellt. So wird es erstmals möglich, in einem Druckprozess beliebig viele verschiedene Kunststoffe zu verwenden und beliebig komplexe Bauteile unterbrechungs- und abfallfrei herzustellen.

Jasper Gruson und Philipp Kemper sehen ihre Kunden im Bereich Business-to-Business – zum Beispiel in der Sanitäts- und Orthopädiebranche. Hier könnten Prothesen mit Hilfe von



FilChange der Patientin oder dem Patienten schneller und kostengünstiger bereitgestellt werden. Einen weiteren Markt sieht das Team für passgenaue Ersatzteile im Maschinenbau.

Auf die Idee kamen die beiden Gründer während ihrer Masterarbeit bei Prof. Bernd Künne, Professor für Maschinenelemente an der TU Dortmund, der das Projekt weiterhin betreut. Inzwischen ist die Technologie zum europäischen Patent angemeldet. Von dem Erfolg von FilChange sind nicht nur die Erfinder überzeugt. Beim 39. Gründungswettbewerb „start2grow“ konnten sie die Jury für ihre Geschäfts-idee begeistern. Sie belegten nicht nur den ersten Platz des Gesamtwettbewerbs, sondern erhielten zusätzlich noch den Sonderpreis Technologie.

NRW-Projekt zahlt zunächst Gehälter

Außerdem nahmen sie beim „StartUp.InnoLab“ des Centrums für Entrepreneurship & Transfer (CET) der TU Dortmund teil, wo sie ihre unternehmerischen Fähigkeiten weiterentwickelten. „Start2grow und das InnoLab waren für uns wichtig“, meint Philipp Kemper. „Wir haben gelernt, unseren Businessplan zu schreiben, interessante Kontakte geknüpft und in den Bereichen Finanzen, Recht und Marketing dazugelernt.“

Jetzt hat das Gründerduo 18 Monate Zeit, sich voll und ganz auf die Entwick-

lung seines Prototyps zu konzentrieren. Das haben sie dem Förderwettbewerb „START-UP Hochschulausgründungen“ zu verdanken. Über die TU Dortmund haben sie sich mit ihrer Geschäftsidee beworben – und überzeugt. Das NRW-Projekt übernimmt in den nächsten 1,5 Jahren die Gehälter für die Gründer und die beiden wissenschaftlichen Hilfskräfte. Außerdem deckt die Förderung Raumkosten und projektspezifische Sach- und Materialausgaben und sogar Fremdleistungen, die sie bei ihrem Vorhaben brauchen.

Auch der neue Standort im Maschinenbaugebäude ist ideal. Dem Team stehen hier außer dem Büroraum noch die Labore mit allen Werkzeugen zur Verfügung, die sie für die Prototypentwicklung nutzen können. Für die Jungunternehmer war das Gründungsvorhaben bisher eine durchweg gute Erfahrung.

„Wir waren überrascht, wie positiv alle auf unser Vorhaben reagiert haben und wie viele Angebote es für Gründer im Land NRW, aber auch schon hier in der Region gibt“, erzählt Jasper Gruson. Anderen Gründern empfiehlt Philipp Kemper: „Das Wichtigste ist die Eigeninitiative. Einfach anrufen und überall fragen – die meisten Menschen waren sehr interessiert und auch sofort bereit, uns irgendwie zu helfen.“

Ein Abenteuer bleibt das eigene Startup natürlich trotzdem. Aber Philipp Kemper ist sich sicher: „Am Ende können wir nur gewinnen.“

Claudia Pejas

## Hier schlägt das Gründerherz

Die TU Dortmund fördert und würdigt Unternehmensgründungen und den Transfer aus der Wissenschaft. Sie unterstützt ihre Studierenden, Absolventinnen und Absolventen sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aktiv bei der Entwicklung und Umsetzung von Geschäftsideen. Die Gründungsinitiative „tu>startup“ wurde bereits 2011 vom Förderprogramm „EXIST-Gründungskultur“ ausgezeichnet. Seit 2017 werden alle Gründungs- und Transferaktivitäten in der universitären Serviceeinrichtung „Centrum für Entrepreneurship & Transfer (CET)“ gebündelt. Ende 2017 wurde außerdem die TU concept GmbH gegründet, mit der sich die TU Dortmund erstmals an innovativen Startup-Unternehmen beteiligen kann. Seit 2019 ist die TU Dortmund „Exzellenz Start-up Center“: Über fünf Jahre erhält sie rund 20 Millionen Euro vom Land NRW, um die Anzahl und Qualität innovativer Ausgründungen zu steigern.

