

ATTEMPTO!

Ausgabe Issue → 56 | 2022
Forschungsmagazin der
Universität Tübingen
University of Tübingen magazine

Wie Pflanzen sich die Welt erobern

How Invasive
Plants Spread

Mit Quanten- simulatoren einzelne Atome beobachten

Observing Individual
Atoms with Quantum
Simulators

Welche Strategien wir uns von Inselvölkern abgucken können

What Strategies
We Can Learn from
Island Populations

EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



Gestalten Sie Ihre Zukunft – in den Rems-Murr-Kliniken

Das 2014 neu erbaute Rems-Murr-Klinikum Winnenden ist ein Haus der Zentralversorgung in unmittelbarer Nähe zur Landeshauptstadt Stuttgart. Mit seinen medizinischen Schwerpunkten, Zertifizierungen und Zentren agiert das Klinikum nicht nur auf dem neusten medizinischen Stand, sondern zeichnet sich auch als akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Tübingen und somit als attraktiver Ausbildungsort für Studentinnen und Studenten der Medizin aus.

Die Rems-Murr-Kliniken unterstützen Sie in Ihrem Praktischen Jahr mit zahlreichen Zusatzangeboten, unter anderem mit einem Mentorenprogramm, der Teilnahme am internen Fort- und Weiterbildungsprogramm, einer monatlichen Vergütung in Höhe von 400 Euro, einer Auswahl von Sachleistungen, wie z.B. Wohnen in Kliniknähe, Verpflegung in der klinikeigenen Cafeteria oder einem Zuschuss zum öffentlichen Nahverkehr mit bis zu 325 Euro monatlich.

PRAKTISCH NUR NOCH EIN JAHR!

Mit Vollgas auf die Zielgerade bei den Rems-Murr-Kliniken!

In Ihrem **Praktischen Jahr** legen wir Wert auf eine individuelle, persönliche Betreuung durch engagierte Mentoren und fachbezogene Fortbildungen.

Pflichtfächer: Chirurgie (Allgemeinchirurgie mit Viszeralchirurgie, Thoraxchirurgie, Gefäßchirurgie, Unfallchirurgie) **Innere Medizin** (Allgemeine Innere Medizin mit Gastroenterologie und Geriatrie, Kardiologie, Pneumologie, Hämatologie mit Onkologie und Palliativmedizin)

Wahlfächer: Gynäkologie mit Brustzentrum, Geburtshilfe, Kinder- und Jugendmedizin, Anästhesie, Radiologie und Neurologie

Unsere Angebote für PJ-Studierende im Überblick:

- Eine monatliche Vergütung in Höhe von 400 Euro
- Auswahl von nicht auszählbaren Sachleistungen bis zu einer Höhe von monatlich 325 Euro (z. B. Wohnmöglichkeiten in Kliniknähe, Verpflegung in der Cafeteria, Parken/Zuschuss öffentlicher Nahverkehr)
- Eine persönliche Betreuung durch unser Mentorenprogramm
- Regelmäßiger und strukturierter Unterricht in den Pflicht- und Wahlfächern
- Ein zusätzliches Kursangebot (z. B. Sonografiekurs, EKG, Notfalltraining, Schnitt- und Nahtkurs)
- Zeit zum Eigenstudium im Umfang von einem halben Tag pro Woche
- Studienräume und Zugang zu Onlinebibliotheken
- Möglichkeit zur Teilnahme am internen Fort- und Weiterbildungsprogramm

Sie möchten mit uns durchstarten?

Bitte bewerben Sie sich direkt über die Universität Tübingen unter www.medizin.uni-tuebingen.de



Weitere Informationen finden Sie unter www.rems-murr-kliniken.de/praktisch1jahr

Rems-Murr-Kliniken | Rems-Murr-Kliniken gGmbH | Am Jakobsweg 1 | 71364 Winnenden

Wir sind medizinischer Spitzenversorger für die Region

21 Fachkliniken

Über 51.000 Patienten/Jahr

Landkreis in reizvoller Lage mit hoher Lebensqualität

Rund 2.500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

In öffentlicher Trägerschaft des Rems-Murr-Kreises

Volle Unterstützung durch den Landkreis

Moderne, familienfreundliche Arbeitsplätze

Rems-Murr-Klinikum Winnenden ist akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Tübingen



PHOTO: Friedhelm Albrecht

Liebe Leserin, lieber Leser,

an den Projekten, die wir Ihnen in dieser Ausgabe vorstellen, lässt sich gut ablesen, wie Grundlagenforschung funktioniert: In vielen kleinen Schritten erfasst und analysiert sie fundamentale Prozesse. Damit liefert sie die Basis, neue Lösungen für aktuelle Fragestellungen zu entwickeln.

So erforschen Biologinnen, warum sich importierte Pflanzen wie der Japanknöterich in Europa höchst erfolgreich gegen heimische Arten durchsetzen. Möglicherweise zeigt dies Wege auf, künftig effektiver invasive Arten einzudämmen. Umwelphysiker messen detailliert die Luftturbulenzen an Windparks – langfristiges Ziel ist, solche Anlagen zu optimieren und ihre Lebenserwartung zu verlängern.

KI-Forschende entwickeln Trainingsprogramme, die Maschinen das Sehen in 3D beibringen – dies wird eines Tages im Einsatz autonomer Fahrzeuge nützlich sein. Und wenn Nachwuchsforschende der Geisteswissenschaften ein Netzwerk zu Inselstudien gründen, ist auch dies kein Selbstzweck: Von Inselvölkern und ihrer Geschichte können heutige Gesellschaften einiges lernen, beispielsweise im Umgang mit Naturkatastrophen und Epidemien.

Viel Vergnügen bei der Lektüre und einen schönen Sommer wünscht

Dear reader,

Basic research involves many small steps that capture and analyze fundamental processes and the projects in this issue of attempto give a good impression of how this works. Through meticulous groundwork, scientists are able to deliver the fundamental findings that make it possible to solve current problems.

For example, biologists at the University of Tübingen are investigating why imported plants such as the Japanese knotweed are

highly successful against native species in Europe. This may indicate ways to curb invasive species more effectively in the future. Environmental physicists are measuring the air turbulence caused by wind farms in minute detail – their long-term goal is to optimize wind energy systems and extend their life expectancy.

AI researchers are developing training programs that teach machines how to see in 3D – their findings will be transferred to engineering autonomous vehicles. In the humanities, young researchers have founded a network for island studies. Their research is particularly relevant to today's societies who can learn a lot from island peoples and their history, for example in dealing with natural disasters and epidemics.

We hope you enjoy reading and wish you a pleasant summer

Professor Dr. Peter Grathwohl

Prorektor für Forschung und Innovation
Vice-President for Research and Innovation

INHALT
CONTENTS

01 Editorial

02 Inhalt
Contents

FORSCHUNG | RESEARCH

04 Kurzmeldungen
Research News in Brief

06 **Der globalisierte Knöterich**
The Global Success Story of Knotweed

16 **Meister der Materie**
Masters of Matter

24 **Hart am Wind**
Caught in the Wind

30 **Typisch Insel?**
Typical Island?

36 **Maschinen lernen, wie Menschen zu sehen**
Machines Learn How People See

DREI FRAGEN ZU ... | THREE QUESTIONS ON ...

42 **... Erwachsen werden in der Pandemie**
... Growing up in the Pandemic

44 Ausblick | Impressum
Outlook | Imprint



06 **Der globalisierte Knöterich**
The Global Success Story of Knotweed

Tübinger Forschende verfolgen die Spuren des Japanischen Staudenknöterichs auf drei Kontinenten: Was macht invasive Pflanzen so erfolgreich?

Researchers from Tübingen are tracking Japanese knotweed on three continents: What makes invasive plants so successful?

PHOTO: Leisan Rakhimova, iStockphoto

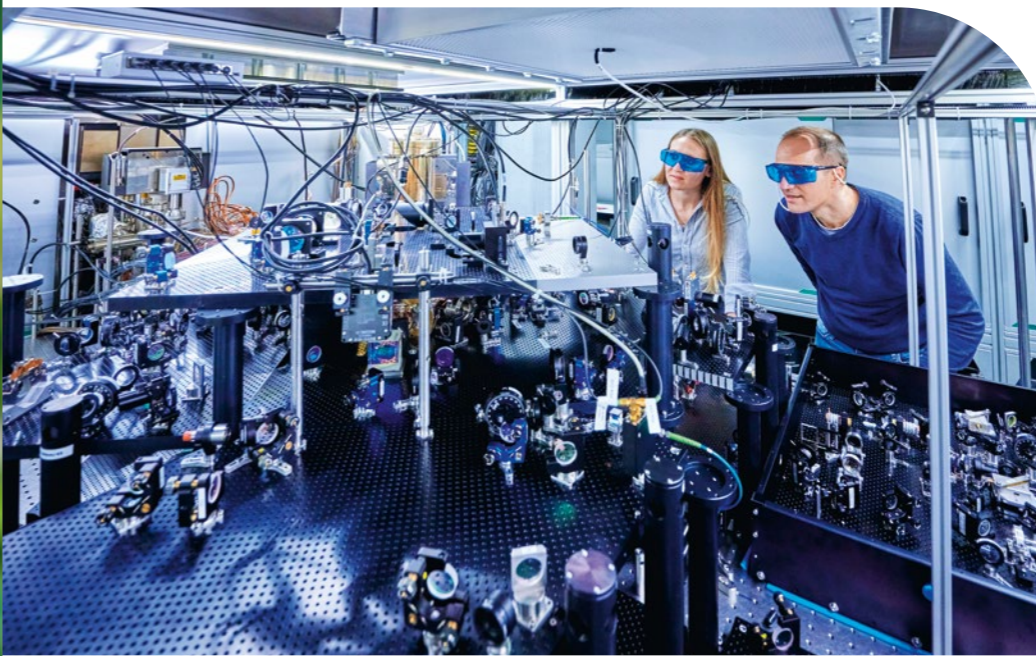


24 **Hart am Wind**
Caught in the Wind

Windräder nutzen nicht nur Wind, sondern verursachen selbst Luftbewegungen. Das Projekt X-Wakes untersucht mit unbemannten Messflugzeugen die Turbulenzen von Nordsee-Windparks.

Wind turbines not only use wind, but also cause air movements themselves. The X-Wakes project uses unmanned aircraft to measure the turbulence of North Sea wind farms.

PHOTO: Universität Tübingen/Fraunhofer IFAM



16 **Meister der Materie**
Masters of Matter

Auf dem Weg zum Quantencomputer: Mit „Quantensimulatoren“ ist das Team von Physiker Christian Groß in der Lage, einzelne Atome zu beobachten und zu kontrollieren.

On the way to quantum computers: Physicist Christian Groß and his team use quantum simulators to observe and control individual atoms.

PHOTO: Jörg Jäger



30 **Typisch Insel?**
Typical Island?

Inselvölker mussten schon immer eigene Lösungsstrategien entwickeln, beispielsweise im Umgang mit Wasserknappheit oder Seuchen: Ein interdisziplinäres Netzwerk erforscht, was wir daraus lernen können.

Island people have always needed self-sufficient strategies, for example in dealing with water shortages or epidemics: An interdisciplinary network is researching what we can learn from this.

PHOTO: Alex Meier, unsplash

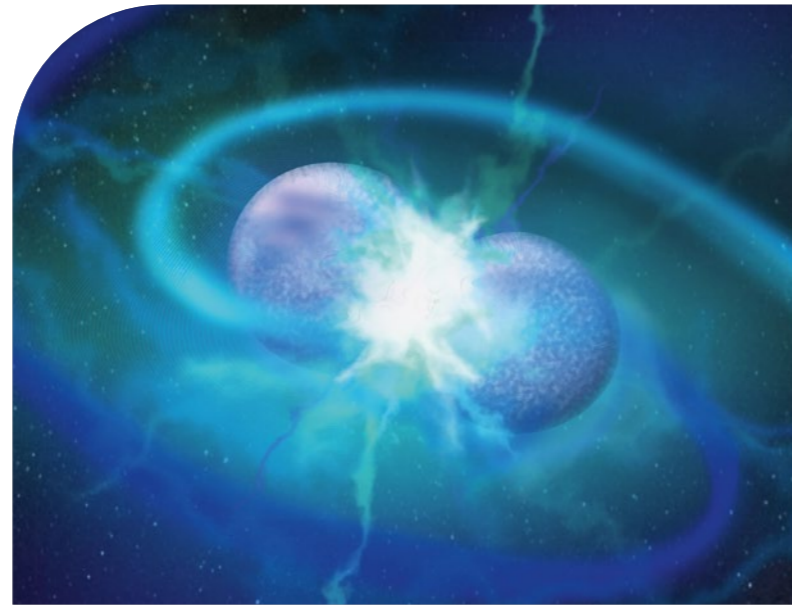
KURZMELDUNGEN

RESEARCH NEWS IN BRIEF



Die Flut im Juli 2021 war Anlass für hitzige Debatten im Netz. The flood in July 2021 caused heated debates on the net.

PHOTO: dpa picture alliance



Verschmelzung zweier Weißer Zwergsterne (künstlerische Darstellung) Merging of two white dwarf stars (artist's impression)

PHOTO: Nicole Reindl, Universität Potsdam



Bauchpanzer (l.) und Rückenpanzer (r.) der neuen Schildkrötenart Dortoka vremiri Plastron (l.) and carapace (r.) of the new turtle species Dortoka vremiri

PHOTO: Zoltan Csiki-Sava



Die numerische Kompetenz beschreibt die Fähigkeit, mit Zahlen umzugehen und Mengen einschätzen zu können. Numeracy describes the ability to deal with numbers and to estimate quantities.

PHOTO: Markus Krisetya, unsplash

Debatte zur Flut wurde zum Wertekonflikt

Debate on the Flood Became a Conflict of Values

1 Das Hochwasser, das im Juli 2021 Deutschland heimsuchte, kostete Menschenleben und richtete massive Schäden an. Über mögliche Ursachen und Konsequenzen wurde im Internet heftig debattiert – allerdings weniger sachlich als in hohem Maße moralisch aufgeladen. Zu diesem Ergebnis kommt eine Studie von Olaf Kühne, Professor für Stadt- und Regionalentwicklung. Sein Team untersuchte tausend Kommentare zu einer ZDF-Sendung über die Flutkatastrophe nach den Kategorien „sachlich“, „emphatisch“ oder „feindselig“. Dabei kam es zu dem Ergebnis, dass überwiegend Wertekonflikte ausgetragen wurden. „Wir sehen einen irrationalen Schlagabtausch, in dem die Sach- und Verfahrenskonflikte zu Identitäts- und Wertekonflikten umgedeutet werden. Die Standpunkte sind oft unversöhnlich“, sagt Kühne. Dies stehe exemplarisch für „Klimadebatten“ im Netz und gebe Anlass zur Sorge: „Eine produktive Konfliktregelung wird so fast unmöglich.“

The flood that hit Germany in July 2021 cost human lives and caused massive damage. Possible causes and consequences were heavily debated on the Internet, provoking morally charged rather than objective discussion. This is the conclusion of a study by Olaf Kühne, Professor of Urban and Regional Development. His team examined a thousand comments on a ZDF program about the flood disaster according to the categories “factual”, “emphatic” or “hostile”. This led to the conclusion that people were mainly expressing conflicting values. “We see an irrational exchange of ideas in which the material and procedural conflicts are reinterpreted as conflicts of identity and values. These positions are often irreconcilable”, says Kühne. This is similar to an online version of the climate debate and cause for concern: “It makes productive conflict resolution almost impossible.”

Sustainability

Astronomen entdecken seltene Sternhochzeit

Astronomers Discover a Rare Stellar Wedding

2 Astronomen der Universitäten Tübingen und Potsdam haben eine seltene Sternhochzeit entdeckt. Das Team um Professor Klaus Werner und Dr. Nicole Reindl stieß mit dem Large Binocular Telescope in Arizona auf Sterne mit exotischen Eigenschaften. Obwohl diese noch aktiv waren und in ihrem Inneren Heliumkerne fusionierten, wies ihre Oberfläche die Bestandteile eines sterbenden Sterns auf. Solche sogenannten Weißen Zwerge entstehen in der letzten Lebensphase eines Sterns; sie haben bereits eine Helium-Kernfusion hinter sich und sind mit Kohlenstoff und Sauerstoff bedeckt. Eine mögliche Erklärung für die exotische Mischung liefert ein argentinisches Astronomen-Team: Möglicherweise seien hier zwei Weiße Zwerge verschmolzen. Es sei vorstellbar, dass ein Weißer Zwerg durch Gezeitenkräfte zerrissen wurde und sein Material auf der Oberfläche seines Begleiters abgeladen habe. Um das Phänomen vollständig zu erklären, braucht es nun genauere Entwicklungsmodelle.

Astronomers from the Universities of Tübingen and Potsdam have discovered a new type of star with unusual properties – possibly two white dwarfs which have merged. While hunting for “hot stars” with the Large Binocular Telescope in Arizona, the team came across stars with unusual properties. Although these stars are still active and helium nuclei continue to fuse inside them, their surface is covered in carbon and oxygen – the ash of helium fusion. Material of this composition is usually expected in the core of white dwarfs, that are “dead stars” in which nuclear fusion has ceased. An Argentinian team of astronomers has come up with an explanation: They propose that two white dwarfs could have merged. It is conceivable that a white dwarf was torn apart by tidal forces, dumping its material on the surface of its white dwarf companion. However the scientists need more precise evolutionary models to fully explain the phenomenon.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

Schildkröte überlebte Dinosauriersterben

Turtle Survived Dinosaur Deaths

3 Eine kleine Schildkrötenart überlebte das Massensterben der Dinosaurier vor 66 Millionen Jahren: Die Biogeologen Dr. Márton Rabi und Felix Augustin beschrieben mit einem internationalen Team die bisher unbekannt *Dortoka vremiri*, die vor 70 Millionen Jahren auf dem Gebiet des heutigen Rumäniens lebte. Das 19 Zentimeter lange Reptil gehört zur Gruppe der Halswender-Schildkröten, die heute auf der Südhalbkugel vorkommen. Die letzten engen Verwandten von *Dortoka vremiri* finden sich jedoch als 57 Millionen Jahre alte Fossilien, ebenfalls in Rumänien. Daraus schließt das Team, dass die Schildkröte nach dem Aussterben der Dinosaurier weiterlebte – allerdings nur in Osteuropa. Möglicherweise habe eine geschützte paläogeografische Lage der transsilvanischen Landmasse dies begünstigt. Außerdem gehöre *Dortoka vremiri* zu den Süßwasserarten, die damals besser überlebt hätten. Versteht man die Selektivität früherer Artenauslöschungen besser, lassen sich daraus möglicherweise Erkenntnisse für den heutigen Artenschutz gewinnen.

