

ATTEMPTO!

Ausgabe Issue → 61 | 2024
Forschungsmagazin der
Universität Tübingen
University of Tübingen magazine



**Warum die
Evolution das
Fell erfand**

Why Did
Evolution
Invent Fur?

**KI entziffert
verkohlte
Papyrus-Rollen**

AI Deciphers
Carbonized
Papyrus Rolls

**Glyphosat-
Rätsel gelöst**

Glyphosate
Puzzle Is Solved

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 452 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 360 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 452 Euro
- Auswahl von nicht auszählbaren Sachleistungen bis zu einer Höhe von monatlich 360 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

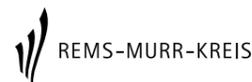
Sie möchten mit uns durchstarten?

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

Rund 43.700 Patienten/Jahr

Landkreis in reizvoller Lage mit hoher Lebensqualität

Rund 3.000 Mitarbeitende

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: Valentin Marquardt/Universität Tübingen

Liebe Leserin, lieber Leser,

Wissen schafft Vertrauen. Gesellschaft und Politik brauchen verlässliches Wissen – nur so kann unser Gemeinwesen funktionieren. Und Wissenschaft braucht ihrerseits Vertrauen. Beides ist nur über Austausch und Dialog möglich. Die Universität Tübingen hat deshalb unterschiedliche Formate der Wissenschaftskommunikation entwickelt. Auch die ATTEMPTO!, das Forschungsmagazin der Universität Tübingen, gehört dazu.

In der neuen Ausgabe wagen wir einen neuen Schritt und berichten nicht nur über Forschende der Universität Tübingen – wir haben einige gebeten, selbst zu schreiben! Professorin Caroline Huhn erzählt, wie sie eine wichtige Quelle des Glyphosats in unseren Gewässern entdeckt hat. PD Dr. Kilian Fleischer berichtet aus dem wissenschaftlichen Beirat der Vesuvian Challenge, der zur Entschlüsselung verkohlter Papyrus-Rollen aus Herculaneum mithilfe von KI beiträgt. Und PD Dr. Ingmar Werneburg stößt auf der Suche nach dem Ursprung von Fell bei Säugetieren in der paläontologischen Sammlung der Universität Tübingen.

Dear reader,

Knowledge builds trust. Society and politics need reliable knowledge – only in this way can our community function. And science needs trust for its part in a balanced society. Both are only possible through exchange and dialog. For this reason, the University of Tübingen has developed different formats for science communication. ATTEMPTO!, the research magazine of the University of Tübingen, is also part of this.

In this issue, we venture toward new horizons and not only report on researchers from the University of Tübingen – we have asked some of them to write from their own perspectives. Professor Caroline Huhn tells us how she discovered an important source of glyphosate in our waters. PD Dr. Kilian Fleischer reports from the scientific advisory board of the Vesuvian Challenge, which is decoding charred papyrus rolls from Herculaneum using AI. And PD Dr. Ingmar Werneburg searches for the origin of fur in mammals in the palaeontological collection of the University of Tübingen.

Wenn sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler direkt an Leserinnen und Leser wenden, müssen sie einen Schritt von ihrer Forschung zurücktreten und sich fragen: Was ist für die Leute da draußen wichtig und interessant? Die Universität Tübingen trainiert diese Denkweise in Workshops. Unsere Forschenden praktizieren sie in Veranstaltungen oder Interviews mit Medien und nun auch durch eigene Beiträge in der ATTEMPTO!. So entwickelt sich mit der Zeit eine innere Haltung für den gelungenen Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft.

Ich wünsche Ihnen viele Anregungen und Freude beim Lesen,

Ihr Peter Grathwohl,

Prorektor für Forschung und Innovation

When scientists approach readers directly, they need to take a step back from their research and ask themselves: What is important and interesting to the public? The University of Tübingen trains this way of thinking in workshops. Our researchers practice this approach in events or interviews with the media and now through their own contributions to ATTEMPTO!. Over time this develops into an established and essential dialog between science and society.

I hope you are inspired and enjoy reading about research at our university.