[www.cet.tu-dortmund.de](http://www.cet.tu-dortmund.de)



Daumen hoch!  
Drei Tipps zum cleveren  
Einkaufen.



Daumen runter!  
Diese drei Nachteile bei der  
Produktion von Lebensmit-  
teln verderben den Appetit.

## Unser Essen – auch ein Geschäft?

Das Essen ist fertig! Cola, Pommes frites mit Ketchup und ein großer Burger stehend dampfend auf dem Tisch. Wie das duftet! Lecker! Da läuft das Wasser im Mund zusammen und der Magen beginnt zu knurren. Aber wo kommen die Zutaten des Mittagessens her?

Sie können zum Beispiel in einem Supermarkt gekauft werden. Damit möglichst viele Lebensmittel verkauft werden, setzen Lebensmittelhersteller auf Werbung: Auffällige Verpackungen, bunte Farben und süße Bilder sollen Kundinnen und Kunden anlocken. Für Kinder nutzt die Werbeindustrie besondere Tricks: Den Lebensmitteln liegen kleine Geschenke wie Aufkleber bei und im Fernsehen werben Prominente – zum Beispiel berühmte Fußballer – für Produkte. Das Problem: Die Werbung zeigt oft

nur die positiven Eigenschaften eines Produkts. Die negativen Eigenschaften werden nicht genannt. Pommes frites sind zum Beispiel sehr fettig und Ketchup enthält viel Zucker. Diese Lebensmittel sind also nicht sehr gesund. Und für das Fleisch im Burger müssen Tiere sterben.

Andreas Hoffjan ist Professor an der TU Dortmund. Er arbeitet an der Fakultät Wirtschaftswissenschaften, einem Fachgebiet an der Universität. Er kennt sich aus mit Werbestrategien und der Landwirtschaft, also dem Anbau von Pflanzen und der Zucht von Tieren. Er weiß daher, worauf Kundinnen und Kunden beim Lebensmitteleinkauf achten sollten. Im Rahmen der KinderUni hat er Einkaufstipps gegeben.

- **Fair Trade – Fairer Handel:** Viele Lebensmittel in deutschen Supermärkten haben eine lange Reise hinter sich. Bananen kommen zum Beispiel häufig aus Südamerika. Mit ihrem Verkauf verdienen viele Menschen Geld. Die Bauern in Südamerika, die die Bananen anbauen, bekommen aber oft nur einen ganz kleinen Teil. „Fair Trade“-Organisationen setzen sich für fairen Handel ein. Sie arbeiten Verträge mit den Bauern aus, die für ihre Arbeit dann einen fairen Lohn erhalten. Außerdem verbietet Fair Trade Kinderarbeit. Im Supermarkt sind „Fair Trade“-Produkte mit einem Siegel gekennzeichnet.

- **Regionale und saisonale Produkte:** Bananen, die aus Südamerika kommen, legen lange Transportwege mit Flugzeugen und Lastwagen zurück. Diese stoßen Abgase wie Kohlenstoffdioxid aus, das die Umwelt schädigt. Regionale Produkte werden in der Nähe angebaut, haben also kürzere Anfahrtswege. Am besten ist es, Obst und Gemüse in der Jahreszeit zu kaufen, in der es sowieso reif ist. Dann nennt man sie saisonale Produkte. Der Vorteil: Sie müssen nicht lange in Kühlhäusern liegen und im Winter auch nicht aus fernen Ländern importiert, also eingeführt, werden.

- **No-Name-Produkte:** Für viele Marken-Lebensmittel gibt es Alternativen: sogenannte No-Name-Produkte. Die haben weniger bekannte Namen, sind häufig einfacher verpackt und preisgünstiger. Teilweise stammen die Lebensmittel sogar vom gleichen Hersteller und bestehen aus den gleichen Zutaten wie die Marken-Produkte.