A small species of turtle survived the mass extinction of dinosaurs: Paleobiologists Dr. Márton Rabi and Felix Augustin and an international team have described a previously unknown species of turtle *Dortoka vremiri* that lived in what is now Romania 70 million years ago. The 19-centimeter-long reptile belongs to the group of side-necked turtles that are found in the southern hemisphere today. The closest relative of the new species is recorded in later fossils, also from Romania. As a result, scientists found that this species survived the mass extinction event but only in Eastern Europe. The more remote and potentially sheltered paleogeographic conditions of the Transylvanian land mass played a role, experts say. *Dortoka vremiri* also belongs to the freshwater species that would have survived better at that time. Understanding the selectivity of earlier species extinctions could provide important insights for protecting modern species.

Journal of Systematic Palaeontology

Neue Methode erhebt „numerische Kompetenz“

New Method Raises Numeracy

4 Die Fähigkeit, mit Zahlen umzugehen und Mengenangaben einzuschätzen, wird als „numerische Kompetenz“ bezeichnet und gilt als wichtige Messgröße für die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes. Der Wirtschaftswissenschaftler Jörg Baten hat eine Methode entwickelt, mit der sich diese Kompetenz überprüfen lässt, und arbeitet in einer aktuellen Studie mit der UNESCO zusammen. Die Methode stützt sich auf die „Age-Heaping-Technik“, bei der Befragte gebeten werden, ihr Alter anzugeben. Je genauer jemand sein Alter angeben oder bei fehlerhaften Angaben runden könne, desto größer sei die numerische Kompetenz, sagt Baten. Für den aktuellen UNESCO-Bericht zur Globalen Bildungsentwicklung wurden Befragungen aus insgesamt 42 afrikanischen Ländern südlich der Sahara ausgewertet. Dabei wiesen Menschen mit höherem Einkommen und aus Städten höhere numerische Kompetenzen auf als Menschen vom Land und aus ärmeren Schichten. Die Daten wurden erstmals vergleichend neben der Lese- und Schreibfähigkeit herangezogen und sollen helfen, den Bildungsbedarf in afrikanischen Staaten abzuschätzen.

Our ability to deal with numbers and estimate quantities is known as numeracy and is considered as an important measure of a country's economic development. Economist Jörg Baten has developed a method for measuring numeracy and is working with UNESCO in a current study. The method is based on the “Age-Heaping Technique”, in which respondents are asked to indicate their age. “The more accurately someone can state their age or round in the case of incorrect information indicates higher numeracy”, explains Baten. Surveys from a total of 42 African countries south of the Sahara were evaluated for the current UNESCO report on the global development of education. People with higher incomes and from cities had higher numeracy than people from rural and poorer backgrounds. This is the first comparative study evaluating data on numeracy and literacy skills which is intended to help assess educational needs in African countries.

DER GLOBALISIERTE KNÖTERICH

THE GLOBAL SUCCESS STORY OF KNOTWEED

TEXT Wolfgang Krischke

Ein Tübinger Forschungsprojekt ist dem Erfolgsgeheimnis invasiver Pflanzen auf der Spur – und wirft neues Licht auf alte Fragen der Evolutionsbiologie.

A research project in Tübingen attempts to uncover why invasive plant species spread, and it is revisiting some fundamental ideas in evolutionary biology.

DE Leuchtend weiße Blütenstände, frische, grüne Blätter, rötlich gefleckte Stängel – der Japanische Staudenknöterich (*Reynoutria japonica*) erfreut das Auge. Man versteht, warum Philipp Franz Balthasar von Siebold ihn 1820 nach Europa brachte. Der bayerische Arzt und Naturforscher lebte damals in Nagasaki, obwohl zu der Zeit westliche Besucher, mit Ausnahme der Niederländer, japanischen Boden nicht betreten durften. Die schicke Staude, die Siebold aus dem Fernen Osten einführte, erfreute sich großer Beliebtheit. Sie wurde in den Parks und Gärten Europas und Nordamerikas heimisch. Das galt auch für einen engen Verwandten, der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts von der Sachalin-Insel nach Europa kam, den ähnlich aussehenden Riesenknöterich (*Reynoutria sachalinensis*).

Doch mittlerweile sind aus den Zierpflanzen Problempflanzen geworden – nicht nur in Deutschland, sondern auch in anderen Teilen Europas und in Nordamerika. Denn die Ausbreitung der asiatischen Knötericharten scheint unaufhaltsam. Das Blätterdach der drei bis vier Meter hohen Stauden säumt Ufer, Straßenränder und Bahndämme, macht sich auf Waldlichtungen, in Grünanlagen und auf Spielplätzen breit.

Ihr ungezügelter Wuchs bedroht die Artenvielfalt: Dort, wo die asiatischen Knöteriche gedeihen, überschatten und verdrängen sie alle anderen Pflanzen. Sie gehören zu der wachsenden Zahl „invasiver“ Pflanzenarten, die sich jenseits ihres Ursprungsgebiets ausbreiten und den Gewächsen ihrer neuen Heimat den Lebensraum streitig machen. Weltweit belaufen sich die Schäden invasiver Arten in den letzten Jahrzehnten auf mindestens eine Billion Euro, Tendenz stark steigend.

Unverwüstlich und erfolgreich

Dabei gehören die asiatischen Knöteriche zu den besonders erobersüchtigen Pflanzen. Ihre rasante Ausbreitung geschieht vor allem durch Rhizome – waagrecht unter der Erde wachsende Ausläufer, von denen überall neue Stängel emporschießen. Rhizome können meterlang werden und bilden ein robustes unterirdisches Geflecht. Schon kleinste Stücke, die durch Erdbewegungen in der Landschaft verstreut werden, treiben erneut aus.

Das macht eine Bekämpfung schwierig, sobald größere Flächen bewachsen sind. Die Rhizome können in Mauerritzen oder Asphalt eindringen und sie aufsprengen. Da diese Knötericharten sich besonders gern auf zeitweise überfluteten Flussufern ansiedeln, gefährden sie häufig Schleusen und Dämme. Aber auch Straßen, Parkplätze und Hausfundamente können beschädigt werden.

Die Evolutionsbiologen stellt der Erfolg der asiatischen Knöteriche und anderer invasiver Pflanzen vor ein spannendes Rätsel. Warum, das erläutert Professorin Christina Richards, die von der Universität von Süd-Florida für mehrere Jahre nach Tübingen gekommen ist, um den Japanischen Staudenknöterich zu erforschen. „Alle Exemplare des Japanischen Staudenknöterichs in Europa stammen vermutlich von einer einzigen importierten Pflanze ab. Sie müssten also Klone, das heißt genetisch identisch sein. Genau das sollte ihre Ausbreitung aber eigentlich hemmen. Der Evolutionstheorie zufolge muss eine Spezies nämlich genetische Variationen aufweisen, damit sie sich an unterschiedliche Umweltbedingungen anpassen kann.“

Trotzdem wurde der Japanische Staudenknöterich zu einem globalen „Eroberer“, der seinen Lebensraum immer noch ausdehnt. Er findet sich im rauen Norden ebenso wie in subtropischen Regionen und setzt sich auch in widrigen Umgebungen durch, in Salz- und Marschen zum Beispiel oder auf Sandstränden. Was ist sein Erfolgsgeheimnis?

Alle Exemplare des Japanischen Staudenknöterichs in Europa stammen vermutlich von einer einzigen importierten Pflanze ab.

All specimens of Japanese knotweeds in Europe are probably derived from a single imported plant.



01

01



02

EN With bright white flowers, fresh green leaves and reddish spotted stems the Japanese knotweed (*Reynoutria japonica*) is pleasing to the eye. It is clear why the physician and naturalist Philipp Franz Balthasar von Siebold brought it to Europe in 1820. The attractive perennial from the Far East enjoyed great popularity and became introduced to gardens in Europe and North America. So did the Giant knotweed (*Reynoutria sachalinensis*), a relative of the Japanese knotweed, that was also brought to Europe from Sakhalin Island around this time.

But today the ornamental plants have become a problem – in Europe and North America. Their dense canopies grow up to three or four meters; they cover river banks, roadsides and railroad embankments. Their rampant growth threatens biodiversity: Where Japanese or Giant knotweed thrive, they displace all other plants. They are part of the growing number of invasive plant species that are spreading beyond their area of origin. Globally, the damage caused by invasive species has amounted to at least one trillion euros in recent decades, and the trend is rising sharply.



03

- 01** Knötericharten siedeln sich besonders gern auf zeitweise überfluteten Flussufern an.
Knotweeds grow very well on river banks that flood regularly.
- 02** Der Japanische Staudenknöterich gedeiht in Europa und den USA prächtig und unaufhaltsam.
Japanese knotweed is thriving magnificently and unstoppably in Europe and the USA.
- 03** Eines von drei Exkursions-Teams: In Europa verfolgte es von Schweden bis Italien die Spur des Staudenknöterichs.
One of three field trip teams: In Europe, they tracked knotweed from Sweden to Italy.

PHOTOS: Madalin Parepa

Indestructible and successful

Japanese knotweeds are among the most invasive species of plants. Their ability to spread rapidly is mainly due to rhizomes – shoots growing horizontally underground from which new stalks shoot up. Rhizomes can be several meters long and form a robust underground network. The tiniest pieces scattered across the landscape by earthmoving will sprout again. Knotweeds can grow very well on river banks that flood regularly, threatening locks and dams. Stems can penetrate through cracks in walls and asphalt and cause them to crack. They also cause significant damage to roads and buildings.

The success of invasive plants poses a mystery to evolutionary biologists. Professor Christina Richards, who has joined the University of Tübingen from the University of South Florida, explains why: “All specimens in Europe are probably derived from a single imported plant. So they should be clones which are genetically identical. But that is exactly what should, at least theoretically, inhibit their spread. Evolutionary theory assumes that species must have genetic variation to be able to adapt to different environmental conditions.”

Despite very different environmental conditions, the Japanese knotweed has thrived around the globe and continues to expand its range. It is found in the rough environments of the north as well as in subtropical regions and it also succeeds in adverse environments such as salt marshes or sandy beaches. But what is the secret behind its success?



Spurensuche auf drei Kontinenten

Diese Frage zu beantworten ist Ziel des Forschungsprojekts „Genetik und Epigenetik invasiver Pflanzen“ (Genomics and Epigenomics of Plant Invasion). Geleitet wird es von Christina Richards gemeinsam mit Oliver Bossdorf, Professor für Evolutionäre Ökologie der Pflanzen. Beteiligt sind Partneruniversitäten in China, Europa und den USA (siehe Kasten). Um eine solide Datenbasis zu schaffen, fanden in den Sommermonaten 2019 und 2020 drei Expeditionen statt: In Europa, den USA und China machte sich je ein vierköpfiges Forschungsteam auf einen zweitausend Kilometer langen Weg von Süden nach Norden, um zu untersuchen, wie der Japanische Knöterich in unterschiedlichen klimatischen Zonen gedeiht.

In Europa führte die Forschungsreise von Norditalien bis nach Mittelschweden, in den USA ging es entlang der Ostküste vom subtropischen Georgia bis nach Maine an der kanadischen Grenze. In China verlief die Route von Guangzhou bis in die Region südlich von Peking. Da China zu den Ursprungsgebieten des Japanischen Staudenknöterichs gehört, eignen sich die Pflanzen dort für den Vergleich mit den „ausgewanderten“ Verwandten in Europa und Amerika.

Drei Wochen waren die Teams im Van unterwegs. An fünfzig Knöterich-Standorten entlang jeder Route maßen sie die Ausdehnung und Dichte der bewachsenen Flächen sowie die Größe und Dicke der Stängel und Blätter. Sie bestimmten den Lichteinfall, untersuchten die Schädigung durch Insektenfraß, Bakterien und Pilze und analysierten die chemische Zusammensetzung des Bodens. Blattproben wurden in Tanks mit flüssigem Stickstoff eingefroren, um sie für die genetische und chemische Analyse im Labor zu konservieren.

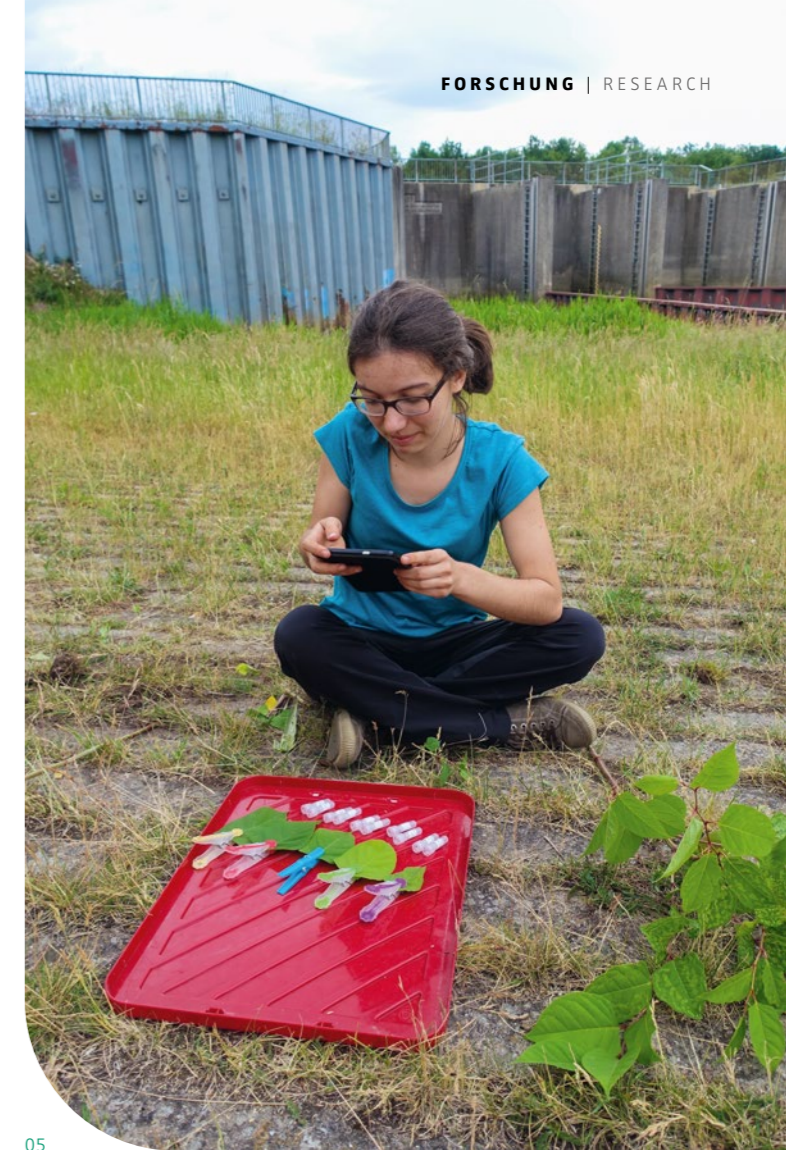
Richards, die an der Expedition in den USA teilnahm, erinnert sich an lange Tage auf der Straße, aber auch an viele positive Begegnungen. „Wir trafen Leute, die sich für unsere Arbeit interessierten, weil sie sahen, wie sich die Pflanze in ihrer eigenen Umgebung verbreitet. Es war eine gute Gelegenheit, den Menschen einen Eindruck von praktischer Forschungsarbeit zu vermitteln.“

Tracing knotweed on three continents

The research project “Genomics and Epigenomics of Plant Invasion”, led by Richards and Oliver Bossdorf, Professor of Plant Evolutionary Ecology, with partners in China, Europe and the US, is hoping to reveal this secret. In the summer of 2019 and 2020 the scientists gathered extensive data for the project on three expeditions: In Europe, the USA and China teams of four researchers travelled on two-thousand-kilometer routes from south to north to understand how the Japanese knotweed thrives in different climate zones. In Europe, the journey led from northern Italy to central Sweden, in the US along the east coast from subtropical Georgia to Maine, and in China from Guangzhou in the south to near Beijing.

The teams were on the road for three weeks. At fifty knotweed sites along each route, they measured the extent and density of the areas covered by knotweed, and the size and thickness of stems and leaves. They determined the light incidence, studied the damage by insects, bacteria and fungi, and analyzed the chemical composition of the soil. Leaf samples were frozen in liquid nitrogen tanks to preserve them for later genetic and chemical analysis in the laboratory. Rhizomes were collected to establish common gardens.

Richards, who participated in the US expedition, remembers long days on the road, but also many positive encounters. “We met people who were interested in our work because they saw the plant spreading in their own environment. It was a good opportunity to give people an impression of practical research work.”



05

No natural enemies in sight

The expedition data show that the climatic differences in the USA and in Europe do not play a major role for the knotweed. The plants are similar throughout these regions. Their Chinese relatives, on the other hand, appear puny compared to their invasive counterparts in the Western world. They are shorter, have smaller leaves and grow less densely.



06

04 An fünfzig Standorten wurden Ausdehnung und Dichte der bewachsenen Flächen vermessen.

Extent and density of vegetated areas were measured at fifty sites.