Peter Grathwohl,

Vice-President for Research, Innovation and Transfer

INHALT CONTENTS

01 Editorial

02 Inhalt
Contents

FORSCHUNG | RESEARCH

04 **Kurzmeldungen**
Research News in Brief

06 **Hatten Dinosaurier ein Fell?**
Did Dinosaurs Have Fur?

Säugetiere brauchen Haare am Körper für die Wärmeregulation. Auch unsere frühen Vorfahren kannten einen Trick.

Mammals need hair on their bodies for thermoregulation. Our early ancestors also knew a trick.

14 **Philosophie aus dem Aschegrab**
Philosophy Rises from the Ashes

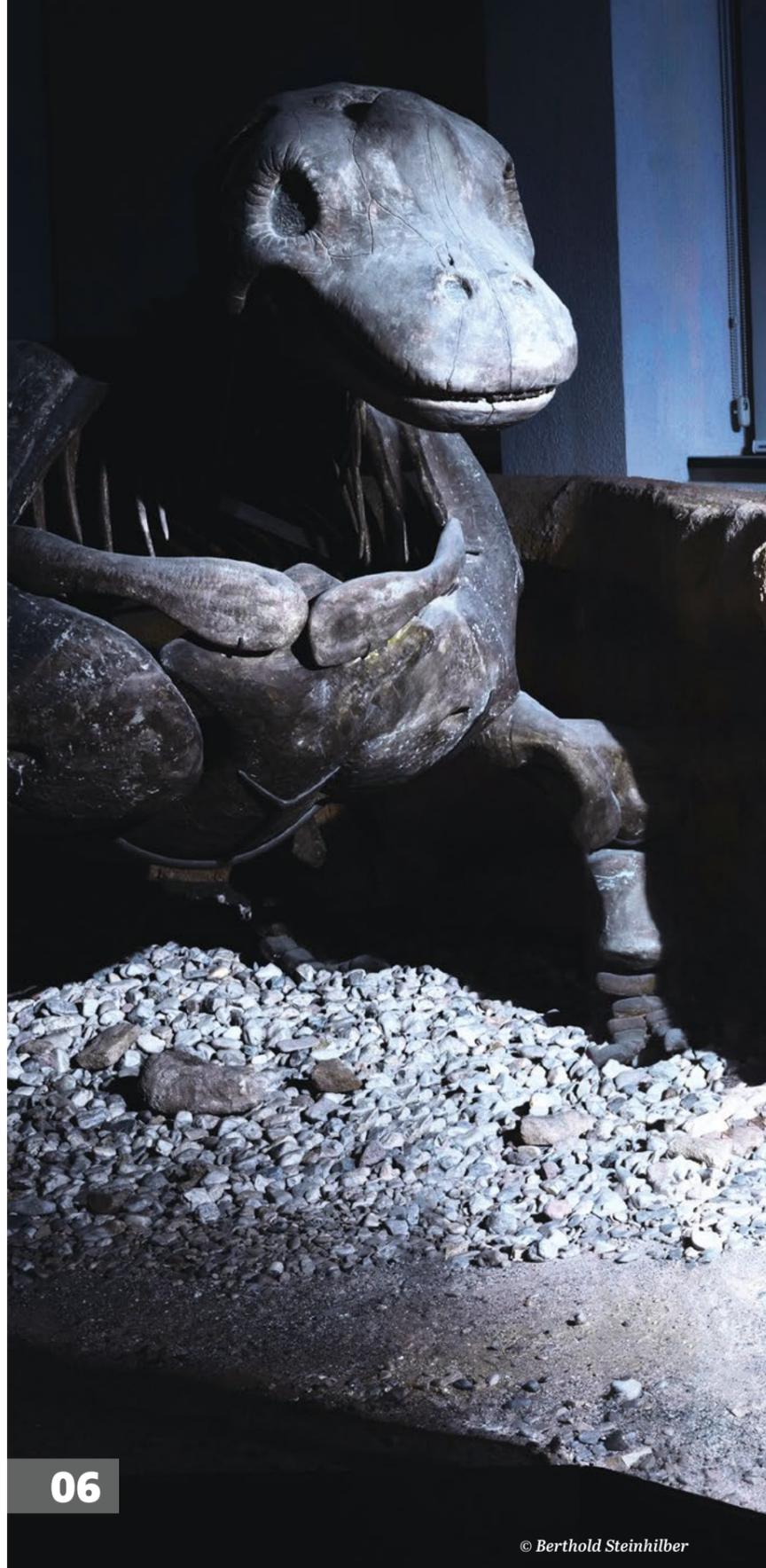
Jahrhundertlang lagen Papyrusrollen in Herculaneum unter einer Ascheschicht begraben. Mithilfe von KI können die verkohlten Schriften am Bildschirm entschlüsselt werden.