- **Fleischkonsum:** Im Laufe ihres Lebens essen die Deutschen im Durchschnitt rund 2.000 Tiere – zum Beispiel Hühner, Kühe und Schweine in Form von Bratwurst und Schnitzel. Damit genug Fleisch für alle da ist, müssen die Bauernhöfe ihre Produktion anpassen. Es werden immer mehr Tiere auf immer kleinerer Fläche gezüchtet. In Käfighaltung haben Hühner zum Beispiel weniger Platz für sich als ein Blatt Papier groß ist. Deswegen geht es den Tieren oft schlecht. Außerdem werden Pflanzen im Regenwald gepflückt, um sie an Zuchttiere zu verfüttern. Dadurch geht Lebensraum für seltene Tiere wie Gorillas verloren.

- **Gesundheit:** Eine Tüte Gummibärchen besteht fast zur Hälfte nur aus Zucker und in einer Flasche Fanta sind etwa 15 Stück Würfelzucker. Ganz schön süß – und ganz schön ungesund. Zucker macht unter anderem nämlich müde und dick. Genauso wie Fett, gesättigte Fettsäuren und auch Salz. Lebensmittel für Kinder sind häufig sogar besonders süß und fettreich. Es ist besser, Obst und Gemüse zu essen. Wer trotzdem naschen möchte, erfährt auf der Rückseite der Verpackung, was alles in einem Produkt drin ist. Dort befindet sich meistens die Nährwerttabelle.

- **Fischfang:** Teilweise werden mehr Fische von einer Art gefangen als Fischbabys geboren werden. Dann stirbt die Art langsam aus. Außerdem werden beim Fischfang manchmal versehentlich andere Tiere mitgefangen und verletzt oder sogar getötet. Delfine und Schildkröten verfangen sich zum Beispiel immer wieder in den Netzen der Fischer.

**Fazit:** Nicht alles glauben, was die Werbung verspricht! Schaut beim Einkauf nach Qualitätssiegeln und lest euch auf der Rückseite der Produkte die Nährwerttabelle durch. Sie sagt euch, wie gesund ein Lebensmittel wirklich ist.

Prof. Andreas Hoffjan hat im Rahmen der KinderUni die Tricks der Lebensmittelwerbung aufgedeckt. Auch einige seiner Kolleginnen und Kollegen aus ganz unterschiedlichen Fächern gehen gemeinsam mit Kindern zwischen acht und zwölf Jahren spannenden Fragen auf den Grund: Bei der KinderUni gibt es Vorträge in den Reihen „Wissen macht Spaß“, „Nachhaltiges Wirtschaften“, „Dortmund entdecken“ und „Technik macht Spaß“: Die Vorträge finden auf dem Campus der TU Dortmund, auf der Hochschuletage im Dortmunder U und im Familienzentrum „Stern im Norden“ statt. Viele weitere Infos sind auf der KinderUni-Website zu finden:

# Neue Professorinnen und Professoren



## Sarah Buschfeld

\*\*\*Professorin für Linguistik des Englischen (Mehrsprachigkeit)\*\*\* Fakultät Kulturwissenschaften\*\*\* seit März 2019

Buschfeld studierte Englisch und Geschichte auf Lehramt an der Universität zu Köln und der Oxford Brookes University, England. 2011 promovierte sie an der Universität zu Köln. Von 2011 bis 2019 war sie an der Universität Regensburg als wissenschaftliche Mitarbeiterin und Akademische Rätin auf Zeit beschäftigt und habilitierte sich dort.

Ihre Forschungsschwerpunkte umfassen die Bereiche Mehrsprachigkeit, World Englishes-Studien, Sprachkontakt, -variation und -wandel, Soziolinguistik sowie den Erst- und Zweitspracherwerb. Sie beschäftigt sich außerdem mit theoretischen Fragen der Modellierbarkeit von Sprachformen und -varietäten und hat hierzu ein neues Modell entwickelt. Buschfeld setzt sich für eine kritische Hinterfragung und Weiterentwicklung etablierter Forschungsparadigmen ein. Insbesondere zeigen ihre Forschungsarbeiten, dass alte, rigide Vorstellungen von Sprache in Zeiten der Globalisierung hinterfragt werden müssen, vor allem hinsichtlich der vermeintlich klaren Abgrenzbarkeit und Definition einzelner Sprachen und deren Gebrauchskontexte.



## Aileen Edele

\*\*\*Professorin für Empirische Bildungsforschung im Kontext gesellschaftlicher Heterogenität\*\*\* Fakultät Erziehungswissenschaft, Psychologie und Soziologie\*\*\* seit Mai 2019

Edele studierte Psychologie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, der Humboldt-Universität zu Berlin und der University of Toronto, Kanada, und promovierte 2016 an der Freien Universität Berlin. Von 2016 bis 2019 war sie Fellow im College for Interdisciplinary Educational Research (CIDER).