05 Biologiestudentin Elodie Kugler sortiert Pflanzenproben.

Biology student Elodie Kugler sorts plant samples.

06 Knöterich-Spross, bei dem Länge und Stängelumfang überprüft werden.

Measuring the length and stem circumference of a knotweed shoot.

PHOTOS: Madalin Parepa



07

Keine natürlichen Feinde in Sicht

Die Expeditionsdaten zeigen, dass die klimatischen Unterschiede in den USA und in Europa für den Japanischen Staudenknöterich keine große Rolle spielen. Die Pflanzen dort gleichen sich über die Regionen hinweg. Dafür unterscheiden sie sich beträchtlich von ihren asiatischen Verwandten. Die Pflanzen dort wirken kümmerlich im Vergleich zu ihren invasiven Artgenossen in der westlichen Welt. Sie sind niedriger, haben kleinere Blätter und wachsen weniger dicht.

„Die chinesischen Knöterich-Pflanzen bekommen im Durchschnitt weniger Sonne, weil sie oft im Unterholz wachsen, zudem enthalten ihre Böden weniger Nährstoffe. Und anders als in Europa und Amerika kämpft der Knöterich in China mit einer Vielzahl von Feinden: Insekten fressen seine Blätter, Bakterien und Pilze befallen ihn. 85 Prozent der Pflanzen, die in China untersucht wurden, waren infiziert“, erläutert Dr. Ramona Irimia, die an der Universität von Coimbra (Portugal) über invasive Pflanzen promoviert hat und im Tübinger Projekt für Gewächshausversuche und statistische Auswertungen zuständig ist.

Die invasiven Stauden in Europa und Amerika hingegen müssen sich kaum mit Krankheiten und Fressfeinden herumschlagen. Diesen Vorsprung gegenüber einheimischen Pflanzen werden sie voraussichtlich noch lange haben, so Irimia, denn bis sich natürliche Feinde für den Japanischen Staudenknöterich interessieren, kann viel Zeit vergehen. Möglicherweise verschafft ihnen die Abwesenheit natürlicher Feinde sogar einen doppelten Wettbewerbsvorteil. Die Forscherinnen vermuten, dass die Pflanzen die Kräfte, die sie in ihrer Heimat in die Abwehr stecken mussten, hier in ihr Wachstum und ihre Ausbreitung investieren.

”
Die invasiven Stauden in Europa und Amerika müssen sich kaum mit Krankheiten und Fressfeinden herumschlagen.

In Europe and America the invasive plants hardly showed signs of diseases or predators.

“
Genetik oder Umwelteinflüsse?

Offen ist bislang, welche der Unterschiede zwischen heimischen und invasiven Knöterichpflanzen bereits im Erbgut verankert und welche epigenetisch bedingt sind, also durch chemische Veränderungen an der DNA oder den Chromosomen verursacht. Solche Veränderungen können durch Umweltfaktoren wie Nährstoffe, Temperatur oder Lichteinstrahlung entstehen und Gene ein- oder ausschalten – so prägen sie die Eigenschaften von Organismen mit.



08

“On average, Chinese knotweed plants get less sun because they often grow in the forest understory, and in soils that contain less nutrients. Unlike in Europe and America, the knotweed has a variety of enemies in China: Its leaves are attacked by insects, bacteria and fungi. 85 percent of the plants examined in China were infected”, explains Dr. Ramona Irimia, who worked on invasive plants during her PhD at the University of Coimbra (Portugal) and is responsible for greenhouse experiments and statistical analyses in the Tübingen project.

In Europe and America, on the other hand, the invasive plants hardly showed signs of diseases or predators. Irimia believes they will probably keep this advantage over native plants for a long time to come, as it may take a long time before natural enemies become interested in the Japanese knotweed. The absence of enemies may even give knotweed a double advantage if, as the researchers suspect, the energy needed for defense in the native range is re-invested into more vigorous growth in other regions.

09



07 Ableger im Gewächshaus: Das Team will überprüfen, wie resistente Pflanzen verschiedenen Ursprungs gegen Klimaeinflüsse oder Insektenbefall sind.

Offshoots in the greenhouse: The team wants to learn how resistant plants of different origins are to climate influences or infestation.

08 Mit Blattläusen befallener Staudenknöterich

Knotweed infested with aphids

09 85 Prozent der in China untersuchten Knöterich-Pflanzen war von Schädlingen infiziert – in Europa und den USA war dies nicht der Fall. Eighty-five percent of the knotweed plants tested in China were infected by pests – this was not the case in Europe and the US.

PHOTOS: Madalin Parepa

Um genetische und epigenetische Faktoren unterscheiden zu können, werden momentan in mehreren Versuchsgärten, darunter auch Tübingen, Ableger von allen 150 Knöterich-Populationen gezogen, die die Expeditionen untersucht hatten. „Es ist eine verzwickte Angelegenheit, diese Komponenten zu trennen“, sagt Dr. Isolde van Riemsdijk, Spezialistin für Gensequenzierung und Bioinformatik, die an der Universität von Leiden (Niederlande) in Evolutionsbiologie promoviert hat. Die Analyse des Japanischen Staudenknöterichs sei eine besondere Herausforderung, sein Genom doppelt so groß wie das des Menschen.

Die ursprüngliche Annahme der Forscherinnen war: Alle Knöterichpflanzen sind Klone, Unterschiede zwischen ihnen müssen epigenetisch bedingt sein. Experimente im Gewächshaus schienen dies zu bestätigen. Nun liefern präzisere Methoden für die Gensequenzierung ein neues Bild. „Es zeigt sich überraschenderweise, dass die Knöterichpflanzen auch genetische Unterschiede aufweisen, die wir bisher nicht erkannt hatten. Die Pflanzen haben Mutationen durchlaufen und sind gar keine echten Klone mehr“, erklärt Richards.

„Wir wollen herausfinden, ob es diese Mutationen sind, die es dem Japanischen Staudenknöterich in seinen neuen Habitaten erlaubt, immer aggressiver zu werden. Möglicherweise sorgen sie zudem dafür, dass auch die umweltbedingten Merkmale erblich geworden sind, was eine zusätzliche Erklärung für die rasante Ausbreitung wäre. Unsere Ergebnisse werden nicht nur Möglichkeiten aufzeigen, diese und andere invasive Pflanzen einzudämmen, sondern auch ein neues Licht auf das Verhältnis von vererbten und erworbenen Eigenschaften werfen – ein sehr kontroverses Thema in der Evolutionsbiologie.“

Noch hat der Japanische Staudenknöterich sein Erfolgsgeheimnis nicht vollständig preisgegeben, aber die Tübinger Forschungsgruppe ist dabei, ihm Antworten zu entlocken. Von Siebold konnte nicht ahnen, dass seine importierte Staude einmal Forschungen in Gang setzen würde, die die Grundlagen der Evolutionsbiologie berühren. Aber es hätte dem Naturforscher gewiss gefallen. In seinem Gastland genießt er übrigens noch heute großes Ansehen. Zu seinem 200sten Geburtstag 1996 brachten die japanische und die deutsche Post zeitgleich eine Briefmarke heraus. Sie zeigt neben seinem Porträt die Dreispitzige Jungfernebe, eine wilde Weinart, die er ebenfalls nach Europa brachte. Den japanischen Knöterich auch per Briefmarke zu verbreiten – darauf hat man wohl lieber verzichtet.



10

10 In Versuchsgärten soll geklärt werden, welche Unterschiede genetisch angelegt sind und welche durch Umweltfaktoren verursacht werden.

Research in botanical gardens aims to clarify which differences are genetically inherited and which are caused by environmental factors.

11 Beschädigter Knöterich an einem chinesischen Standort
Damaged knotweed at a Chinese site

PHOTOS: Madalin Parepa

12 Professor Dr. Christina Richards

13 Dr. Ramona Irimia

14 Dr. Isolde van Riemsdijk

PORTRAITS: Friedhelm Albrecht



11

”
Unsere Ergebnisse werden nicht nur Möglichkeiten aufzeigen, diese und andere invasive Pflanzen einzudämmen, sondern auch ein neues Licht auf das Verhältnis von vererbten und erworbenen Eigenschaften werfen – ein sehr kontroverses Thema in der Evolutionsbiologie.

Our results will not only show ways to contain these and other invasive plants, but also shed new light on the relationships between inherited and environmental characteristics – a very controversial topic in evolutionary biology.

“

The researchers originally assumed that all Japanese knotweed plants are clones and differences must be epigenetically based. Initial studies seemed to confirm this. More precise methods for DNA sequencing now paint a different picture. “It turns out that the knotweed plants also have genetic differences that we had not previously detected. The plants have acquired mutations and are no longer real clones”, explains Richards.

“We want to find out whether it is these mutations that allow the Japanese knotweed to become increasingly aggressive in its new habitats. Mutations may also have allowed environmentally induced characteristics to become inherited, an additional explanation for the rapid spread. Our results will not only show ways to contain these and other invasive plants, but also shed new light on the relationships between inherited and environmental characteristics – a very controversial topic in evolutionary biology.”

The Tübingen research group is still uncovering the secrets behind the global spread of Japanese knotweed. Von Siebold could not have foreseen that his admired ornamental would one day initiate research that questions fundamental concepts of evolutionary biology. To celebrate his 200th birthday in 1996, both the Japanese and the German postal services issued a commemorative stamp. It shows his portrait next to the three-pointed virgin vine which he also brought to Europe. It was probably a wise decision to not use the infamous knotweed instead – and spread it further on a stamp.

12



13



14



→ Im Forschungsprojekt „Genetik und Epigenetik invasiver Pflanzen / Genomics and Epigenomics of Plant Invasion“ kooperiert das Institut für Evolution und Ökologie der Universität Tübingen mit der Fudan-Universität in Shanghai (China), den Universitäten von Uppsala (Schweden), Turin (Italien) und Süd-Florida sowie der Cornell-Universität (beide USA) und dem Tropischen Botanischen Garten in Xishuangbanna, China.

→ Das Projekt wird im Rahmen des deutsch-französischen Programms MOPGA („Make Our Planet Great Again“) gefördert, das im Zuge des Pariser Klimaschutzabkommens aus der Taufe gehoben wurde

→ In the research project “Genomics and Epigenomics of Plant Invasion”, the Institute of Evolution and Ecology at the University of Tübingen cooperates with the Fudan University in Shanghai (China), Xishuangbanna Tropical Botanical Garden (China), University of Rennes (France), Uppsala University (Sweden), University of Turin (Italy), Cornell University and University of South Florida (both USA).

→ The project is funded as part of the German-French program MOPGA (“Make Our Planet Great Again”), which was launched to support the objectives of the Paris Climate Agreement

MEISTER DER MATERIE

MASTERS OF MATTER

TEXT Rüdiger Vaas
PHOTOS Jörg Jäger

Christian Groß beobachtet und kontrolliert einzelne Atome und deren Wechselwirkungen, um die faszinierende Welt der Quantensysteme besser zu verstehen.

Christian Groß observes and controls the interaction of individual atoms to build fascinating quantum many-body systems.

DE Zu den erstaunlichsten Eigenschaften des Universums zählt, dass es sich quasi seiner selbst bewusst werden kann. Denn es hat Orte hervorgebracht mit Wissenschaftlern, die sowohl das große Ganze erkunden als auch dessen grundlegenden Bausteine. Ein solcher Forscher ist Christian Groß, Professor am Physikalischen Institut der Universität Tübingen. Dort bauen er und sein Team zurzeit ein Spezialmikroskop im Labor auf, mit dem sich komplexe Quantensysteme beobachten lassen. Das wird helfen, Eigenschaften des bizarren Mikrokosmos insgesamt besser zu verstehen und sie auch praktisch zu nutzen: etwa in Form von Quantencomputern, deren Rechenleistung alles Bisherige um Größenordnungen übertrifft.

Die einzelnen Mulden beziehungsweise Gitterstellen messen weniger als ein tausendstel Millimeter. Um zu verhindern, dass die Atome im Gitter unkontrolliert herumhüpfen oder entweichen, werden sie extrem gekühlt – auf wenige milliardstel Grad über dem absoluten Nullpunkt, der bei minus 273,15 Grad Celsius liegt. Dadurch verharren die Teilchen nahezu bewegungslos. „Wir können sie bis zu zehn Minuten lang festhalten, typischerweise sind es ein paar Sekunden“, sagt Groß.

Schon die Kühlung ist ein Kunststück, denn die Atome fliegen 300 Grad Celsius heiß aus einem Ofen. Ihre Geschwindigkeit wird durch eine spezielle Laserbestrahlung so stark abgebremst, dass das Lithium-Gas bloß noch einige millionstel Grad hat. Anschließend bläst die Verdampfungskühlung die wärmsten Teilchen fort

– ähnlich wie man heißen Kaffee durch Pusteten kühlt. Nur etwa 0,1 Prozent der Atome bleiben so im optischen Gitter übrig. Mittels Laser lassen sich ihre Positionen oder ihre Eigenschaften gezielt verändern, etwa ihr Spin (eine Art innerer Quantendrehimpuls). Auch die Geometrie, Ordnung und Tiefe der „Mulden“ kann das Team verändern – und sogar Magnetfelder erzeugen, die mehr als hundert Mal so stark sind wie die in üblichen Laboren der Festkörperphysiker.

Um die Position der

Atome zu messen, werden diese mit weiteren Lasern schwach bestrahlt und fluoreszieren daraufhin. Die Streuung von rund zehntausend Lichtteilchen genügt, um herauszufinden, in welchen Mulden des Gitters sich zu diesem Zeitpunkt ein Atom befindet und in welchen nicht. Dabei schafft es Groß, die Position von mehreren hundert Atomen simultan abzubilden. „Somit erhalten wir einen einzelnen Schnappschuss eines komplexen Quantensystems.“

Allerdings erwärmt die Bestrahlung die Atome, bringt sie also in Bewegung. „Die Messung zerstört das System“, sagt der Physiker. Für die nächste Messung muss das Gitter mit neuen Atomen besetzt werden. Das Quantengas-Mikroskop ist inzwischen so optimiert, dass ein Durchgang nur etwa zwanzig Sekunden dauert – möglich sind bis zu drei Schnappschüsse der Mikrowelt pro Minute. Allerdings sind typischerweise zehntausend erforderlich, die im Computer gemittelt werden, um einen präzisen Messwert zu erhalten.

”

Das Quanten-Lego ist in zweierlei Hinsicht spannend: was die Konstruktion der Experimente selbst betrifft wie auch im Hinblick auf die Vielteilchensysteme, die wir damit untersuchen und Atom für Atom kontrollieren können.

This quantum Lego is exciting in two respects: in terms of the design of the experiments themselves and in terms of the many-body systems that we can use it to investigate and control atom by atom.

“



01

Solche Quantengas-Mikroskope gibt es erst seit 2009 – und für fermionische Atome, wie Christian Groß sie verwendet, sogar erst seit 2015. Damit leistete er bereits am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching Pionierarbeit. So gelang es ihm mit Kollegen 2016, einen neuen Materiezustand im Quantenreich herzustellen. 2018 wurde es erstmals möglich, magnetische Polaronen abzubilden: Diese als Quasiteilchen bezeichneten Strukturen bewegen sich ähnlich wie Partikel, sind in Wirklichkeit aber eine Störstelle in einer stark modifizierten atomaren Umgebung.

Atome im Eierkarton

Ein Quantengas-Mikroskop ist komplexe Hochleistungstechnologie; man kann mit ihm einzelne Atome und deren Wechselwirkung untersuchen. Dafür wird durch geschickt arrangierte Laserstrahlen ein komplexes Lichtfeld erzeugt. Im Experiment von Groß kommen drei Laser zum Einsatz, deren infrarote Strahlen mit Spiegeln hin- und herreflektiert und zur Überlagerung gebracht werden. So entsteht ein „optisches Gitter“ – vergleichbar mit einem winzigen Eierkarton, in dessen Mulden sich Atome platzieren, nachweisen und gezielt manipulieren lassen. Groß verwendet Lithium-Atome, weil sie sehr leicht sind und sich gut im optischen Gitter bewegen, und wird auch Atome des metallischen Elements Erbium einsetzen.



02

EN

Our universe has the astounding feature that it can become aware of itself. It has produced research locations and scientists who explore both the big picture and its fundamental building blocks. Professor Christian Groß is one of these scientists at the University of Tübingen. Groß and his team are currently setting up a special microscope in the laboratory, which can be used to observe complex quantum systems. This will help scientists to better understand the properties of the quantum world and to employ its effects, for example, in quantum computers whose computing power far exceeds all existing technology.

A quantum gas microscope is a complex and powerful instrument that can be used to study individual atoms and the interactions between them. Carefully arranged laser beams generate a complex field of light to study particles in it. In Groß's laboratory, three lasers are used and the infrared beams of these lasers are superimposed by using mirrors to reflect the beams back and forth. This produces an optical grid, comparable to a tiny egg carton. Atoms can be placed, detected and manipulated in a targeted way within the troughs of this grid. Groß uses lithium atoms because they have only a small mass and can be moved easily in the optical grid, and he intends to use atoms of the metallic element erbium as well.

the particles remain virtually motionless. “We can hold them for up to ten minutes, but usually only for a few seconds”, says Groß.

With atoms emerging from the furnace at 300 °C, cooling them is already an incredible feat. They are slowed down with lasers to such an extent that the lithium gas is cooled to only a few millionths of a degree. Evaporation cooling is used to blow away the warmest particles – similar to cooling hot coffee by blowing on it. Only about 0.1 percent of the atoms remain in the optical grid. With other lasers the researcher control the positions of the atoms or their properties such as spin (a form of quantum angular momentum). The team can also manipulate the geometry, order and depth of the grid troughs – and even generate magnetic fields that are more than a hundred times stronger than in conventional solid-state physics laboratories.

Weak laser beams are a tool to measure the positions of the atoms which causes them to fluoresce. Scattering about ten thousand light particles is sufficient to pinpoint which trough the atom is currently located in. Groß can map the position of several hundred atoms simultaneously: “This gives us a single snapshot of a complex quantum system.”