For centuries, papyrus scrolls lay buried under a layer of ash in Herculaneum. With the help of AI, the charred writings can be deciphered on screen.

22 **Zahlen begreifen**
Grasping Numbers

Mit Fingern zählen macht Kindern das Rechnen einfacher – das beweist eine neue Studie aus Tübingen. Denn beim Verstehen von Zahlen helfen alle Sinne mit.

Counting with fingers makes arithmetic easier for children – a new study from Tübingen proves this. Because all the senses play a part in understanding numbers.



06

© Berthold Steinhilber



© Valentin Marquardt

22



© University of Kentucky

14



© Tilman Wörtz

32

32 **Das Glyphosat-Rätsel**
The Glyphosate Puzzle

Lange galt die Landwirtschaft als Quelle des Herbizids in unseren Gewässern. Doch Professorin Carolin Huhn hat eine noch wichtigere Ausfindig gemacht.

For a long time, agriculture was considered the source of the herbicide in our waters. But Professor Carolin Huhn has discovered an even more important one.

40 **Zellen bei der Arbeit zuhören**
Listening to Cells at Work

Mikrochips können die Entladung von Nervenzellen messen. Die Technologie hilft bei der Entwicklung neuer Medikamente – und reduziert die Zahl von Tierversuchen.

Microchips can measure the discharge of nerve cells. The technology helps in the development of new drugs – and reduces the number of animal experiments.

INTERVIEW

44 **Ethik im Praxistest**
Testing Ethics in Practice

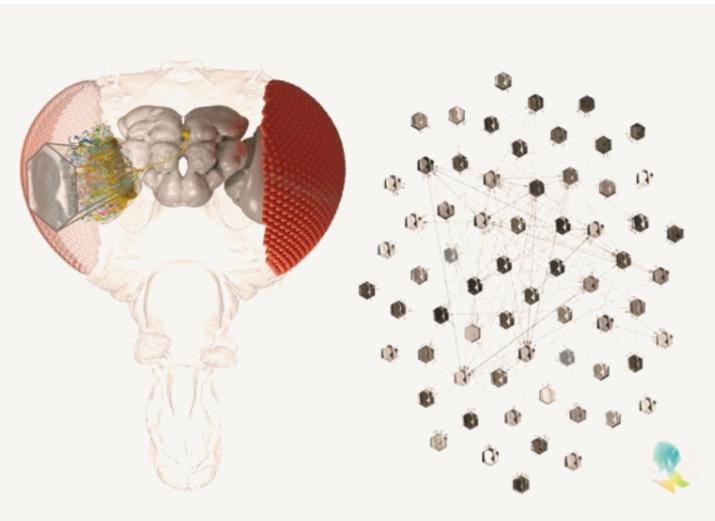
Acht Jahre lang war Franz-Josef Bormann Mitglied des Deutschen Ethikrats. Er hat zu Impfstrategie, zur Kontrolle der Kosten im Gesundheitswesen und zu Pränataldiagnostik beraten. Eine Bilanz.

Franz-Josef Bormann was a member of the German Ethics Council for eight years. He has advised on vaccination strategy, control of healthcare costs and prenatal diagnostics. A review.

48 **Ausblick | Impressum**
Outlook | Imprint

KURZMELDUNGEN

RESEARCH NEWS IN BRIEF



Facetten-Auge einer Fliege und ihr virtuelles Abbild
Faceted eye of a fly and its virtual image

PHOTO: Universität Tübingen



Bürgerräte entstehen vielerorts in der EU.
New citizens' councils are emerging in many places in the EU.