Ihr Forschungsschwerpunkt liegt auf den Chancen und Herausforderungen, die mit der wachsenden migrationsbezogenen Diversität unserer Gesellschaft für das schulische Lehren und Lernen verbunden sind. Ihre quantitative-empirische Forschung befasst sich zum einen mit der Bedeutung individueller Lernvoraussetzungen für die schulische Anpassung von Schülerinnen und Schülern mit Zuwanderungsgeschichte. Zum Beispiel: Wie wirkt sich die Identifikation mit dem Herkunftsland und mit Deutschland auf Bildungserfolg und psychosoziale Anpassung aus? Zum anderen erforscht sie die Bedeutung der Lernumgebung für Lernende mit und ohne Zuwanderungshintergrund, etwa die Überzeugungen von Lehrkräften zum Umgang mit kultureller Heterogenität.



## Ulrike Freywald

\*\*\*Professorin für Linguistik des Deutschen: Grammatik und Fachdidaktik\*\*\* Fakultät Kulturwissenschaften\*\*\* seit März 2019

Freywald studierte an der Humboldt-Universität zu Berlin, der Freien Universität Berlin und der Universität Wien Germanistische Linguistik, Historische Linguistik sowie Publizistik- und Kommunikationswissenschaft. 2014 promovierte sie an der Humboldt-Universität zu Berlin. Von 2007 bis 2019 war sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Potsdam tätig.

In ihrer Forschung untersucht Freywald Wort- und Satzstrukturen, vor allem in gesprochener Sprache und in Dialekten sowie im Sprachkontakt, wenn verschiedene Sprachen aufeinandertreffen. Sie interessiert sich dabei besonders für die Systematik, die hinter sprachlicher Variation steckt. So konnte sie zum Beispiel zeigen, dass die Verdopplung von Wörtern wie „Buchbuch“ eine eigene Bedeutung konstituiert, nämlich „echtes“ Buch (gegenüber E-Book), dass das Fehlen des Verbs „sein“ bei Sprecherinnen und Sprechern auf einem multilingualen urbanen Wochenmarkt („Wie teuer diese Pflanze?“) klaren Regeln folgt und dass Hauptsätze nach Nebensatzkonjunktionen wie „weil“ keine Fehler sind, sondern eine eigene Funktion haben.



## Dorothee Gronostay

\*\*\*Juniorprofessorin für Didaktik der Sozialwissenschaften mit dem Schwerpunkt empirische Politikdidaktik\*\*\* Fakultät Erziehungswissenschaft, Psychologie und Soziologie\*\*\* seit März 2019

Gronostay studierte an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster Sozialwissenschaften, Erziehungswissenschaft und Spanisch für das Lehramt an Gymnasien. Danach arbeitete sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Bereich Didaktik der Sozialwissenschaften an der Universität Duisburg-Essen. 2018 promovierte sie mit einer Videostudie zu argumentativen Lehr-Lern-Prozessen im Politikunterricht.

Ihr Forschungsschwerpunkt ist die empirische Politikdidaktik. Leitende Fragestellungen sind beispielsweise: Welche Zusammenhänge zeigen sich zwischen der Berufswahlmotivation von Lehramtsstudierenden und ihrem Professionswissen? Methodisch arbeitet sie empirisch-quantitativ mit Fragebogen- und Testdaten sowie standardisierter Unterrichtsvideografie. In ihrer Dissertation konnte sie zeigen, dass sich die Qualität von kontroversen Unterrichtsdiskussionen durch ein fachspezifisches Argumentationstraining steigern lässt. Nun untersucht sie, wie sich das Professionswissen von Lehramtsstudierenden in den Sozialwissenschaften während des Studienverlaufs entwickelt.



## Fani Lauermann

\*\*\*Professorin für Empirische Bildungsforschung im schulischen Kontext\*\*\* Fakultät Erziehungswissenschaft, Psychologie und Soziologie\*\*\* seit April 2019

Lauermann studierte an der Universität Bonn und promovierte 2013 in den Fächern Bildungswissenschaften und Psychologie an der University of Michigan, USA. Bis 2014 war sie dort als Postdoctoral Researcher im Gender and Achievement Research Program tätig. Ende 2014 nahm sie einen Ruf als Juniorprofessorin an die Universität Bonn an. Sie ist Mitherausgeberin der internationalen Fachzeitschrift Learning and Instruction und leitet seit 2017 die Fachgruppe Motivation and Emotion der European Association for Learning and Instruction.