However, irradiation heats the atoms and sets them in motion. “A measurement destroys the system”, says Groß. For the next measurement, the grid



03

Atoms in an egg carton

The individual troughs or grid locations measure less than one thousandth of a millimeter. To prevent the atoms in the grid from bouncing or escaping uncontrollably, they are cooled to extreme temperatures – a few billionths of a degree above absolute zero, which is minus 273.15 °C. At this temperature,

01 Mit dem Quantensimulator studiert das Team das Verhalten von Atomen und ihre Wechselwirkungen.

The team uses a quantum simulator to study the behavior of atoms and their interactions.

02 In der Ultrahochvakuumkammer gelingt es, einzelne Atome für kurze Zeit festzuhalten.

In the ultra-high vacuum chamber, scientists can hold individual atoms for a short time.

03 Hunderte hochreflektiver Spiegel werden im experimentellen Aufbau verwendet, um Laserstrahlen auf die Atome zu führen.

Hundreds of highly reflective mirrors are used in the experimental setup to guide laser beams onto atoms.



Quanten-Lego und Supersimulationen

„Ich bin oft im Labor. Ich bastle gerne und greife auch zum Lötkolben. Die Physik hat bei uns noch einen echt experimentellen Charakter“, betont Christian Groß. „Wir bauen unsere Apparaturen aus Tausenden von Einzelteilen. Insofern ist das Quanten-Lego in zweierlei Hinsicht spannend: was die Konstruktion der Experimente selbst betrifft wie auch im Hinblick auf die Vielteilchensysteme, die wir damit untersuchen und Atom für Atom kontrollieren können.“

Dies sind ideale Bedingungen, um einzelne Atome und ihre Wechselwirkung zu studieren. Sie verhalten sich dabei ähnlich wie Elektronen in einem Festkörper und bilden quasi künstliche Materialien. So kann man auch sehr komplexe Phänomene der Materie erforschen. Mit solchen Modellsystemen, Groß nennt sie „Quantensimulatoren“, lassen sich Eigenschaften weiterer komplizierter, realer Systeme imitieren. Das ist äußerst nützlich: Zwar sind die Prinzipien der Quantenphysik seit den 1920er-Jahren bekannt und bestätigt. Doch für Vielteilchensysteme gibt es nur theoretische Beschreibungen, deren Gleichungen selbst Supercomputer lediglich näherungsweise lösen können.

→ **Christian Groß** ist seit 2019 Heisenberg-Professor für Experimentelle Quanten-Vielteilchenphysik an der Universität in Tübingen. Seit 2011 arbeitete er am MPI für Quantenoptik in Garching, ab 2017 als Forschungsgruppenleiter. Er studierte an der Universität Mainz Physik. An der Universität Heidelberg promovierte er zum Thema „Spin squeezing and nonlinear atom interferometry with Bose-Einstein condensates“ und arbeitete als Postdoc.

→ Er erhielt unter anderem den Ruprecht-Karls-Preis der Universität Heidelberg, den Dissertationspreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, den Heinz Maier-Leibnitz-Preis der DFG und den Alfred Krupp-Förderpreis für junge Hochschullehrer. Groß koordiniert das vom Bundesforschungsministerium mit 13,1 Millionen Euro geförderte Projekt „Fermion-Quantenprozessor (FermiQP)“ zur Entwicklung von Technologien für Quantensimulatoren und -computern.

→ **Christian Groß** has been Heisenberg Professor of Quantum Many-Body Physics at the University of Tübingen since 2019. He has worked at the MPI for Quantum Optics in Garching since 2011 and became a research group leader in 2017. He studied physics at the University of Mainz and completed his doctorate at the University Heidelberg on “Spin squeezing and nonlinear atom interferometry with Bose-Einstein condensates”, where he also worked as a postdoctoral researcher.

→ He received the Ruprecht-Karls-Prize of the University of Heidelberg, the Dissertation Prize of the German Physical Society, the Heinz Maier-Leibnitz Prize of the DFG and the Alfred Krupp Prize for junior professors. Groß coordinates the “Fermion Quantum Processor (FermiQP)” project which is tasked with developing technologies for quantum simulators and computers and funded by the Federal Ministry of Research with 13.1 million euros.

„Wir testen die Theorie und sind zugleich in der Lage, genauere Aussagen über das Verhalten der Vielteilchensysteme zu machen“, sagt Groß. Dies ist besonders für die Festkörperphysik, statistische Physik, Quantenchemie und Hochenergiephysik interessant, weil dort häufig viele Quantenteilchen miteinander interagieren. „Ähnlich wie bei den Navier-Stokes-Gleichungen der klassischen Physik, die Strömungen von Flüssigkeiten und Gasen beschreiben“, vergleicht es Groß: „Wird es kompliziert, etwa beim Luftwiderstand von Fahrzeugen, kann man sie nicht mehr exakt lösen und verwendet stattdessen einen Windkanal zur Simulation.“

Quantensimulatoren haben enormes Anwendungspotenzial. Groß studiert damit bereits die Entwicklung von Quantensystemen, verschiedene Phänomene bis hin zu elementaren magnetischen Quasiteilchen, die ominösen Verschränkungen der Quantenwelt sowie neuartige Materialien und Eigenschaften der Materie wie den Übergang von Supraleitern zu Isolatoren. Dies ermöglicht, grundlegende Effekte zu erforschen – etwa die Mechanismen, auf denen Supraleitung basiert. Dieser nahezu verlustfreie Stromtransport (Elektronenbewegung) verspricht vor allem bei Hochtemperatur-Supraleitern weitreichende praktische Einsatzmöglichkeiten, ist jedoch nur ansatzweise verstanden. „Wir hoffen, in wenigen Jahren mit Quantensimulatoren die Rechenkapazität der besten Computer weit hinter uns zu lassen.“

Riesenatome in der bizarren Quantenwelt

Neben dem Quantengas-Mikroskop verwendet das Team eine weitere Methode für Designer-Quantensysteme. Dabei werden Atome durch ultraviolette Laserstrahlen zu einem sogenannten Rydberg-Zustand angeregt, der maximal 0,1 Millisekunden andauert. Das äußerste Elektron eines solchen Atoms ist etwa tausend Mal so weit vom Kern entfernt wie im Grundzustand. Rydberg-Atome sind also riesig. Das Besondere: Im Rydberg-Zustand kann die Interaktion der Atome über zehn Milliarden Mal stärker sein als im Grundzustand; sie beeinflussen sich über relativ große Entfernungen.

„Wir können die Wechselwirkung und somit die Systemeigenschaften sehr genau kontrollieren“, sagt Doktorandin Lea-Marina Steinert. Im Gegensatz zum Lithium im optischen Gitter werden die Rydberg-Atome in optischen Pinzetten gehalten – einzelne, stark fokussierte Laserstrahlen. Mit dieser Methode sind zwar nicht so kleine Distanzen möglich, dafür lassen sich die Pinzetten frei im Raum positionieren. Zusammen mit der Wechselwirkung über lange Reichweiten eröffnet das völlig neue Optionen, Designer-Quantensysteme zu realisieren. „Bei größeren Abständen sind die Atome besser einzeln zu kontrollieren“, sagt Groß. „Damit ergeben sich neue Programmiermöglichkeiten für Quantensimulatoren bis hin zu einem universellen Quantencomputer, der auf einzelnen Atomen basiert.“

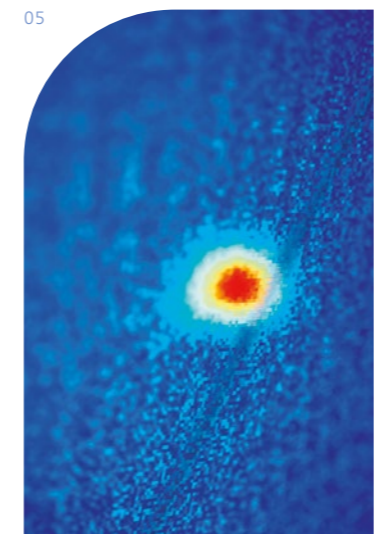
Die aktuellen und geplanten Forschungen sollen dazu beitragen, komplexe Quantensysteme so gut zu kontrollieren, dass sie sich technologisch nutzbar machen lassen. Und das Universum wird bestimmt noch weitere Geheimnisse preisgeben.

must be filled with new atoms. The quantum gas microscope has been optimized to achieve one cycle in about twenty seconds and take up to three snapshots of the system. Typically, ten thousand snapshots are required, and averages are calculated using computers to obtain a precise measured value.

Quantum Lego and supersimulations

“We are definitely in the realm of experimental physics”, emphasizes Christian Groß. “Our equipment is built from thousands of individual parts. This quantum Lego is exciting in two respects: in terms of the design of the experiments themselves and in terms of the many-body systems that we can use it to investigate and control atom by atom.”

The experimental conditions are ideal for studying individual atoms and the interactions between them: They behave similarly to electrons in a solid and form quasi artificial materials.



05

04 An der Tafel werden die experimentellen Beobachtungen und die nächsten Messungen diskutiert.

The experimental observations and the next measurements are recorded on the board.

05 Lasergekühlte Wolke aus 10 Millionen Kalium-Atomen
Laser-cooled cloud of 10 million potassium atoms

06 Detail aus dem Quantensimulator: Optische Strahlteilerwürfel schicken Licht- und Laserstrahlen in verschiedene Richtungen.

View from the quantum simulator: An optical grid sends light and laser beams in different directions.

07 Professor Dr. Christian Groß

08 Lea-Marina Steinert



06

Using these model systems – Groß calls them “quantum simulators” – the scientists can imitate the properties of other complex, real systems. This is extremely useful: Although the principles of quantum physics have been known and confirmed since the 1920s, for many particle systems only theoretical descriptions exist, and supercomputers are able to solve them only approximately. “We can test the theory and make more precise statements about the behavior of many-body systems”, says Groß. This is of particular interest for solid-state physics, statistical physics, quantum chemistry and particle physics, where many quantum particles often interact with one another.

Quantum simulators have enormous potential. Groß is already studying the development of quantum systems, various phenomena up to elementary magnetic quasi-particles, the elusive entanglements of the quantum world as well as new materials and properties of matter such as the transition from superconductors to insulators. This makes it possible to investigate fundamental effects – such as the mechanisms on which superconductivity is based. Superconductivity is a virtually loss-free means for transporting current (based on the movement of electrons) and promises wide-ranging applications, especially in high-temperature superconductors, but is only partially understood. “In a few years’ time, we hope to leave the computing capacity of the best computers far behind us with quantum simulators.”

Giant atoms in the bizarre quantum world

In addition to the quantum gas microscope, the team uses another method for designer quantum systems. In this case, atoms are excited using ultraviolet laser beams to the Rydberg state which lasts a maximum of 0.1 milliseconds. The outermost electron of such an atom is about a thousand times as far away from the nucleus as in the ground state. Rydberg atoms are enormous. In the Rydberg state, the interaction of the atoms can be more than ten billion times stronger than in the ground state, they interact over relatively long distances.

“We can closely monitor the interaction and control the system properties”, says doctoral candidate Lea-Marina Steinert. In contrast to lithium in the optical grid, the Rydberg atoms are held in optical tweezers – separate, highly focused laser beams. Although short distances are not possible with this method, the tweezers can be positioned freely. Combined with the method for measuring interactions over longer distances, this opens up completely new options for realizing designer quantum systems. “At greater distances, it is better to control the atoms individually”, says Groß.

“This opens up new programming possibilities for quantum simulators up to a universal quantum computer based on individual atoms.”

The research should help to control complex quantum systems so precisely that they can be used in new technologies. And it is likely that the universe has many more secrets to reveal.



07

08

Hier ist anders

Du willst auch anders?

Dann bewirb dich bei uns!

klinikum-esslingen.de/jobs

Klinikum Esslingen

Das Qualitätskrankenhaus

Ingrid Hornberger-Hiller
Rechtsanwältin

Tätigkeitsschwerpunkte:
Vertragsrecht
Familienrecht
Markenrecht

Stöcklestraße 20
72070 Tübingen

Telefon 07071 44515
Telefax 07071 410808

info@hornberger-hiller.de
www.hornberger-hiller.de

SHARED BY STADTWERKE TÜBINGEN

Genieße einfach den Lifestyle in Deiner Stadt – mit COONO bist Du maximal flexibel unterwegs. COONO – das sind E-Roller und E-Autos samt intuitiver Sharing-App.

Das COONO-Extra:

- ✓ KEINE Anmeldegebühr
- ✓ KEINE Kautions
- ✓ KEINE Grundgebühr

WWW.COONO-SHARING.DE

swt.
Stadtwerke Tübingen

ELEKTRO KÜRNER

Dienstleistungszentrum GmbH

- Intelligente Elektrotechnik, Komfortinstallationen
- Brand-, Einbruch-, Videoüberwachung
- Ökologische Energie- und Gebäudetechnik
- Automatisierungs- und Datentechnik
- Beratung, Planung, Montage, Service

Premium E-MARKEN BETRIEB

Vds • Errichter

Partnerbetrieb im besten Sicherheitsnetzwerk

Handwerkerpark 9
72070 Tübingen
Tel.: 07071-943800
info@elektro-kuerner.de
www.elektro-kuerner.de

DER STANDORT MIT EXZELLENTEN VERBINDUNGEN

→ Die Formel zum Erfolg hat eine Unbekannte weniger – den Standort. Denn der Technologiepark Tübingen-Reutlingen bietet mit seinem flexiblen Raumkonzept eine Umgebung, die sich ganz Ihren Bedürfnissen anpasst. So sind Unternehmen ganz in ihrem Element: www.ttr-gmbh.de

I

TTR
Technologiepark Tübingen-Reutlingen



HART AM WIND CAUGHT IN THE WIND

TEXT Christoph Karcher

Das Projekt X-Wakes untersucht Turbulenzen riesiger Offshore-Windparks. Dazu steuern Tübinger Forscher unbemannte Messflugzeuge in den Wind über der Nordsee.

Project X-Wakes measures turbulence from huge offshore wind farms using unmanned aircraft above the North Sea operated by researchers from the University of Tübingen.

DE Auf den ersten Blick wirkt das windschnittige Gerät wie ein friiertes ferngesteuertes Modellflugzeug. Tatsächlich ist das orange-weiße Objekt mit rund drei Metern Flügelspannweite, einem Propeller am Heck und vier Rotoren oben eine Hightech-Apparatur, voll mit hochauflösender Messtechnik und mit einer wichtigen Mission: Daten sammeln für die Energiewende.

Das unbemannte Flugzeug, das ein Team in gelben Warnwesten an diesem sonnigen Frühherbsttag auf Helgoland startklar macht, ist ein sogenanntes Automatically Operating Unmanned Aircraft System, kurz UAS. Das UAS steht unter der Obhut von Ines Weber, Tübinger Doktorandin der Umweltphysik und Pilotin – also bestens qualifiziert für Flugeinsätze im Dienst der Forschung. Der Flieger auf Helgoland startet für das vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte Projekt X-Wakes (siehe Infobox). Mehrere Forschungsgruppen untersuchen in diesem, wie großflächige Windparks die Windbedingungen in der Deutschen Bucht vor den friesischen Küsten verändern: Denn Windräder nutzen nicht nur Wind, sondern sie verursachen und verändern auch selbst Luftbewegungen.

Messung mitten in der Strömung

„Mit Satellitenbildern oder Messungen aus der Ferne können Windgeschwindigkeiten nur grob bestimmt werden“, erklärt Weber. „Die beste Messung erfolgt mittendrin. Und das geht am besten mit einem Flugzeug.“ Weil große Flugzeuge selbst die Windströmung beeinflussen, entwickelt die Arbeitsgruppe Umweltphysik vom Geo- und Umweltforschungszentrum der Universität Tübingen

- 01** Das Forschungsteam macht das Messflugzeug startklar.
The research team prepares the measuring aircraft for takeoff.
- 02** Von Helgoland aus startete das unbemannte Flugzeug zu einem Testflug über der Deutschen Bucht.
The unmanned aircraft took off from Heligoland for a test flight over the German Bight.
- 03** Hochauflösende Messtechnik erfasst hunderte Datensätze pro Sekunde und macht kleinteilige Luftbewegungen sichtbar.
High-resolution measurement technology records hundreds of data sets per second showing miniscule air movements.

PHOTOS: Universität Tübingen/ Fraunhofer IFAM

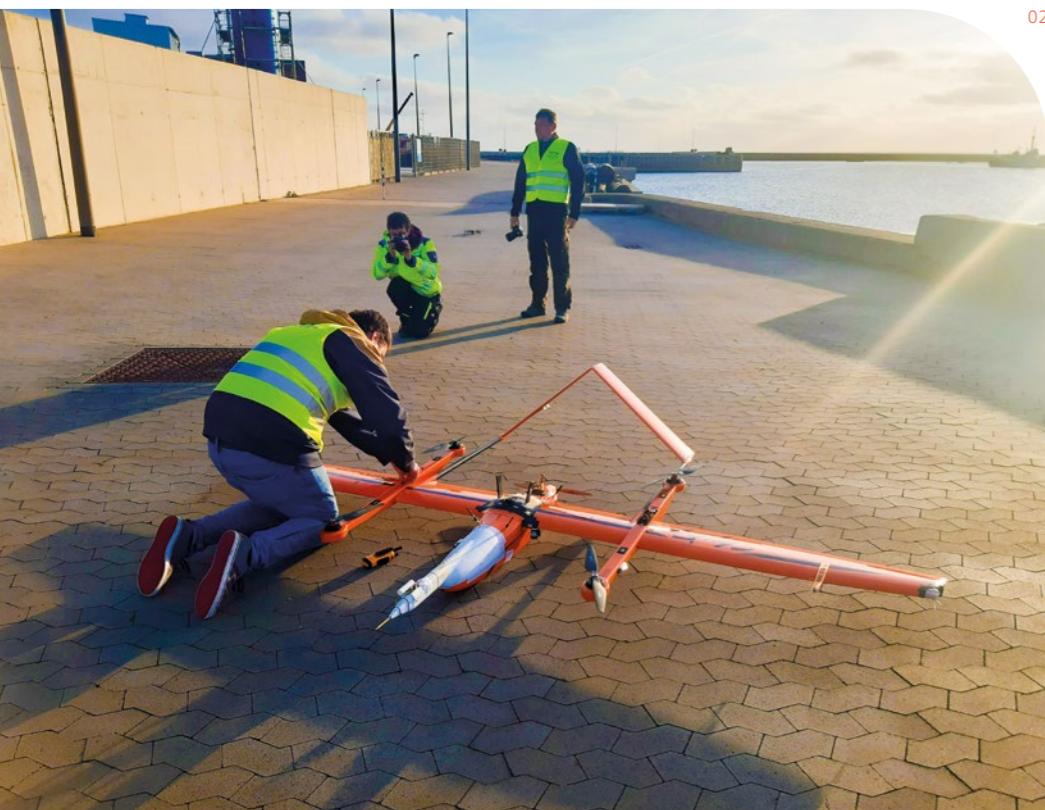


01

kleine, unbemannte Fluggeräte, die diese Aufgabe erledigen können. Vom maritimen Testzentrum auf Helgoland aus, betrieben unter anderem vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), erprobt sie Flugmanöver außer Sichtweite sowie Messtechnik und Datenübertragung.