Protein- und Vitamin-B6-reiche Hefeflocken aus dem Bioreaktor auf Pasta
Protein- and vitamin B6-rich yeast flakes from the bioreactor on pasta
PHOTO: Lars Angenent



Friedemann Vogel beim Tanz in der Alten Anatomie der Universität Tübingen
Friedemann Vogel dances in the Old Anatomy Building at the University of Tübingen
PHOTO: Thomas Dashuber/Universität Tübingen

Im digitalen Fliegenhirn

Digital simulation of fruit fly brain

1 Ein Forscherteam der Universität Tübingen sagte erstmals die Berechnungen eines lebenden Fliegen-Gehirns voraus. Dafür nutzten sie neue Erkenntnisse über die neuronalen Schaltpläne im Gehirn der Fruchtfliege und Methoden der Künstlichen Intelligenz. So erstellten die Forschenden die KI-Simulation eines Teils des Gehirns: dem visuellen System. Jedes simulierte Neuron entsprach einem realen, und obwohl die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Dynamik der Neuronen im biologischen Gehirn nicht kannten, konnten sie diese unbekannt Parameter für die Simulation mithilfe von Deep-Learning-Methoden vorhersagen. Mit Erfolg: Das digitale Modell reproduzierte die Ergebnisse aus über zwei Dutzend experimentellen Studien der letzten zwei Jahrzehnte.

Scientists at the University of Tübingen have achieved a simulation that is capable of predicting calculations in the brain of a fruit fly. Their approach combines new insights into the wiring diagram of the fly's brain and artificial intelligence methods. Using these methods, the researchers were able to create an AI simulation of the visual system in the fly's brain. Each simulated neuron was paired with a real one and although the researchers did not know the neural dynamics in the biological brain, they were able to predict these unknown parameters for the simulation using deep learning methods. The digital model they created has been very successful: It has reproduced the results from over two dozen experimental studies over the past two decades.

Bürgerinnen und Bürger begleiten KI-Forschung

Citizens get involved in AI research

2 Am 21. September 2024 hat der Bürger:innen-Rat Künstliche Intelligenz und Freiheit seine Arbeit aufgenommen. In ihm diskutieren 40 zufällig ausgewählte Bürgerinnen und Bürger aus Baden-Württemberg über die gesellschaftliche Begleitung von KI-Forschung. Das Tübinger Exzellenzcluster Maschinelles Lernen ist Partner des Projekts. Die Ratsmitglieder sprechen mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen zu Themen der KI: Bei welchen Fragen und an welchen Stellen sollten Bürgerinnen und Bürger mitgestalten können? Was können sie beitragen? Wie kann die Zusammenarbeit gefördert werden? Die bis zur letzten Sitzung am 23. November 2024 erarbeiteten Empfehlungen werden dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst übergeben.

On September 21, 2024, the Citizens' Council for Artificial Intelligence and Freedom began its work. Forty randomly selected citizens from Baden-Württemberg are part of the council, which discusses the social implication of AI research. The Tübingen Cluster of Excellence Machine Learning is a partner of the project. Council members talk to scientists from different disciplines about AI topics: Which questions should citizens be involved in and through which authorities? What can they contribute? How can participation be encouraged? The recommendations will be drawn up by November 23, 2024 and submitted to the Ministry of Science, Research and Arts.

Aus Energie wird Vitamin

Turning energy into vitamins

3 Kohlendioxid, Wasserstoff, Sauerstoff und Strom – mehr brauchen ein Bakterium und die Bäckerhefe kaum, um in einem ausgeklügelten Bioreaktor-System Proteine für die menschliche Ernährung und das lebenswichtige Vitamin B9 herzustellen. Zu diesem Ergebnis kam ein Forschungsteam unter der Leitung von Professor Lars Angenent aus der Umweltbiotechnologie der Universität Tübingen. Das neue Proteinprodukt mit Vitamin B9, der Folsäure, kann als vegane Grundlage für Fleischersatz dienen, mit dem langfristig eine wachsende Weltbevölkerung klimaverträglich ernährt werden könnte. „Bei unserem Produkt handelt es sich noch nicht um ein fertiges Lebensmittel, aber die Nahrungsmittelindustrie kann es dazu weiterentwickeln“, sagt Angenent.