In ihrer Forschung befasst sie sich mit den Themen Motivationsentwicklung, soziale und motivationale Einflussfaktoren auf Bildungs- und Berufsentscheidungen im schulischen Kontext sowie Professionalität im Lehrberuf. Eine leitende Frage ist beispielsweise: Was motiviert und befähigt Lehrkräfte dazu, qualitätsvolle Unterrichtsangebote zu entwickeln? Was motiviert und befähigt Schülerinnen und Schüler dazu, Unterrichtsangebote aktiv zu nutzen? Sowohl die Lernenden als auch die Lehrpersonen stehen demnach im Fokus ihrer Forschungsprojekte.



## Jan Nagel

\*\*\*Juniorprofessor für Stochastik\*\*\* Fakultät für Mathematik\*\*\* seit April 2019

Nagel studierte Mathematik an der Ruhr-Universität Bochum, wo er 2010 auch promovierte. Nach einem kurzen Aufenthalt an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster ging er von 2011 bis 2016 als Postdoc an die TU München. In diese Zeit fallen auch eine Vertretungsprofessur an der Ludwig-Maximilians-Universität München und ein Forschungsaufenthalt in Toulouse. Mit einem DFG-Forschungsstipendium ging er 2017 für zwei Jahre an die TU Eindhoven, Niederlande.

Ein Schwerpunkt seiner Forschung liegt auf stochastischen Prozessen in zufälligen Umgebungen. Solche Prozesse modellieren mathematisch die Bewegung von Teilchen in einem Medium, welches Unregelmäßigkeiten oder Barrieren aufweist. Beispiele hierfür sind etwa die Bewegungen von Elektronen in einem verunreinigten elektrischen Leiter oder von Proteinen in einer Zelle. Außerdem beschäftigt sich Nagel mit zufälligen Matrizen: Er betrachtet diese als ein Modell für komplexe physikalische Systeme und untersucht, wie sich die Systeme deterministisch beschreiben lassen, wenn sie ausreichend groß sind.



### Frank Othengrafen

\*\*\* Professor für Stadt- und Regionalplanung \*\*\* Fakultät Raumplanung \*\*\* seit April 2019

Othengrafen studierte Raumplanung an der TU Dortmund. 2011 promovierte er an der Hafencity Universität Hamburg und war seit 2013 Juniorprofessor an der Leibniz-Universität Hannover. Nun kehrt er nach Dortmund zu seinen akademischen Wurzeln zurück.

In seiner Forschung konzentriert er sich auf die Frage, wie unsere Städte und Regionen von morgen aussehen sollen: Wie können kompakte, funktionsdurchmischte Städte beziehungsweise Stadtregionen mit viel grünen Räumen und hoher Aufenthaltsqualität sowie einer umweltschonenden und lärmarmen Mobilität entstehen? Sein Forschungsschwerpunkt liegt dabei in der Evaluierung von Planungsprozessen und -instrumenten sowie der Wirkungsanalyse von konkreten Plänen und Konzepten. Ziel ist es, durch die empirische Analyse der Planungspraxis zu identifizieren, wo die Möglichkeiten und Restriktionen einer nachhaltigen Stadt- und Regionalentwicklung liegen. Zudem möchte er innovative Ansätze und intelligente Strategien für die vielfältigen Transformationsprozesse von Städten und Stadtregionen für morgen entwickeln und erproben.



### Markus Pauly

\*\*\* Professor für Mathematische Statistik und industrielle Anwendungen \*\*\* Fakultät Statistik \*\*\* seit März 2019

Pauly studierte Mathematik mit Nebenfach Wirtschaft an der Universität Düsseldorf, wo er 2008 im Rahmen eines Doktorandenstipendiums auch promovierte. Anschließend war er als Postdoc unter anderem am Department of Statistics der University of Washington in Seattle sowie ein Jahr am Institut für mathematische Statistik und Versicherungsmathematik der Universität Bern tätig – finanziert durch ein Forschungsstipendium des DAAD. Seine Habilitation für das Fach Mathematik schloss er 2013 ab und nahm ein Jahr später einen Ruf an die Universität Ulm an.