Während auf dem Außengelände direkt an der Wasserkante die elektrischen Antriebe des UAS surrend Fahrt aufnehmen, blickt Weber im Testzentrum konzentriert auf die Monitore. Draußen steht zwar ein Sicherheitspilot mit Fernsteuerung, er überwacht aber nur Start und Landung. Einmal in der Luft, steuert ein Autopilot das Flugzeug entlang programmierter Messstrecken. Das elf Kilogramm schwere UAS erhebt sich senkrecht in die Höhe, startet den Heckpropeller und zischt rasant ab. Nach rund einem Kilometer ist es für das bloße Auge verschwunden.

Nun überwachen Weber und ihre Kollegen per Livestream den Flug. Bei Bedarf können sie jederzeit eingreifen. „Alle Systeme sind doppelt vorhanden, die Flugsicherheit hat höchste Priorität“, erklärt die Doktorandin. Auf dem Monitor laufen Messdaten ein: Temperatur, Wasserdampfgehalt, Windrichtung und -geschwindigkeit sowie Aerosolkonzentrationen.



02

EN At first glance, the streamlined device looks like a remote-controlled model aircraft. In fact, the orange-white object with a wingspan of around three meters, a propeller at the rear and four rotors at the top is a high-tech apparatus, packed with high-resolution measurement technology, and on an important mission: collecting data for the energy transition – the exit from nuclear and fossil-fue energy.

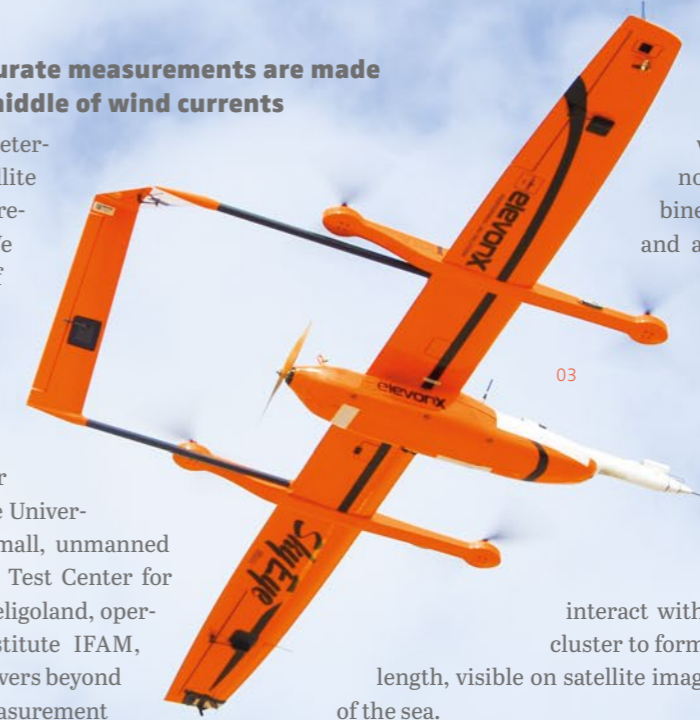
The unmanned aircraft, which a team is preparing for take off from Heligoland on this sunny autumn day, is an automatically operating Unmanned Aircraft System (UAS). It is controlled skillfully by the hands of Ines Weber, doctoral candidate in environmental physics at the University of Tübingen and a qualified pilot. The Heligoland flight is part of the X-Wakes project funded by the Federal Ministry of Economic Affairs and Climate Action (see box). In this project, several groups are investigating how large-scale wind farms are affecting the wind conditions in the German Bight, because wind turbines not only use wind, they also cause and change air movements themselves.

The most accurate measurements are made in the middle of wind currents

“Wind speeds can only be determined roughly using satellite images or remote measurements”, explains Weber. “We can get the best results if we get right in the middle with an aeroplane.” Large aircraft disturb the atmosphere. Therefore, the Environmental Physics group at the Center for Applied Geoscience at the University of Tübingen develops small, unmanned aircraft to avoid this. At the Test Center for Maritime Technologies on Heligoland, operated by the Fraunhofer Institute IFAM, researchers test flight maneuvers beyond the visual line of sight, measurement equipment and data transmission.

When the electric motors start humming and the UAS takes off outside, Weber follows the flight closely on monitors in the test center. Although there is a safety pilot on the ground, they only monitor take-off and landing. In the air, the autopilot steers the aircraft along set paths. The eleven-kilogram UAS takes off vertically, starts the rear propeller and jets off rapidly. After about a kilometer, it is no longer visible to the eye.

Weber and her team continue to monitor the flight via a live stream. If necessary, they can intervene at any time. “All systems are redundant, aviation safety has the highest priority”, she explains. Measured data is displayed on the monitor: temperature, water vapor content, wind direction, wind speed, and aerosol concentrations.



03

length, visible on satellite images as elongated streaks on the surface of the sea.

Constant vibration ages wind turbines

The altered wind currents have a significant impact on the operation of the wind farms. “Even a few-percent reduction in wind speed means major losses in electric yield for farms in the wake of an upstream farm or even cluster”, explains Bange. In addition, the turbulence causes wear by shaking the blades, the gearbox, the tower, and the foundation. Wind-farm operators therefore want to know how often and how strongly flow phenomena occur under certain weather conditions. This helps planning wind farms, increase efficiency and extend system life expectancy. X-Wakes also examines how the atmospheric interactions of wind farms influence the local climate, such as wind currents and cloud formation, enabling policymakers to answer questions, such as on the consequences for vegetation and wildlife.

“The measurements carried out so far in the German Bight show tendencies that the wake of the wind farms can influence, for example, the distribution of water vapor”, reports Dr. Andreas Platis from the Environmental Physics group, “and that this is dependent on certain wind directions. On many days it is not visible at all.” For reliable statements, however, more measurements are needed. For an overall picture,

Small currents, great effect
 “The UAS can perform the same meteorological measurements as a large research aircraft. However, it is much cheaper and more environmentally friendly”, says Weber. The instruments on board measure at high resolution and transmit hundreds of data sets every second. Certain quantities are accurately represented in the range of one meter, which also makes minuscule air movements visible. “Every single wind turbine creates vortices downstream”, explains Jens Bange, Professor for Environmental Physics at the Center for Applied Geoscience. “Although the wind speed is significantly reduced by the rotors, the flow is highly turbulent. The technical term for this is a turbulent wake.”

Rather than just a handful of isolated wind turbines, the German Bight houses huge offshore wind farms such as Amrumbank West north of Heligoland with 80 wind turbines. With a rotor diameter of 120 meters and a total height of 180 meters, each of these turbines reaches higher into the sky than the Cologne Cathedral with its 160 meters. Often several wind farms form clusters that reach as far as the eye can see.

The rotor blades mix air masses up to 300 meters above sea level. Turbulent wakes are created behind each and every turbine. The individual wakes interact with each other and build up behind the cluster to form a huge wake of up to 80 kilometers in



Kleine Wirbel, große Wirkung

„Das UAS kann messtechnisch das Gleiche wie ein großes Forschungsflugzeug. Der Einsatz ist aber viel günstiger und umweltschonender“, sagt Weber. Die Instrumente an Bord messen mit hoher Auflösung und übertragen in jeder Sekunde hunderte Datensätze. Einzelne Größen werden im Bereich von einem Meter genau dargestellt, was auch kleinteilige Luftbewegungen sichtbar macht. Das ist entscheidend, denn im Fokus des Projekts stehen Wirbel, verursacht durch Windkraftanlagen. „An jeder einzelnen Windkraftturbine entsteht ein Wirbel, wenn der Wind auf sie trifft“, erklärt Professor Jens Bange, Leiter des Bereichs Umweltphysik am Geo- und Umweltforschungszentrum. „Im Windschatten des Rotors ist zwar die Windgeschwindigkeit verringert, die Strömung aber stark turbulent. Der Fachbegriff hierfür ist Nachlaufströmung oder ‚Wake‘.“

Nun stehen in der Deutschen Bucht nicht vereinzelt Windräder, sondern gewaltige Offshore-Windparks wie zum Beispiel Amrumbank West nördlich von Helgoland mit 80 Windenergieanlagen. Jede davon ragt mit einem Rotordurchmesser von 120 Metern und einer Gesamthöhe von 180 Metern weiter in den Himmel als der Kölner Dom mit seinen 160 Metern. Häufig liegen mehrere Windfarmen dicht an dicht und bilden Cluster – seemeilenweit Windräder soweit das Auge reicht.

Die Heere rotierender Propellerblätter bringen die Luftmassen bis in 300 Metern Höhe über der Meeresdünnung gehörig in Wallung: An jedem Rotor entstehen Wakes, die in die dahinterstehenden Turbinen fliegen. Die einzelnen Wirbel wirken wechselseitig aufeinander und summieren sich hinter dem Cluster zu einer riesigen Wake, einem Nachlauf von bis zu 80 Kilometern Länge. Diese weit ausgedehnten Verwirbelungen und verlangsamten Windströmungen erkennt das bloße Auge auf Satellitenbildern als lang gezogene Schlieren auf der Meeresoberfläche.

Ständiges Rütteln lässt Windkraftanlagen altern

Die veränderten Windströmungen beeinflussen wiederum den Betrieb der Windparks. „Schon eine um fünf Prozent verringerte Windgeschwindigkeit bedeutet für Anlagen im Nachlauf eines Clusters Ertragseinbußen“, erklärt Bange. Außerdem ermüdet die Turbulenz die Anlagen durch ständiges Rütteln an den Blättern, am Getriebe, an Turm und Fundament. Windpark-Betreiber wollen folglich wissen, unter welchen Wetterbedingungen, wie oft und wie stark bestimmte Strömungsphänomene auftreten. So lassen sich Windparks besser planen, die Effizienz erhöhen und die Lebenserwartung der Anlagen verlängern.

Außerdem untersucht X-Wakes, inwiefern die atmosphärischen Wechselwirkungen von Windparks das lokale Klima beeinflussen, etwa Windströmungen und Wolkenbildung. „Wir betreiben ergebnisoffene Grundlagenforschung“, ordnet Bange dies ein. Auch um den politischen Verantwortlichen für den Windkraft-Ausbau fundierte Informationen für eine vorausschauende Planung zur Verfügung zu stellen und Antworten auf berechnete Fragen zu ermöglichen. Beispielsweise nach den Folgen für Vegetation und Tierwelt.

„Die bisherigen Messungen in der Deutschen Bucht zeigen Tendenzen, dass der Nachlauf der Windparks zum Beispiel die Verteilung von Wasserdampf beeinflussen kann“, berichtet Dr. Andreas Platis, Post-Doc der Arbeitsgruppe, „und dass dieser Einfluss zugleich sehr abhängig von bestimmten Windrichtungen ist. An vielen Tagen ist er überhaupt nicht sichtbar.“ Für belastbare Aussagen seien aber noch viele, möglichst exakte Messungen nötig. Für ein Gesamt-



bild hat das Tübinger Team auch Anlagen an Land im Blick. Forschungsflüge im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb sollen Erkenntnisse liefern, wie Windströmungen in hügeligem Gelände Windkraftanlagen beeinflussen.

Erster unbemannter Testflug

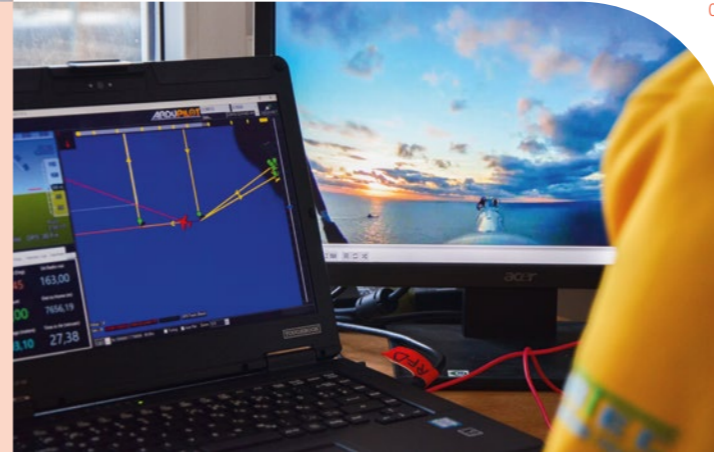
Die Testflüge über dem Meer sind für die weitere Forschung ein wichtiger Meilenstein. „Wir sind die Ersten in der Nordsee, die nach der neuen EU-Verordnung für Drohnen einen Forschungsflug außerhalb der Sichtweite eines Piloten durchführen konnten und durften“, sagt Platis. „Die Flüge auf Helgoland zeigen, dass unser UAS sicher und zuverlässig

für Messungen eingesetzt werden kann.“ Die dabei gesammelten Daten werden bereits genutzt. Etwa im Helmholtz-Zentrum Geesthacht, wo damit Modelle zur Auswertung von Satellitenbildern abgeglichen und nachjustiert werden.

Auf Helgoland landet das UAS wieder auf dem Außengelände, noch vor Ablauf der möglichen Flugzeit von eineinhalb Stunden. Es müsse immer ein Puffer bleiben, erklärt Ines Weber. Eine gewisse Nervosität sei bei der Verantwortung für das rund 60.000 Euro teure Gerät durchaus vorhanden. „Wir agieren komplett selbstständig. Es gibt keine fertigen Kontrollmechanismen oder Checklisten, wir erarbeiten und erproben die Verfahren selbst. Gleichzeitig ist es ein absoluter Traumjob. Das ist Forschung: neue Dinge ausprobieren und auch an die Grenze des Machbaren gehen. Das finde ich so spannend.“

„**Das ist Forschung: neue Dinge ausprobieren und auch an die Grenze des Machbaren gehen.**“

This is research: trying new things and pushing the limits of what is possible.



- 04 Ines Weber
- 05 Professor Dr. Jens Bange
- 06 Dr. Andreas Platis
- 07 Der Flug wird per Livestream überwacht, bei Bedarf kann das Forschungsteam eingreifen. The flight is monitored via livestream, the research team can intervene if necessary.
- 08 Das unbemannte Flugzeug kann genauso viel wie ein großes Forschungsflugzeug, arbeitet aber umwelt-schonender und günstiger. The unmanned aircraft can do as much as a large research aircraft, but it is environmentally friendly and cheaper.

PHOTOS: Universität Tübingen/ Fraunhofer IFAM

the team of the University of Tübingen is also looking at the situation on land. Research flights in the Black Forest and on the Swabian Alb are intended to investigate how wind currents in hilly terrain affect wind turbines and vice versa.

First unmanned test flights

Test flights over the sea are an important milestone for further research. “We are the first in the North Sea to be able and allowed to conduct a research flight beyond the visible line of sight under the new EU regulation for drones”, says Platis. “The flights from Heligoland show that our

UAS can be used safely and reliably for measurements.” The data collected is already being utilised, for example in the Helmholtz Centre Heron at Geesthacht, where models for the evaluation of satellite images are compared and re-adjusted.

Back on Heligoland, the UAS lands outside the building before the maximum possible flight time of one and a half hours is used up. “We always need to plan some extra time”, explains Weber. There is a certain nervousness about the responsibility for the device, which costs around 60,000 euros. “There are no ready-made checklists, we are developing and testing the procedures ourselves. But it is an absolute dream job. This is research: trying new things and pushing the limits of what is possible.”

→ **Das Projekt X-Wakes** (gesprochen „Cross-Wakes“) untersucht seit 2019, wie der Ausbau von Offshore-Windparks Windbedingungen in der Deutschen Bucht ändert. Sieben Arbeitsgruppen folgender Institutionen forschen hier zusammen: Universität Tübingen, Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES), Technische Universität Braunschweig, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Universität Oldenburg mit dem Zentrum für Windenergieforschung (ForWind), Helmholtz-Zentrum Geesthacht und UL International GmbH.

→ **Forschungsgrundlage** sind hochauflösende Berechnungsmodelle und eigene Messkampagnen. Das Tübinger Team führte im September 2021 von Helgoland aus erstmals Testflüge mit einem unbemannten Kleinflugzeug außer Sichtweite durch.

→ **Gefördert** wird X-Wakes vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie über drei Jahre mit 3,4 Millionen Euro. Windparkbetreiber unterstützen das Projekt mit Daten und Zugang zur Offshore-Infrastruktur. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) und das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) beraten die Forschenden

→ **The X-Wakes project** (pronounced “Cross-Wakes“) is investigating how the expansion of offshore wind farms changes wind conditions in the German Bight since 2019. Seven research groups are working together on the project from the following institutions: University of Tübingen, Fraunhofer Institute for Wind Energy Systems (IWES), Technical University of Braunschweig, Karlsruhe Institute of Technology (KIT), University of Oldenburg with the Center for Wind Energy Research (ForWind), Helmholtz-Zentrum Hereon (Geesthacht), and UL International GmbH.