Carbon dioxide, hydrogen, oxygen and electricity – a bacterium and baker's yeast barely need more to produce proteins for human nutrition and the vital vitamin B9 in a sophisticated bioreactor system. Professor Lars Angenent from Environmental Biotechnology at the University of Tübingen and his team arrived at this discovery. The new protein and vitamin B9 (folic acid) can be used as a basis for vegan meat substitutes, which could help to feed growing world population in a climate-friendly way in the long term. "Our product is not yet a finished food, but the food industry can develop it further," says Angenent.

Ballett-Star trifft Ästhetikforschung

Ballet star encounters aesthetic research

4 Friedemann Vogel, der erste Solist des Stuttgarter Balletts, lehrt und forscht ab dem Wintersemester 2024/25 als assoziiertes Mitglied und langfristiger Partner am Sonderforschungsbereich Andere Ästhetik der Universität Tübingen. Friedemann Vogel ist einer der renommiertesten Balletttänzer der Welt. Neben gemeinsamen Lehrveranstaltungen werden die Forschenden im Rahmen eines Workshops in die Praxis der Bewegung mithineingenommen, indem sie gemeinsam mit dem Tänzer Bewegungsabläufe entwickeln und analysieren. Im Sonderforschungsbereich untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 20 Fachdisziplinen seit 2019 Texte, Bilder oder musikalische Werke von der Antike bis zur Frühen Neuzeit.

Friedemann Vogel, the premier soloist at the Stuttgart Ballet and an associate member and long-term partner at the University of Tübingen's CRC 1391 Different Aesthetics will be teaching and researching from this winter semester 2024/25. Vogel is one of the most highly-renowned ballet dancers in the world. Alongside joint courses, the researchers will be introduced to the practice of movement in a workshop, where together with the dancer they will develop and analyze movement patterns. Scientists from 20 disciplines have been studying texts, pictures and musical works from ancient times to the early modern era at the CRC (collaborative research center) since 2019.

HATTEN DINOSAURIER EIN FELL?

DID DINOSAURS HAVE FUR?

TEXT PD Dr. Ingmar Werneburg
PHOTOS Berthold Steinhilber

In Fossilien sind meist nur Knochen und Zähne von Tieren versteinert – die Weichteile gehen verloren. Doch in der Paläontologischen Sammlung der Universität Tübingen liegen weltweit einzigartige Funde, aus denen die Geschichte des Fells entziffert werden kann.

In fossils' mostly only bones and teeth of animals remain – the soft tissues are lost. But in the Palaeontological Collection of the University of Tübingen there are unique finds from around the world that can tell us the full story.

Ein Segel auf dem Rücken erlaubte diesem *Dimetrodon incisivus* die Regulation seiner Körpertemperatur. Das Tier blieb dadurch beweglicher als manche seiner Konkurrenten.

A sail on its back permitted this *Dimetrodon incisivus* to regulate its body temperature. This made the animal more agile than some of its competitors.

DE

Säugetiere haben ein Fell. Es bedeckt den Körper und isoliert ihn gegen Kälte. Säugetiere sind bekanntlich sehr sozial, und die Fellfärbung hilft ihnen, Artgenossen und Feinde zu unterscheiden, aber auch, sich vor einem bestimmten Hintergrund zu verbergen, so wie ein sandfarbener Fuchs in der Wüste oder ein Eisbär im Schnee.

Reptilien haben Schuppen. Und Vögel haben Federn. Federn lassen sich leicht von Schuppen ableiten, denn es ist bekannt, dass sich Vögel aus den reptilienartigen Dinosauriern entwickelt haben. Federn sind stark modifizierte Dinosaurierschuppen. Der gefiederte *Archaeopteryx* stellt eine bekannte Übergangsform dar.

Der evolutive Ursprung der Säugetierhaare ist weniger bekannt, da es neben den Knochen und harten Schuppen kaum fossile Abdrücke von Weichgeweben gibt. Unbestritten fossile Abdrücke von Haaren finden sich erst bei Säugern des späten Mitteljuras, wie bei *Castorocauda*, der vor etwa 220 Millionen Jahren lebte. Ein Säugetiervorfahr mit fossilisiertem Fell ist *Spinolestes* aus der Kreidezeit, also vor 125 Millionen Jahren. Dieser Nachweis muss jedoch als ein Zustand mit einer langen Evolutionsgeschichte betrachtet werden. In versteinertem Kot aus dem Perm, vor etwa 260 Millionen Jahren, wurden Nahrungsreste gefunden, die haarähnliche Strukturen enthalten. Werfen wir also einen Blick in die Tiefenzeit, die Evolution unserer Säugetiervorfahren, um die Entwicklung des Fells besser zu verstehen.