Seine Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich der methodischen Statistik mit Anwendungen in den Lebenswissenschaften, der Psychologie sowie Industrie und Wirtschaft. Zentrale Gebiete umfassen die Multivariate Analyse, Resampling, Statistisches Lernen sowie die Überlebenszeit- und Zuverlässigkeitsanalyse. Aktuell entwickelt seine Arbeitsgruppe unter anderem valide Verfahren für Vorstudien mit kleinen Fallzahlen. Zudem untersucht sie die Grenzen von Methoden des Maschinellen Lernens.



### Steffen Strese

\*\*\* Professor für Innovationsmanagement \*\*\* Fakultät Wirtschaftswissenschaften \*\*\* seit April 2019

Strese studierte Betriebswirtschaftslehre an der Universität zu Köln und der ESADE Hochschule in Barcelona. 2011 schloss er seine Promotion an der RWTH Aachen ab. Dort forschte und lehrte er als Postdoc und Akademischer Rat. Als Gastdozent besuchte er unter anderem die Chulalongkorn University in Thailand und die Tsinghua University in China. Zudem war er mehrere Jahre bei einer international führenden Unternehmensberatung und als Gründer tätig.

Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Innovationsmanagement, Entrepreneurship sowie Geschäftsmodellinnovation in Start-ups und in etablierten Unternehmen. Aktuell untersucht er in empirisch-quantitativen Studien, wie die Zusammensetzung der Unternehmensleitung Innovationsstrategien und unternehmerische Entscheidungen beeinflusst. Außerdem erforscht er Innovationsprozesse vor dem Hintergrund der Digitalisierung und analysiert in diesem Zusammenhang beispielsweise, inwiefern Digitalisierungsprozesse bei der Entwicklung neuer technologiebasierter Produkte oder bei innovativen Geschäftsmodellen erfolgreich genutzt werden können.



### Adolfo Velez Saiz

\*\*\* Professor für Experimentelle Beschleunigertechnik - Supraleitende Hochfrequenzsysteme \*\*\* Fakultät Physik \*\*\* seit April 2019

Velez studierte Physik in Santander, Spanien. 2010 promovierte er an der Universität Autònoma de Barcelona (UAB). Dort verband er seine Forschung mit Vorlesungen an der Fakultät für Elektrotechnik. Von 2010 bis 2013 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter in einem spanischen Zentrum für Neutronentechnologie, wo er an der Entwicklung von normalleitenden Hohlräumen für einen Protonen-Linearbeschleuniger arbeitete. 2014 wechselte er zum Helmholtz-Zentrum Berlin, wo er Leiter der Forschungsgruppe Cavity Development und Projektleiter für die Entwicklung supraleitender Hochfrequenzsysteme (SRF) war.

Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Physik supraleitender Hohlraumssysteme, die in Teilchenbeschleunigern und insbesondere in Synchrotronlichtquellen angewendet werden. Eines seiner Ziele ist es, mit verbesserten SRF-Hohlräumen in Zukunft auch Strahlinstabilitäten zu vermeiden.

# Ehrungen und Preise



## S.E. Donald Tusk

Im Rahmen der Feierlichkeiten zu ihrem 50-jährigen Jubiläum hat die TU Dortmund dem Präsidenten des Europäischen Rates, S.E. Donald Tusk, den Ehrendokortitel verliehen. Damit würdigt die Universität seine europapolitischen Verdienste sowie seinen Beitrag zur europäischen Wertedebatte. 2007 wurde Donald Tusk Ministerpräsident Polens, 2011 gelang ihm die Wiederwahl. Seit 2014 ist er Präsident des Europäischen Rates. Für sein politisches Engagement zur Stärkung der europäischen Wertegemeinschaft wurde er mehrfach ausgezeichnet, darunter mit dem Internationalen Karlspreis zu Aachen.



## Prof. Susanne Fengler

Das Graduiertenkolleg School of International and Intercultural Communication der Universitätsallianz Ruhr hat im Januar den mit 20.000 Euro dotierten MERCUR-Förderpreis erhalten. Dessen wissenschaftliche Leiterin Prof. Susanne Fengler hatte das räumlich am Erich-Brost-Institut für Internationalen Journalismus der TU Dortmund angesiedelte Kolleg 2013 gemeinsam mit Kollegen der Ruhr-Universität Bochum und der Universität Duisburg-Essen ins Leben gerufen, um universitätsübergreifend Promotionen im Bereich der internationalen Kommunikations- und Medienwissenschaft zu fördern.