→ **The research** is based on high-resolution models and own measurement campaigns. The Tübingen team conducted test flights with an UAS beyond the visible line of sight for the first time in September 2021 from Heligoland.

→ **X-Wakes is funded** by the Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action with 3.4 million euros over three years. Wind farm operators support the project with data and access to offshore infrastructure. The German Meteorological Service (DWD) and the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) advise the researchers.

TYPISCH INSEL? TYPICAL ISLAND?

TEXT Christoph Karcher

Einfallstore für Eroberer oder Vorreiter im Umgang mit Wasserknappheit und Seuchen: Inseln sind Archive der Vergangenheit wie auch Zukunftsmodelle. Das Netzwerk für Inselstudien untersucht dies aus unterschiedlichen Fachperspektiven.

Gateways for conquerors, pioneers in dealing with water scarcity and epidemics: Islands are a resource to understanding history and learning how to solve current problems. The Island Studies Network investigates this from different perspectives.

DE Nach dem Ausbruch eines Unterwasservulkans nahe Tonga im Januar 2022 hatte der Inselstaat ein großes Trinkwasserproblem. Die emporgeschleuderte Asche verschmutzte das Regenwasser, das viele Insulaner in Zisternen sammeln. So wie es Menschen auf Inseln weltweit seit tausenden Jahren tun. Die Notwendigkeit, mit knappen Ressourcen wie Wasser hauszuhalten, gilt als typisches Insel-Phänomen. Ebenso wie eine wirtschaftliche Abhängigkeit von bestimmten, wenigen Dingen, heutzutage oft der Tourismus – was beispielsweise große Teile der mallorquinischen Bevölkerung schmerzhaft spürten, als wegen Corona die Gäste ausblieben. Wer sich mit Inseln beschäftigt, findet viele solcher Gemeinsamkeiten, vom Einfallsreichtum bei der Bewältigung von Umweltveränderungen bis zu einer speziellen Art, wie Festlandbewohner auf Inseln blicken.

„Die wissenschaftliche Beschäftigung mit Inseln bietet vielfältige Erkenntnisse“, erklärt Dr. Laura Dierksmeier, Historikerin an der Universität Tübingen. Weil Inseln oft an Handelsrouten liegen, sind sie Orte kultureller Begegnung und damit interessant für die Erforschung von Integration, interkultureller Kommunikation und Mehrsprachigkeit. Auch lassen sich dort Anpassungsstrategien bei Umwelt- und Klimaveränderungen studieren, die auf Inseln in der Regel früher spürbar sind als auf dem Festland. Manches, was sich hier über Jahrhunderte bewährt hat, ist mögliches Vorbild für die Lösung aktueller Probleme.

„Inseln spielen eine bedeutende Rolle in der Geschichte von Epidemien“, nennt Dierksmeier ein weiteres Beispiel. Wo hunderte Handelsschiffe pro Tag anlegen, ist die Gefahr eingeschleppter Krankheitserreger allgegenwärtig. Und so finden Historiker auf Inseln einen reichen Quellenschatz, von historischen Quarantäneplänen bis zu Überlieferungen sozialer und wirtschaftlicher Konflikte oder religiöser Phänomene in Seuchenzeiten.

15 Forschende aus acht Ländern arbeiten zusammen

Um Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die auf oder über Inseln forschen, zusammenzubringen, haben Dierksmeier und der Tübinger Archäologe Dr. Frerich Schön das Netzwerk Inselstudien ins Leben gerufen. Ein Schwerpunkt liegt auf den Geschichtswissenschaften und der Archäologie, aber auch die Bereiche Anthropologie, Digital Humanities, Geografie und Literaturwissenschaft sowie Philologie sind vertreten. Insgesamt 15 Forschende aus acht Ländern und unterschiedlichen Universitäten tauschen sich hier aus, stellen in Treffen ihre Projekte vor und diskutieren bestimmte Schwerpunkte und Methoden.

Seit 2021 fördert die DFG das Netzwerk, das an der Universität Tübingen wie auch im Sonderforschungsbereich 1070 RessourcenKulturen angesiedelt ist. Wer in diesem Verbund forscht, will wissen: Was benötigen Gesellschaften von der Frühgeschichte bis heute, um zu bestehen und sich weiterzuentwickeln? Eine historische Tiefe strebt auch das Netzwerk Inselstudien an. Etwa wenn die Forscherinnen und Forscher diskutieren, welche Rolle Inseln in Kolonisationsprozessen spielen.

Hier fragt sich beispielsweise Helen Dawson, Archäologin an der Universität Bologna, unter welchen geografischen und sozialen Bedingungen Inseln in der Prähistorie besiedelt wurden. Oder Frerich Schön erforscht, wie der Mittelmeerraum durch die Phönizier erschlossen wurde. „Die Phönizier machten sich zu Beginn des 1. Jahrtausends v. Chr. von der Levante kommend auf, unter anderem Silber- und andere Metallvorkommen im Mittelmeerraum zu erschließen. Für ihr Siedlungs-, Handels- und Beziehungsnetzwerk, das bald den ganzen Mittelmeerraum und die angrenzenden Atlantikküsten umfasste, waren Inseln wie Sardinien, Sizilien oder Malta von großer Bedeutung“, erläutert der Archäologe.

Laura Dierksmeier betrachtet das Thema im Zeitalter der europäischen Expansion: „Inseln wurden fast immer vor dem Festland kolonialisiert und die Insulaner spielten eine Rolle bei der Kolonisation der nächstgelegenen größeren Landmasse.“ So eroberten Christoph Columbus und die europäischen Kon-

”
Manches, was sich auf Inseln über Jahrhunderte bewährt hat, ist mögliches Vorbild für die Lösung aktueller Probleme

Some events that have transpired on islands over the centuries also offer potential roadmaps for solving current problems.

“

01



EN After the eruption of an underwater volcano in January 2022 near Tonga, the island state had a drinking water problem. Ash hurled up by the volcano polluted the rainwater that many islanders collected in cisterns, just as islanders worldwide have been doing for thousands of years. The need to manage scarce resources such as water is considered a typical feature of island life; just like an economic dependence on a small number of industries, nowadays often tourism, and the painful effects felt when these industries are disrupted, such as occurred on Mallorca during the Corona pandemic. Studying islands reveals many similarities, from ingenuity in coping with environmental changes to how mainlanders perceive island life.

“The scientific study of islands offers a variety of insights”, explains Dr. Laura Dierksmeier, historian at the University of Tübingen. Islands are often located on trade routes – they are places of cultural encounters and therefore interesting for the research of integration, intercultural communication, and multilingualism. Adaptation strategies for environmental and climate change can also be studied well on islands, as the impact of change is often felt earlier on islands than on the mainland. Some events that have transpired on islands over the centuries also offer potential roadmaps for solving current problems.

“Islands play an important role in the history of epidemics”, says Dierksmeier. In locations where hundreds of merchant ships docked every day, the danger of introducing pathogens was extraordinarily high. Historians can find a wealth of examples on islands, from historical quarantine plans to sources of social and economic conflicts, or religious phenomena developed in response to epidemics.

Connecting 15 researchers from eight countries

Dierksmeier and the Tübingen archaeologist Dr. Frerich Schön have set up the Island Studies Network to bring researchers together who are specialists in island research. History and archeology are particularly well-represented areas within the network, but the fields of anthropology, digital humanities, geography, and literary studies, as well as philology, are also represented. The Island Studies Network is based at the University of Tübingen and the Collaborative Research Center 1070 Resource Cultures; the research group has been funded by the German Research Foundation (DFG) since 2021.

Helen Dawson, archaeologist at the University of Bologna, wants to know which geographical and social conditions affected settlement on prehistoric islands. Frerich Schön explores how the Mediterranean region was opened up by the Phoenicians. “In 1000 BC, the Phoenicians made their way into the Mediterranean region from the Levant to exploit, among other things, silver and other metal deposits. Islands such as Sardinia, Sicily and Malta were of great importance for their network, which soon encompassed the entire Mediterranean and the adjacent Atlantic coasts.”

Laura Dierksmeier is focusing on this topic in the era of European expansion: “Islands were almost always colonized before the mainland and islanders played a role in the colonization of the next largest land mass.” At the same time, many islands were far away from mainland centers of power. “In many cases, there was no permanent presence of mainland representatives”, explains Dierksmeier. “This is how semi-autonomous government structures developed on islands – and some of them still exist today.



02

01 Inseln (hier Ischia, Italien) entwickeln eigene Anpassungsstrategien – sei es zu Umweltveränderungen, Epidemien oder zur Trinkwasserversorgung. Island people (here Ischia, Italy) develop their own adaptation strategies to cope with environmental changes, epidemics or drinking water supply.

PHOTO: Laura Dierksmeier

02 Karte der Balearischen Inseln aus dem Atlas „Islario general de todas las islas del mundo“ (16. Jahrhundert) des Historikers Alonso de Santa Cruz
Map of the Balearic Islands in Alonso de Santa Cruz's “Islario general de todas las islas del mundo”, 16th Century

GRAPHIC: Courtesy of the Biblioteca Nacional de España

Water scarcity is a familiar topic on many islands

A typical feature of most islands is the scarcity of water. “Especially on volcanic islands, the groundwater is infiltrated by salt water. Island residents have had to deal with problems affecting their water supply for thousands of years”, continues Dierksmeier. “Our work shows examples of how people have dealt with these problems in the past.” This is also relevant today, because water is becoming scarcer in many regions and expensive technology is often not available to those affected.

quistadoren in seiner Folge in einem langen Prozess zuerst die Insel Hispaniola (heutige Dominikanische Republik und Haiti) und weitere Karibikinseln. Von der Nachbarinsel Kuba rückte Hernán Cortés 1519 gegen das aztekische Imperium auf dem lateinamerikanischen Festland vor, verstärkt durch Truppen der indigenen Bevölkerung, die sie versklavten oder mit denen sie Allianzen geschlossen hatten.

Von solchen historischen Mustern lässt sich der Bogen zu heutigen Insel-Eigenheiten schlagen. „Kolonial regierte Inseln lagen weit entfernt vom Sitz der Macht. Und meist gab es keine dauerhafte Präsenz von Festland-Vertretern“, erklärt Dierksmeier. „So entwickelten sich teilautonome Insel-spezifische Regierungsstrukturen – einige gibt es bis heute. Zum Beispiel auf den Kanarischen Inseln, die aufgrund ihrer Kolonialgeschichte und ihrer Halbautonomie eine besondere Beziehung zu Spanien haben.“

Wasserknappheit ist Thema der meisten Inseln

Ein typisches Merkmal der meisten Inseln – und damit Thema für die Forschung – ist die Wasserknappheit. „Besonders auf Vulkaninseln ist das Grundwasser von Salzwasser infiltriert und brackig. Seit tausenden Jahren müssen sich die Bewohner mit Wasserproblemen auseinandersetzen“, sagt Historikerin Dierksmeier. „Unsere Arbeit zeigt Beispiele dafür, wie die Menschen in der Vergangenheit damit umgegangen sind.“ Dies sei auch heute relevant, weil Wasser in vielen Regionen knapper werde und Betroffenen oft keine teure Technologie zur Verfügung stehe.

Und so liefern Inseln manchmal Vorbilder für traditionelle, einfache Lösungen. Etwa auf den Kanarischen Inseln mit Vorrichtungen, die kondensiertes Wasser auffangen, das sich an Kiefern niederschlägt, oder mit in Höhenlagen angebrachten Netzen, die aus Wolken Feuchtigkeit ausfiltern. Oder schlicht mit Zisternen – seit der Antike sind solche unterirdischen Behälter, in denen Regenwasser gesammelt wird, verbreitet. „Es konnte in vielen Fällen nachgewiesen werden, dass Zisternen aus römischer Zeit in der Neuzeit wieder reaktiviert wurden“, sagt Schön.



03

„Wasserknappheit auf Inseln ist auch kulturhistorisch interessant“, ergänzt Dierksmeier. „Was knapp ist, wird wichtiger oder heiliger. Wir sehen, wie sich dadurch einzigartige religiöse Kulte entwickeln.“ Beispiele dafür sind die „Virgen de las nieves“ (Jungfrau des Schnees), mit deren Statue auf der kanarischen Insel La Palma seit dem 17. Jahrhundert in Prozessionen um Wasser gebetet wird, oder ein minoischer Brunnen auf Delos, der im 6. Jahrhundert v. Chr. als Heiligtum neu eingefasst wurde.

Methoden rücken Perspektive der Insulaner in den Vordergrund

Historisch interessiert das Netzwerk zudem der Blick von außen auf Inseln und deren Bevölkerung, sei es in der maritimen Geschichte, in der Geografie und Ethnologie oder der Literatur. So ließ Shakespeare sein Theaterstück „Der Sturm“ auf einer Insel spielen. „Das Inselsetting dient dazu, die Vorgänge entrückt, jenseits von allem, erscheinen zu lassen oder als Projektionsfläche für Utopien wie Atlantis oder Utopia“, sagt Schön. Dass Fremdschreibungen und Konstruktionen die Wahrnehmung von Inseln mitbestimmen, ist ein wichtiger Aspekt, den etwa Katrin Dautel und Kathrin Schödel, Literatur- und Kulturwissenschaftlerinnen an der Universität in Malta, in das Netzwerk einbringen.

Auch Insulaner selbst haben einen Sonderstatus. Sie seien in der Vergangenheit oft als Menschen „dazwischen“ betrachtet worden, „weder hier noch dort“, sagt Dierksmeier. Ein Anliegen des Netzwerks ist es deshalb auch, die Insel-Bewohnerinnen und -Bewohner selbst in der Forschung zu repräsentieren. So untersucht Geograf Jan Petzold von der LMU München beispielsweise, wie sich Inselgemeinden konkret auf die Auswirkungen des Klimawandels vorbereiten, und führt dafür vor Ort Gespräche mit Bewohnern der Isles of Scilly (UK), der Bahamas und Madagaskars. „Unsere Methoden zielen auf eine ‚bottom-up‘-Perspektive ab“, sagt Dierksmeier. „Wir suchen die Sichtweisen der Insulaner, indem wir materielle Zeugnisse zum Sprechen bringen, anhand schriftlicher Quellen aus der Inselbevölkerung und indem wir Interviews führen. Es ist bisher viel über Inselbewohner geschrieben worden, wir wollen mit ihnen reden.“



04



05

Islands can therefore be an important source of proven and simple solutions. For example, in the Canary Islands nets are installed at altitudes that

unique religious followings such as the “Virgen de las nieves” (Virgin of the Snow), whose statue has been venerated for water security on the Canary Island of La Palma since the 17th century.



→ Das **Island Studies Network** ist an der Universität Tübingen und im Sonderforschungsbereich 1070 RessourcenKulturen angesiedelt und wird seit 2021 von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert. Es unterstützt den interdisziplinären Austausch in der Forschung auf oder über Inseln. Beteiligt sind 15 Forschende aus acht Ländern aus den Disziplinen Geschichtswissenschaft, Archäologie, Anthropologie, Digital Humanities, Geografie, Literaturwissenschaft und Philologie.

Die Initiatoren

→ Dr. Laura Dierksmeier (Universität Tübingen) erforscht Inseln in der frühen Neuzeit. Die Historikerin fasziniert an ihrem Forschungsfeld die Möglichkeit, Stimmen von oft unterrepräsentierten Inselgesellschaften hörbar machen zu können.

→ Dr. Frerich Schön (Universität Tübingen) bezeichnet sich als „Küstenjung aus dem Norden“ und hat schon aufgrund seiner Herkunft eine Affinität für Meeresregionen. Der Archäologe forscht seit über zwanzig Jahren auf Inseln im Mittelmeerraum.

→ The **Island Studies Network** is based at the University of Tübingen and the Collaborative Research Center 1070 Resource Cultures and has been funded by the German Research Foundation since 2021. It supports interdisciplinary exchange about island research. Currently, 15 researchers from eight countries from the disciplines of history, archaeology, anthropology, digital humanities, geography, literary studies and philology are involved in the network

The initiators

→ Dr. Laura Dierksmeier (University of Tübingen) investigates islands from the early modern period. In her field of research, Dierksmeier is dedicated to making the voices of previously underrepresented island societies heard

→ Dr. Frerich Schön (University of Tübingen) describes himself as a “coastal boy from the north” and has an affinity for sea regions due to his origins. As an archaeologist, Schön has been researching islands in the Mediterranean for over twenty years.

filter out moisture from clouds. Cisterns have also been used since ancient times as a simple method for collecting rainwater in underground containers. “Water scarcity on islands is also interesting from a cultural-historical perspective”, adds Dierksmeier. “Scarce resources become more important or more sacred. We have observed how this leads to the development of

Methods focus on islander’s perspectives

The network is also interested in how islands have been perceived from an external perspective, whether in maritime history, geography and ethnology or in literature. Shakespeare set his play “The Tempest” on an island. “The island setting serves to make the events appear other-worldly, or to project an idyllic existence such as Atlantis or Utopia”, says Schön. The influence of external beliefs and constructs on determining how islands are perceived is an important aspect that Katrin Dautel and Kathrin Schödel, researchers in literary and cultural studies at the University of Malta, bring to the network.

Islanders have often been regarded as people who are “in between”, “neither here nor there”, says Dierksmeier, which is why the Island Studies Network is keen to represent their perspectives. Geographer Jan Petzold from LMU Munich is investigating how island communities are preparing for the impact of climate change by interviewing residents of the Isles of Scilly (UK), the Bahamas, and Madagascar. “Our methods prioritize obtaining an ‘inside out’ or ‘bottom up’ perspective”, says Dierksmeier. “We seek the views of islanders by allowing material testimonies to speak for themselves, by using written sources from the island populations and by conducting interviews. A lot has been written about islanders so far, we want to talk with them.”