Die Säugetier- und die Reptilienlinien trennten sich vor mehr als 300 Millionen Jahren voneinander. Die ersten Vorfahren der Säugetiere, die in der Paläontologischen Sammlung in Tübingen einzigartig dokumentiert sind, sahen den Reptilien noch sehr ähnlich. Aber sie hatten eine andere Ernährungsweise: Sie jagten große Beutetiere mit ihren Fangzähnen, während sich die eigentlichen Reptilien ursprünglich von kleinen Chitin-haltigen Tausendfüßern und Insekten ernährten. Reptilien müssen für ihre Beweglichkeit täglich in der Sonne baden. Für das Schnappen nach Tausendfüßern, Spinnen und Insekten reicht diese Energiequelle.

Die Jagd auf große Beutetiere dagegen setzt als Verhaltensweise spontanes Handeln voraus – etwa das Sprinten und Aufspringen auf eine Beute. Auch Ausdauer brauchen Säugetiere während der Jagd und dafür eine konstante Körpertemperatur, die sogenannte Homöothermie, mit hoher Stoffwechselrate. Fell isoliert den Körper der Säugetiere und unterstützt dadurch eine konstante Körpertemperatur.

Die ersten „Experimente“ der Evolution mit der Körpertemperatur fanden bei den Vorläufern der Säugetiere, den frühen Synapsiden, statt. Einige von ihnen entwickelten Segel auf dem Rücken, die von Auswüchsen der Wir-

belsäule gestützt wurden. Dank eines dichten Blutgefäßsystems auf der Hautoberfläche konnten diese großen Segel die Sonnenwärme schnell aufnehmen und überschüssige Körperwärme rasch abgeben. Das funktioniert so auch ganz ähnlich bei den großen Ohren der Afrikanischen Elefanten. Doch das Experiment der Evolution mit den Rückensegeln ging bei unseren reptilienartigen Vorfahren nicht auf: Sie starben aus.

Die frühen Vorläufer der Säugetiere hatten noch typische Reptilienschuppen mit einer weniger effizienten Wärmeregulierung. Dies belegen fossile Abdrücke des Bauches von einem ruhenden Tier. Im Zeitalter des Oberperms,



Dieser *Scymnognathus parringtoni* ist mit 255 Millionen Jahren ein früher Vorfahre der Säugetiere, eines der ältesten Fossilien, bei denen eine konstante Körpertemperatur und sogar Schnauzenhaare rekonstruiert werden können.

This 255 million year old *Scymnognathus parringtoni* is an early ancestor of mammals, one of the oldest fossils that offers evidence of constant body temperature and even whiskers.

EN

When the hot summer weather kicks in you may find yourself feeling concerned about furry pets and other animals we live alongside. But fur and hair are ancient adaptations that allowed human ancestors to develop more active lifestyles and varied diets.

All mammals have some kind of fur. It's part of what sets us apart from other animal groups. Fur comes in all shapes and types, including as human hair. Its thermoregulation properties can tell us about how our ancestors' lifestyles changed as they diverged from reptile-like animals, becoming more active hunters.

Mammals are highly social and fur colouration also helps in distinguishing allies and enemies. It can help animals hide too. Think of a sand-coloured fox in the desert or a polar bear in the snow.

Birds are known to have evolved from the reptilian dinosaurs and feathers are highly modified dinosaur scales. The origin of mammalian hair in deep time is less clear because it preserves less well than hard scales, bones and feathers.

Fossil imprints of hair are found in Middle Jurassic species, such as the beaver-like *Castorocauda*, about 220 million years ago. And a mammalian ancestor with fossilized fur, the rat-like *Spinolestes*, which had a mohawk of bristles, is known from the Cretaceous period, 125 million years ago.