## Prof. Michael ten Hompel

Dem Professor für Förder- und Lagerwesen an der Fakultät Maschinenbau und geschäftsführenden Institutsleiter des Fraunhofer-Instituts für Materialfluss und Logistik IML wurde im Februar die Auszeichnung „Bürger des Ruhrgebiets“ 2018 verliehen. In der Begründung der Jury heißt es, dass seine digitalen Innovationen Lösungen für eine zukunftsweisende Logistik bieten und weltweit zur Anwendung kommen. Zudem setze er Maßstäbe für den Innovationsstandort Ruhr, die für die Verwirklichung einer Industrie 4.0 essenziell sind.



## Prof. Michael Henke

Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) hat Michael Henke, Professor für Unternehmenslogistik an der Fakultät Maschinenbau und Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, im Dezember in den Kreis ihrer Mitglieder aufgenommen. Voraussetzung dafür sind eine hohe wissenschaftliche Reputation sowie die Bereitschaft, in den acatech-Themennetzwerken mitzuarbeiten. Henkes Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Management der Industrie 4.0 und Plattformökonomie.

### Bildnachweise:

Titelbild phonlamai/Shotshop.com, vlad-nikon/Shotshop.com, Roland Baege, Fotocollage Gabriele Scholz; Rückseite vlad-nikon/Shotshop.com; S. 2 vlad-nikon/Shotshop.com; S. 4 TU Dortmund/Felix Schmale; S. 6 o. Oliver Schaper, u.li. Roland Baege, u.re. Oliver Schaper; S. 7 o. Ralph Sondermann; S. 9 Oliver Schaper; S. 10 li. Ursula Dören, re. Oliver Schaper; S. 11 Bundesregierung Jochen Eckel; S. 12 + 15 Nico Piatkowski; S. 14 Nikolas Golsch; S. 16-17 Oliver Schaper; S. 18-19 Juan Miguel González auf pixabay; S. 20 TU Dortmund/Felix Schmale; S. 21 + 22 Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML; S. 23 Oliver Schaper; S. 24 Studenta; S. 26 Abbildung aus American Chemical Society DOI: 10.1021/jm500401x; S. 27 TU Dortmund/Felix Schmale; S. 28-29 the\_lightwriter/Shotshop.com; S. 30 TU Dortmund/Felix Schmale; S. 31 AndreyPopov/Shotshop.com; S. 32 o. Kryzhov/Shotshop.com, u. AlexBrylov/Shotshop.com, S. 33 o.li. wernerimages/Shotshop.com, o.re. Siphography/Shotshop.com, u. li. BestPhotoStudio/Shotshop.com, u.re. Nomadsoul1/Shotshop.com; S. 34-35 titoOnz/Shotshop.com; S. 36 TU Dortmund/Nikolas Golsch; S. 37 li. Martin Waldseemüller – Library of Congress, gemeinfrei, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Martin\_Waldseemüller.jpg; re. Lars H. Rohwedder (UserRokerHRO) – Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0; S. 38 Historisches Museum Basel, Foto P. Portner; S. 39 li. Arnoldius – Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, re. Jamal1977a/Shotshop.com; S. 40-41 castenoid/Shotshop.com; S. 42 TU Dortmund/Felix Schmale; S. 43 Foto: DGzRS/Michael Rauhe, Bild UAV: HANSEATIC AVIATION SOLUTIONS GmbH, Fotocollage: TU Dortmund; S. 44-51 TU Dortmund/Felix Schmale; S. 52-53 ToLu4F/Shotshop.com; S. 54 o. TU Dortmund/Felix Schmale, u. privat; S. 55 James Smith auf pixabay; S. 56 o. superlaks/Shotshop.com, u. Nikolas Golsch; S. 57 aislinn CC BY-SA 2.0; S. 58 FilChange; S. 60 Roland Baege; S. 62-65 TU Dortmund/Felix Schmale; S. 65 re. privat; S. 66 o.li. Lutz Kampert, o.re. Roland Baege, u.li. Oliver Schaper, u.re. TU Dortmund/Felix Schmale