03 Insulaner galten oft als eigenes Völkchen und waren Projektionsfläche, beispielsweise für Utopien. Islanders were often considered a separate people and representative of a utopian ideal.

PHOTO: Roman Slavik, iStockphoto

04 Drohende Wasserknappheit führte zu religiösen Praktiken: Auf La Palma wird in Prozessionen die Schutzpatronin „Virgen de las nieves“ geehrt. Impending water shortages increased religious practices: On La Palma, the patron saint “Virgen de las nieves” is honored in processions.

PHOTO: Flavio Vallinari, iStockphoto

05 Seit der Antike werden auf Inseln in Zisternen Wasservorräte angelegt: punische bzw. römische Zisterne auf der sizilianischen Insel Pantelleria.

Since ancient times, cisterns have been used to store water on islands: Punic or Roman cistern on the Sicilian island of Pantelleria.

PHOTO: Frerich Schön

06 Dr. Laura Dierksmeier

07 Dr. Frerich Schön

06



07



MASCHINEN LERNEN, WIE MENSCHEN ZU SEHEN

MACHINES LEARN HOW PEOPLE SEE

TEXT Stephan Köhnlein

AUTO DRIVING

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität Tübingen und des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme arbeiten daran, die Qualität von maschinell generierten 3D-Bildern zu verbessern.

Scientists at the University of Tübingen and the Max Planck Institute for Intelligent Systems are working to improve the quality of machine-generated 3D objects.

DE Plötzlich steht ein Elefant auf der Fahrbahn. Das ist zugegebenermaßen ein unwahrscheinliches, aber keineswegs unmögliches Szenario. Ein Mensch am Steuer eines Autos würde nun versuchen, angemessen zu reagieren und vermutlich bremsen oder ausweichen; denn er weiß in aller Regel, was ein Elefant ist – und dass es besser ist, nicht mit ihm zu kollidieren.

Anders wäre der Fall jedoch gelagert, wenn es sich um ein selbstfahrendes Fahrzeug handelt. Ein Computer beziehungsweise eine Maschine wüsste den Elefanten nicht sofort einzuordnen – sie verfügen zunächst nicht über die Erfahrungswerte eines Menschen. Beim Maschinellen Sehen besteht eine zentrale Herausforderung darin, Maschinen beizubringen, in komplexen 3D-Szenen genauso zu „sehen“ und zu schlussfolgern, wie Menschen es tun. Hier setzt Katja Schwarz mit ihrer Forschungsarbeit an.



01

Die Fähigkeit des dreidimensionalen Denkens

Schwarz ist Doktorandin im Fachbereich Informatik an der Universität Tübingen am Lehrstuhl Autonomes Maschinelles Sehen von Professor Andreas Geiger. „Menschen haben eine ausgeklügelte Fähigkeit, dreidimensional zu denken“, sagt die Nachwuchsforscherin. „Sie sind in der Lage, ein zweidimensionales Bild zu betrachten und sich genau vorzustellen, wie es aus verschiedenen Blickwinkeln in 3D aussieht. Und noch viel mehr: Sie können sich völlig neue Szenen vorstellen, weil sie deren zugrunde liegenden Konzepte verstehen.“

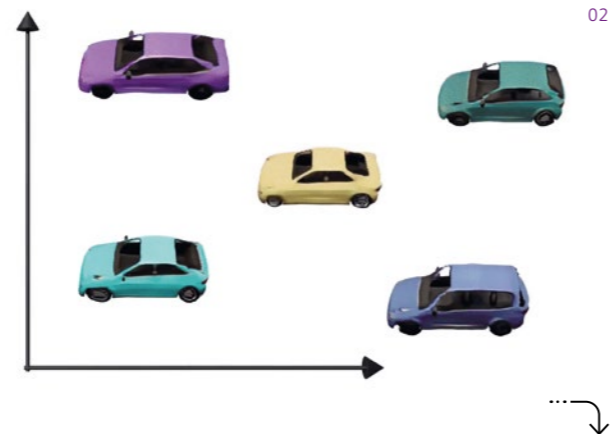
Maschinen haben diese Fähigkeit noch nicht. Sie können zwar bereits sehr gut neue 2D-Bilder erzeugen. Aber die Wissenschaft arbeitet noch daran, sie in die Lage zu versetzen, besser in 3D zu denken und abstrakte dreidimensionale Konzepte zu erlernen. Dafür haben Forschende der Universität Tübingen und des Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme (MPI-IS) nun den Ansatz GRAF entwickelt, der für „Generative Radiance Fields for 3D-Aware Image Synthesis“ steht.

„Mit GRAF wollen wir die Synthese dreidimensionaler Bilder für einzelne Objekte erheblich verbessern und einen wichtigen Schritt in diese Richtung gehen“, sagt Schwarz, eine der Autorinnen der Arbeit. Im Dezember 2021 wurde ihr Projekt vom Forschungskonsortium Cyber Valley im Wettbewerb AI GameDev als vielversprechendste wissenschaftliche Leistung ausgezeichnet. Koautoren sind ihre Kollegin Yiyi Liao, die mittlerweile Professorin in China ist, ihr Kollege Michael Niemeyer sowie Gruppenleiter Andreas Geiger.

01 GRAF nutzt für die Darstellung von 3D-Objekten „Radiance Fields“, um eine hohe Bildauflösung zu erzeugen.
GRAF uses "Radiance Fields" to capture 3D objects at a high resolution.

02 Bisherige Ansätze von Computer Vision erfassen Objekte oft nur in einer Grundposition korrekt, nicht aber aus weiteren Perspektiven.
Previous approaches of computer vision often only capture objects correctly in a fixed position, but not from further perspectives.

GRAPHICS: Project GRAF



02

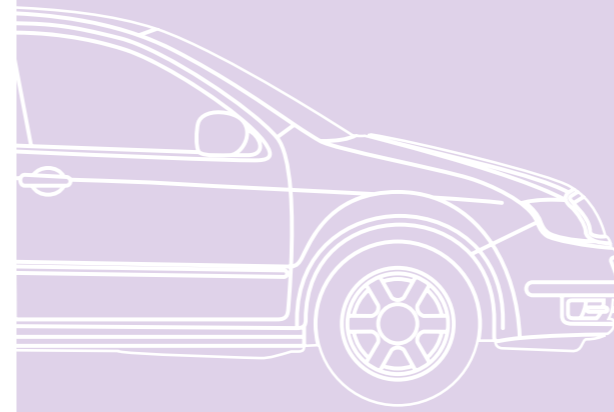
Bisherige Methoden stoßen an ihre Grenzen

Zwar gibt es bereits Methoden zur Erzeugung dreidimensionaler Bilder. Dafür müssen Maschinen aber oft mit 3D-Trainingsdaten „gefüttert“ werden – oder mit mehreren Bildern derselben Szene aus verschiedenen Kamerapositionen. Schwarz und ihr Team wollen hingegen ein 3D-Modell erstellen, das nur aus 2D-Bildern lernt, ohne festgelegte Kameraposition.

Eine komplexe Aufgabe: Bestehende Ansätze erzeugen entweder eine niedrige Bildauflösung oder inkonsistente Objektdarstellungen, wenn sich der Blickwinkel ändert. Schwarz zeigt das an Bildern von Autos. Was in der Grundposition noch

einwandfrei aussieht, verformt sich mit den bisherigen Verfahren zunehmend. Im besten Fall sehen die Autos aus wie nach einem Unfall – im schlechtesten Fall verlieren sie komplett die Form und werden unkenntlich.

Mit GRAF strebten die Forschenden ein Modell an, das sich auf eine hohe Bildauflösung skalieren lässt und gleichzeitig Objekte immer korrekt darstellt. Um herauszufinden, wie ein generatives Modell allein auf der Grundlage von 2D-Bildern die Dreidimensionalität der Welt erfassen kann, baute das Team eine virtuelle Kamera in sein Modell ein. Diese steuerte es so, dass das Programm Objekte aus verschiedenen Winkeln erfassen konnte.



01

Three-dimensional thinking

EN Imagine you're driving and an elephant is suddenly standing in the road. Admittedly, this is an unlikely but by no means impossible scenario. It's more than likely that you would try to brake or swerve out of its way, as most people know what an elephant is and that it isn't the brightest idea to be involved in a collision with one.

However, an autonomous vehicle might see this differently. Machines do not have the same experience as human beings and would be unlikely to recognize the elephant at first. In machine vision, a key challenge is to teach machines to see in complex 3D scenes and to draw conclusions based on what they see in the same way as humans do. Katja Schwarz is investigating how machine vision can be improved in 3D.

Schwarz is a doctoral candidate at the University of Tübingen, at the Autonomous Vision group led by Professor Andreas Geiger. “People have an ingenious ability to think three-dimensionally”, says Schwarz. “They are able to look at a two-dimensional image and imagine exactly what it looks like from different angles in 3D. And they can imagine completely new scenes because they understand their underlying concepts.”

Machines do not have this ability yet. Although machines can already generate new 2D images accurately, scientists are working to improve this technology so that machines can think in 3D and learn abstract three-dimensional concepts. Researchers at the University of Tübingen and the Max Planck Institute for Intelligent Systems (MPI-IS) have now developed the GRAF model which stands for “Generative Radiance Fields for 3D-Aware Image Synthesis”.

“With GRAF, we want to significantly improve the synthesis of three-dimensional images for individual objects and make progress in this area”, says Schwarz, who is a co-author of this research. In December 2021, her project was recognized as the most promising scientific achievement by the Cyber Valley research consortium in the AI GameDev competition. Her co-authors are her colleagues Yiyi Liao, who is now a professor in China, Michael Niemeyer and group leader Andreas Geiger.

Current methods are reaching their limits

Scientists have already produced models for generating three-dimensional images. However, machines often have to be fed with 3D training data, or with several images of the same scene from different camera positions. Schwarz and her team want to create a 3D model that only learns from 2D images, without a fixed camera position.

”
Menschen haben eine ausgeklügelte Fähigkeit, dreidimensional zu denken. Sie sind in der Lage, ein zweidimensionales Bild zu betrachten und sich genau vorzustellen, wie es aus verschiedenen Blickwinkeln in 3D aussieht.

People have an ingenious ability to think three-dimensionally. They are able to look at a two-dimensional image and imagine exactly what it looks like from different angles in 3D.

“



Bilder von Autos, Menschen und Katzen

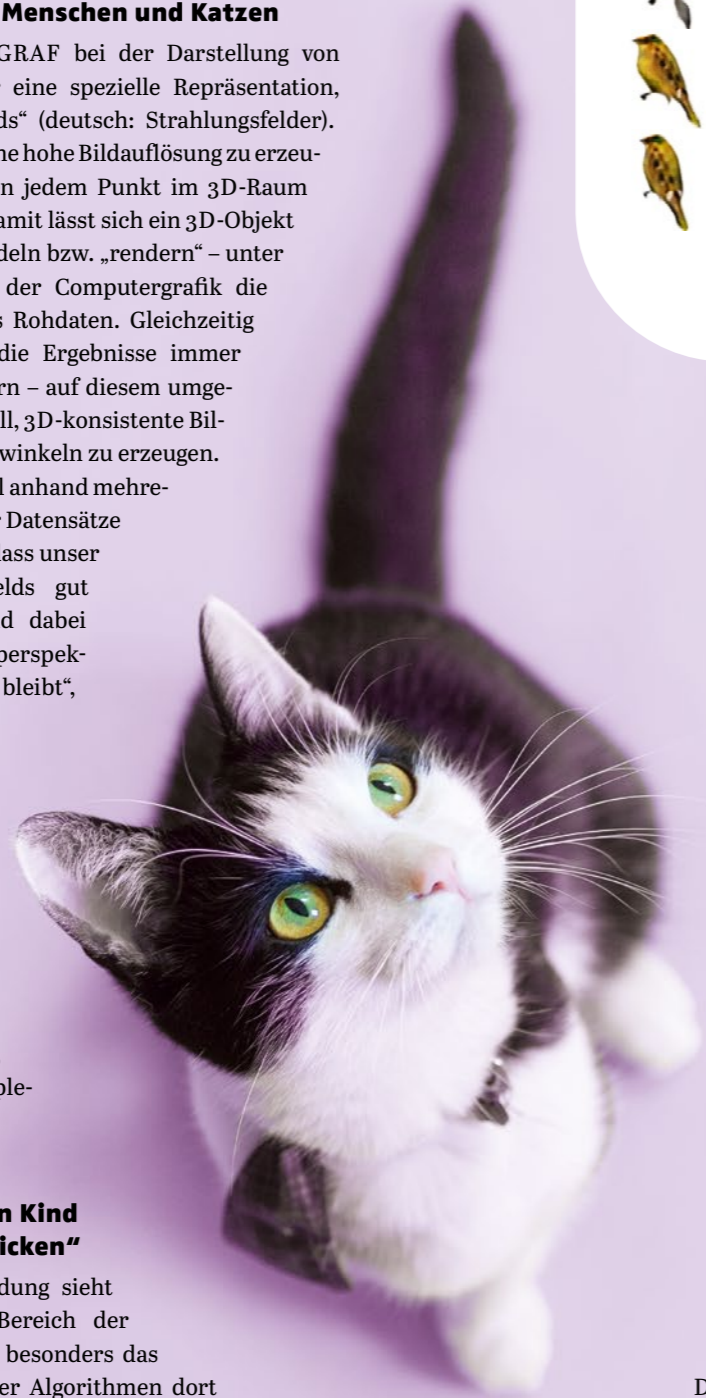
Zudem nutzt das Modell GRAF bei der Darstellung von 3D-Objekten im Computer eine spezielle Repräsentation, sogenannte „Radiance Fields“ (deutsch: Strahlungsfelder). Dies ist entscheidend, um eine hohe Bildauflösung zu erzeugen. Radiance Fields ordnen jedem Punkt im 3D-Raum eine Farbe und Dichte zu. Damit lässt sich ein 3D-Objekt dann in ein 2D-Bild umwandeln bzw. „rendern“ – unter Rendern versteht man in der Computergrafik die Erzeugung eines Bildes aus Rohdaten. Gleichzeitig vergleicht das Rendering die Ergebnisse immer wieder mit realen 2D-Bildern – auf diesem umgekehrten Weg lernt das Modell, 3D-konsistente Bilder aus verschiedenen Blickwinkeln zu erzeugen.

„Wir haben unser Modell anhand mehrerer synthetischer und realer Datensätze analysiert und festgestellt, dass unser Ansatz mit Radiance Fields gut hochauflösend skaliert und dabei über verschiedene Kameraperspektiven hinweg konsistent bleibt“, sagt Schwarz. Zunächst testeten die Forschenden GRAF an Bildern von Objekten wie Autos und Stühlen. Später an Bildern von Menschen, Vögeln und Katzen. Nach den sehr guten Ergebnissen ist im nächsten Schritt geplant, den Ansatz auf noch komplexere Szenen auszudehnen.

„Wir können doch kein Kind auf die Fahrbahn schicken“

Für die praktische Anwendung sieht Schwarz vor allem den Bereich der Simulationen, und da ganz besonders das Autonome Fahren. „Viele der Algorithmen dort werden mit Simulationen trainiert“, sagt sie. Das Problem: Man bekomme nicht alle Trainingsdaten so, wie man sie auf der Straße brauche. Der Elefant auf der Fahrbahn ist da nur ein ausgefallenes Beispiel. Wesentlich realistischer sei zum Beispiel, dass ein Kind auf die Straße laufe. „Das sind Fälle, die wir in der Realität nicht haben wollen. Aber wir können kein Kind auf die Fahrbahn schicken, nur damit der Algorithmus lernt, wie er damit umgehen soll.“

Ein anderer Anwendungsbereich ist die Robotik. „Dinge zu greifen ist für Roboter noch immer sehr schwierig“, sagt die Wissenschaftlerin. Auch hier reichten bisherige Simulationen noch nicht aus. Das Gleiche gelte für Drohnen. „Wir wollen und können diese nicht flächendeckend herumfliegen lassen, nur um einen Algorithmus zu entwickeln.“



03

03 Das Programm wurde erst mit Bildern von Objekten, dann mit Bildern von Vögeln und Katzen getestet.

The program first was tested on images of objects, then on images of birds and cats.

GRAPHICS: Project GRAF

04 Katja Schwarz

PHOTO: privat

Dass mit einer fortschreitenden Entwicklung der künstlichen Intelligenz der Mensch irgendwann überflüssig sein könnte, hält sie für ein Horrorszenario, von dem man ohnehin noch sehr weit entfernt sei. Näher liege da schon die Möglichkeit, dass Menschen in absehbarer Zeit als Autofahrer überflüssig werden könnten. „Vielleicht wäre das gar nicht so schlecht“, sagt Schwarz schmunzelnd. „Ich fahre selbst viel Auto, weil ich nach Tübingen pendele. Da habe ich oft den Eindruck, dass der Verkehr mit Algorithmen besser performen würde als wenn Menschen am Steuer sitzen.“



03

This is complex task: Existing approaches result in either a low image resolution or inconsistent object representations if the viewing angle changes. Schwarz demonstrates this with pictures of cars. Although images look perfect from the starting point, they become increasingly deformed using conventional methods; in the worst case, the cars completely lose shape and become unrecognizable.

With GRAF, the researchers aimed to create a model that can be scaled to high image resolutions and always display objects correctly. To find out how a generative model can generate 3D concepts based on 2D images alone, the team added a virtual camera into their model. This allows the program to capture objects from different angles.

Cars, people and cats

The GRAF model uses radiance fields when displaying 3D objects in the computer. This is decisive for generating a high image resolution. Radiance fields assign a color and density to each point in the 3D space. This allows a 3D object to be converted into a 2D image or “rendered” – rendering is the generation of an image from raw data in computer graphics. Simultaneously, the rendering process compares the results repeatedly with real 2D images, effectively the model learns in reverse to generate 3D-consistent images from different angles.

“We analyzed our model based on several synthetic and real data sets and found that our approach with Radiance Fields scaled well in high resolutions and remains consistent across different camera perspectives”, says Schwarz. Initially, the researchers tested GRAF on images of objects such as cars and chairs. Later they used images of people, birds and cats. After achieving good results, the scientists intend to extend the model to even more complex scenes.

Schwarz sees immense potential for the model in simulations, especially autonomous driving. “Many of the algorithms in this field are trained with simulations”, she says. Robotics and drones are also fields in which the technology could play an important role.

She believes that with the progressive development of artificial intelligence, the idea of humans being replaced by machine is nothing more than scaremongering. It’s more likely that machines will replace drivers in future. “Maybe that wouldn’t be so bad”, says Schwarz with a smile. “I often have the impression that traffic controlled by algorithms would run more smoothly.”

Über Katja Schwarz

→ Katja Schwarz wurde 1994 in Mannheim geboren. Sie wollte zunächst Chemie studieren wie ihr Vater, studierte dann aber in Heidelberg Physik. „Ich hatte in den letzten Schuljahren zunehmend Gefallen daran gefunden, weil die Physik so breit angelegt ist“, sagt sie. Seit Juli 2019 forscht sie für ihre Promotion am Lehrstuhl Autonomes Maschinelles Sehen von Professor Andreas Geiger im Fachbereich Informatik. Grund für ihre Initiativbewerbung in Tübingen: „Das Angebot ist sehr spannend und in Deutschland quasi einzigartig.“

→ Im Dezember 2021 wurden Katja Schwarz und ihr Projekt GRAF bei der AI GameDev des Cyber Valley als vielversprechendste wissenschaftliche Leistung ausgezeichnet. Der Wettbewerb prämiiert Projekte, in denen Forschende und Start-ups Spieltechnologien im Bereich künstlicher Intelligenz weiterentwickeln.

Cyber Valley

→ Das Cyber Valley Forschungskonsortium ist eines der größten KI-Projekte Europas. Es verbindet Akteure aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft und soll die Region um Stuttgart und Tübingen zu einem der weltweit führenden Zentren in der Erforschung und Anwendung künstlicher Intelligenz machen. Mitglieder der Initiative sind das Land Baden-Württemberg, die Universitäten Stuttgart und Tübingen, das Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, die Fraunhofer-Gesellschaft sowie die Unternehmen Amazon, BMW, Bosch, IAV, Mercedes-Benz, Porsche und ZF.

About Katja Schwarz

→ Katja Schwarz initially wanted to study chemistry, like her father, but then studied physics in Heidelberg. “I had increasingly enjoyed physics in my final years at school because it is such a broad subject”, she says. She started her doctoral research in July 2019 at the Autonomous Machine Vision Group, led by Professor Andreas Geiger in the Department of Computer Science. Why did Katja Schwarz choose Tübingen? “The university offers an exciting research location that is virtually unique in Germany.”

Cyber Valley

→ The Cyber Valley Research Consortium is one of the largest AI projects in Europe. It connects politics, business and science and is intended to make the region around Stuttgart and Tübingen one of the world’s leading centers for the research and application of artificial intelligence. Its members include the State of Baden-Württemberg, the universities of Stuttgart and Tübingen, the Max Planck Institute for Intelligent Systems, the Fraunhofer Society and the companies Amazon, BMW, Bosch, IAV, Mercedes-Benz, Porsche and ZF.



04



DREI FRAGEN ZU ...
THREE QUESTIONS ON ...

ERWACHSEN WERDEN IN DER PANDEMIE

GROWING UP IN THE PANDEMIC

DE *attempto!* **Wie verändert die Pandemie den Übergang ins Erwachsenenleben?**

Barbara Stauber Jugendliche müssen früh zeigen, dass sie wissen, wo es langgeht: im Bildungssystem, beruflich und was jugendkulturelle Verortungen betrifft. Und dies paradoxerweise umso früher, je niedriger die Bildungschancen sind. Dabei werden sie individuell für Gelingen und Scheitern verantwortlich gemacht, obwohl Übergänge auch von unkalkulierbaren Faktoren und Akteur*innen abhängen. In der Pandemie entpuppt sich Planbarkeit als der Mythos, der sie immer war. Studien nach dem ersten Lockdown zeigten Zukunftsängste bei Jugendlichen an bildungs- und berufsbezogenen Übergängen.

Auch die Gegenwartsbezüge veränderten sich. Treffen im öffentlichen Raum waren nicht möglich, Schule fiel als Ort für Kommunikation flach. Das hat vielen Jugendlichen psychosozial den Boden unter den Füßen weggezogen. Viele, die bereits auf institutionelle Unterstützung angewiesen waren, gerieten ernsthaft in Not. Angststörungen, Essstörungen und andere psychosoziale Problematiken nahmen extrem zu, Fachstellen kamen kaum hinterher. Hier wurden unterschiedliche Lebenslagen deutlich: Wer zu Hause räumlicher Enge, sogar Gewalt und sexuellen Übergriffen ausgesetzt ist (Frauenhäuser und Zufluchten sind seit der Pandemie notorisch überfüllt), wer Armut und vielfältige Problemlagen der Eltern bewältigen muss, ist angewiesen auf den Treff im Park oder den Jugendclub. Grundsätzlich gilt aber: Es gibt auch in der Pandemie nicht die Jugendlichen als homogene Gruppe.

Welche Schwierigkeiten, aber auch Chancen birgt die Situation?

BS Auf die Schwierigkeiten bin ich eingegangen – dass sich Generalisierungen verbieten, führt auch zu den Chancen: So erlebten manche Jugendliche die Pandemie-Bedingungen durchaus als Schonraum. Die Pandemie macht u. a. deutlich, wie hoch

der soziale Erwartungsdruck im Peer-Kontext ist: Es geht darum, nichts zu verpassen, mitzuspielen, „drin“ zu sein. Wann ist es Zeit für romantische Beziehungen und was sind Anforderungen an „echte“ Jungen und Mädchen? Mitspielfähigkeit ist voller Spielregeln, das Erwachsenwerden auch in körperlicher Hinsicht einem hohen Erwartungs- und Konformitätsdruck ausgesetzt. Da kann zum Beispiel die Maske einen legitimen Schutz vor der Gnadenlosigkeit der Blicke geben.

Interessant ist im Hinblick auf Chancen auch, wie Jugendliche Mittel und Wege fanden, dennoch peerkulturellen Aktivitäten nachzugehen: Gruppen von Mountainbiker*innen bauten sich Trails im Wald, andere bastelten im Keller Fitness-Geräte. Ganz zu schweigen von der Zunahme der Online-Aktivitäten, die ja auch mit kreativen Selbstinszenierungen verbunden sind. Dem Manko fehlender physischer Begegnungen steht eine zunehmende Internationalisierung gegenüber – auch das ist eine Chance.

Was brauchen Jugendliche jetzt?

BS Sie brauchen – in der Pandemie und danach – weniger Druck: weniger Planungs-, Optimierungs- und Konformitätsdruck. Sie brauchen mehr Freiheit im Aufsuchen der für sie passenden Rückzugs-/Tobe-/Gestaltungsräume. Gleichzeitig brauchen sie Rückhalt für den Fall, dass es nötig ist umzusteuern, und viel mehr Unterstützung in all den Erfahrungen, mit denen sie vor, während und nach der Pandemie allein gelassen waren und sind: Diskriminierung, Rassismus, Sexismus, Ausgrenzung und Mobbing. Da sich mit den Bedingungen und Umständen für das Erwachsenwerden auch die konkreten Unterstützungsbedarfe ständig ändern, müssen Jugendliche viel mehr gehört werden. Hierfür braucht es unterschiedlichste Formate der Mitsprache und Partizipation.



PHOTO: Natalia Zumarán

EN

attempto! **How is the pandemic changing the transition to adult life?**

Barbara Stauber Young people are expected to show the ability to conform from a young age: in the education system, professionally and with regard to youth culture. Paradoxically, earlier development leads to lower educational opportunities. As they grow up, young people are held individually responsible for success and failure, although the influence of other factors and people is immeasurable. During the pandemic, predictability has been revealed as the myth it always was. Studies after the first lockdown have found many young people fear for their future during educational and vocational transitions.

Points of reference for young people have also changed significantly. Meetings in public spaces were not permitted during lockdowns and schools were ruled out as a place of communication. That has pulled the rug out under young people in both psychological and social terms. Many who were already in need of institutional support have landed in increasingly severe situations. Anxiety disorders, eating disorders and other psychological and social problems have increased enormously and specialist departments can barely keep up. The effects of the pandemic have also varied widely depending on different living situations: Young people who are exposed to confined spaces, violence or sexual abuse at home (women's shelters and shelters have been notoriously overcrowded since the pandemic) and who have had to cope with poverty and various problems facing their parents are dependent on meeting places such as parks and youth clubs. It's also important to remember that young people do not exist as a homogeneous group.

What difficulties and opportunities are there in the current situation?

BS I have already addressed the difficulties but there are also opportunities if we avoid sweeping statements and generalizations: For example, some young people experienced the pandemic conditions as a safe haven. The pandemic shows, among other things, how high the pressure of social expectations is in the peer

context: It's about the fear of missing out, playing along, being "in". How have romantic relationships been affected and the role requirements of being 'girls' and 'boys' changed? Playing along is subject to many rules and young people are under a great deal of pressure to conform to expectations while they are growing up, also with regard to physical development. Some young people have benefited from the protection the masks offer from the relentless attention of their peers.

In terms of opportunities, it is also interesting to note how young people have found creative ways to continue group activities. Groups of mountain bikers built trails in the forest, others made fitness equipment in the basement. Not to mention the increase in online activities,

which are also associated with creative self-staging. The lack of physical encounters is countered by increasing internationalization – and this too is an opportunity.

What do young people need now?

BS They need less pressure – in the pandemic and afterwards: less pressure on planning, optimizing and conforming. They need more freedom in finding the right retreats and creative spaces. At the same time, they need support in the event that it is necessary to change course, and much more support in all the experiences in which they were and are being left alone before, during and after the pandemic: discrimination, racism, sexism, exclusion and bullying. As the conditions and circumstances for growing up constantly change, so do the specific needs for support, and we need to listen to what young people need much more often through a wide variety of participative formats.



→ **Barbara Stauber** ist Professorin für Erziehungswissenschaft/ Sozialpädagogik an der Universität Tübingen. Ihre Forschungsschwerpunkte sind biografische Übergänge, besonders in Jugend und jungem Erwachsensein, gender- und rassismuskritische Perspektiven sowie qualitative Forschungsmethoden. Sie ist Co-Sprecherin des DFG-Graduiertenkollegs „Doing Transitions“.

→ **Barbara Stauber** is Professor of Social Pedagogy at the University of Tübingen. Her research interests include biographical transitions, especially in the areas of work, parenthood, and youth culture. She is also the spokesperson for the DFG Research Training Group "Doing Transitions".

www.doingtransitions.org

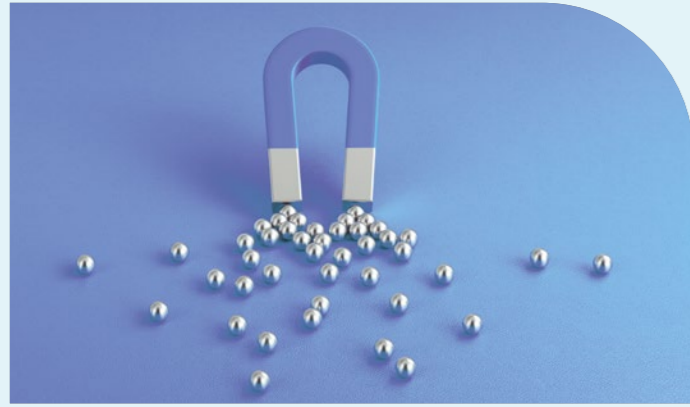
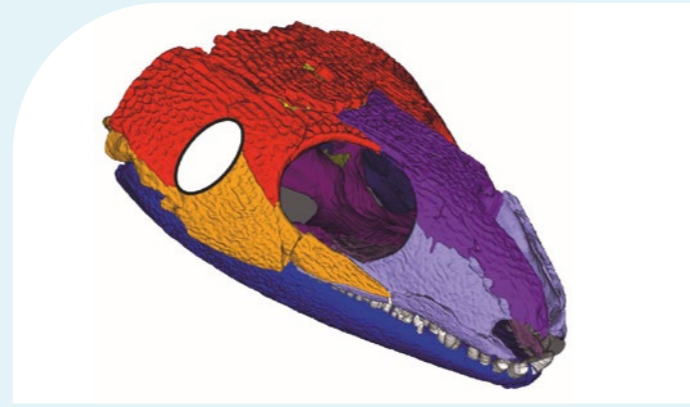


PHOTO: Leisan Rakhimova, iStockphoto



GRAPHIC: Ingmar Werneburg

Magnetismus neu gedacht

→ Klassische Magneten bestehen aus Metall. Nun hat Physikerin Benedetta Casu in organischen „Filmen“ aus Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff ebenfalls magnetische Eigenschaften nachgewiesen. Leicht, flexibel und nachhaltig: ein Material für die Zukunft?

Rethinking magnets

→ Magnets are usually made of metal. Physicist Benedetta Casu has recently found that organic films of carbon, nitrogen and oxygen also have magnetic properties. Could magnets be made from these light, flexible and sustainable materials in future?

Was unseren Kopf „im Innersten zusammenhält“

→ Warum wurde in der Evolution unser Schädel exakt so geformt, wie er heute aussieht? Mit solchen morphologischen Fragen beschäftigt sich der Zoologe, Embryologe und Paläontologe Ingmar Werneburg – und legte kürzlich eine 200 Jahre währende Debatte zu den Öffnungen in der Schläfe von Säugetieren und Reptilien bei.

Keeping our heads together

→ Why has our skull evolved into the shape it shows today? Zoologist, embryologist, and paleontologist Ingmar Werneburg has the answers to this and other questions in morphology – and, recently, he settled a 200-year old debate about the openings in the cranial temples of mammals and reptiles.

IMPRESSUM | IMPRINT

attempto! ist das Magazin der Eberhard Karls Universität Tübingen

Herausgeber Professor Dr. Bernd Engler
Redaktion Antje Karbe, Dr. Karl Guido Rijkhoek (verantwortlich)
Übersetzung Daniel McCosh
Titelfoto Jörg Jäger
Layoutkonzeption In Medias Rees Werbeagentur
Redesign & Satz Daniela Leitner, Design trifft Wissenschaft
Lektorat Korrekturbüro Burger, www.korrekturburger.de
Druck Stengel + Partner

Auflage 7.500 Exemplare, gedruckt auf FSC-zertifiziertem Papier
Anzeigen vmm wirtschaftsverlag gmbh & co. kg
ISSN 1436-6096
Adresse Eberhard Karls Universität Tübingen, Hochschulkommunikation
 Wilhelmstr. 5, 72074 Tübingen

Namentlich gekennzeichnete Artikel stimmen nicht unbedingt mit der Auffassung der Redaktion überein.
 Nachdruck des Heftes oder einzelner Artikel nur mit Zustimmung der Redaktion.



ANZEIGE | ADVERTISEMENT

Wir suchen:

**PRAKTIKANT (PFLICHTPRAKTIKA)/
STUDENTISCHE HILFSKRAFT FÜR**

1. die Qualitätskontrolle
2. das Qualitätsmanagement

QUALIFIKATION:

Student/in des Studiengangs
 Verfahrenstechnik, Biotechnologie
 oder ähnlicher Studiengang



www.klocke.com

Klocke Pharma-Service GmbH, Personalabteilung, Straßburger Str. 77, 77767 Appenweiler
 susanne.bruder@klocke-pharma.de



INNOVATION



SOLUTION

Macher. Problemlöser. Netzwerker. Wir suchen Sie. Bei Willis Tower Watson beschäftigten wir uns mit den Mitarbeitern, den Risiken und dem Kapital unserer Kunden und die Arbeit, die wir leisten, hilft dabei, die Welt in Bewegung zu halten. Kommen Sie zu uns, gestalten Sie die Zukunft unseres Unternehmens und seien Sie Teil eines positiven Umfelds, in dem Sie lernen und wachsen können.

Willis Towers Watson Reutlingen: Der Geheimtipp für Studenten & Absolventen

Sammeln Sie praktische Erfahrungen in der effektiven Arbeit mit einem vielfältigen Team von Kollegen und Kunden. Verbessern Sie Ihre beruflichen Fähigkeiten in einem globalen Unternehmen, in dem Inklusion, Vielfalt als auch die persönliche Entwicklung im Vordergrund stehen. Starten Sie eine Karriere, die echte Grenzen überschreitet.

VERFOLGEN SIE NEUE OPTIONEN.
BESUCHEN SIE [CAREERS.WILLISTOWERSWATSON.COM](http://careers.willistowerswatson.com)

ITZ BACK!

IM ANTLITZ DER MASCHINEN

Von Peer Mia Ripberger

Ab 8. April 2022

NEE, ICH BIN BLOSS FETT GEWORDEN ...

Von Anaela Dörre und Peer Mia Ripberger

Ab 9. April 2021

SCHIMPF & SCHANDE

Von Hannah Zufall

Ab 23. April 2022

WIE EIN ZARTER SCHILLERFALTER – EIN AUDIOWALK

Von Peer Mia Ripberger

Ab 1. Mai 2022

VREEDOM – EINE DREIDIMENSIONALE BEFREIUNG

Von Kollektiv Mosaik

Im Stadtraum ab 7. Mai 2022

MAKING OF (UA)

Von Charlotte Lorenz

Ab 4. Juni 2022

www.itz-tübingen.de



**INSTITUT FÜR THEATRALE
ZUKUNFTSFORSCHUNG**
IM TÜBINGER ZIMMERTHEATER