Weichteile versteinern nur äußerst selten in Fossilien, wie die Haare bei diesem 50 Millionen Jahre alten Nagetier namens *Massilamys peegeri* aus der Grube Messel. Die Paläontologische Sammlung der Universität Tübingen ist für solche seltenen Funde unter Fachleuten bekannt.

Soft parts very rarely fossilize – hairs, such as those from a 50 million year old rodent known as *Massilamys peegeri* from the Messel pit, are an exception. The University of Tübingen's Palaeontological Collection is renowned among experts for such rare findings.

PHOTO: Paläontologische Schau- und Lehrsammlung/Universität Tübingen

vor 255 Millionen Jahren, lebte *Sauroctonus parringtoni*. Die Paläontologische Sammlung der Universität Tübingen beherbergt eines der vollständigsten und schönsten Exemplare dieses fossilen Tieres weltweit. Es wurde in der Usili-Formation, Ruhuhu, Tansania, gefunden und war eines der erfolgreichsten Raubtiere seiner Zeit. Es sah immer noch aus wie ein Reptil, hatte aber bereits eine etwas aufrechtere Körperhaltung, die beim Laufen energieeffizienter ist als das Laufen mit angewinkelten Gliedmaßen, wie man es noch bei den Reptilien findet.

Anhand des Tübinger Exemplars konnte gezeigt werden, dass frühe Synapsiden bereits einen hohen Stoffwechsel hatten. Indikator dafür ist eine große Öffnung für ein Blutgefäß im oberen Hinterbein-Knochen (Femur): Hier strömt bei gleichwarmen Tieren viel Blut ein, um den Knochen mit Sauerstoff und Nährstoffen für dynamische Anpassungen an die aktive Lebensweise zu versorgen. Darüber hinaus lässt sich eine umfassende Blut-

versorgung im Schädel von *Sauroctonus* und anderen permischen Arten rekonstruieren. Kleine Öffnungen in den Schnauzen-Knochen können hierbei auf Nervenkanäle und Öffnungen für Blutgefäße zur Versorgung der Schnurrhaare (Vibrissen) hinweisen. Vibrissen sind auf eine Tastfunktion hin spezialisierte Schnauzenhaare, die von modernen Säugetieren wie den Katzen bekannt sind. Vielleicht waren sie die ersten Haare, die sich entwickelten, und erst später entstand das eigentliche Fell.

Dinosaurier entwickelten sich vor 233 Millionen Jahren in der späten Trias, also erst mehrere Millionen Jahre nach dem ersten Nachweis von Haaren bei den Vorläufern der Säugetiere. Aber schon die frühesten Dinosaurier hatten einfache haarähnliche Federvorläufer, die sich später in mehrere Strahlen aufspalteten und bei den vogelähnlichen Dinosauriern Schäfte, Widerhaken und später sogar Tragfahnen ausbildeten. Da sich die Federn, wie oben erwähnt, aus



”
Haben sich die Haare der Säugetiere aus Schuppen entwickelt, so wie die Federn? Ja und nein.

Did mammalian hairs develop from scales, the way feathers did? Yes and no.

“

bathing is, in contrast, essential for agility in reptiles, who sit on warm rocks and wait for insects to scuttle past.

The first animals to experiment with body temperature were mammalian forerunners, the early synapsids. Some of them had large lizard-like bodies and developed sails on their back, supported by outgrowths of the vertebrae.

Thanks to a dense blood vessel system in the surface of the skin, these sails could quickly absorb heat from the sun and release excessive body heat (like elephants and fennec foxes do with their large ears today). But this strategy did not work out for them: the sailed mammalian ancestors became extinct.

Early mammalian ancestors still had typical reptilian scales, with their weak thermoregulation properties. This is shown by fossil belly skin impressions of a 275-million-year-old (mid-Permian period) resting animal, found in Poland in 2012.

The early mammal ancestor *Scymnognathus parringtoni* lived in the upper Permian period, 255 million years ago. The Palaeontological Collection of the University of Tübingen, Germany, houses one of the most complete and most beautiful specimens of this fossil animal.

The specimen was found in the Usili formation, Ruhuhu, Tanzania, and was one of the top predators of its time. It still looked much like a reptile, but already had an upright body



den Schuppen der Reptilien entwickelt haben, mag man fragen, ob dann auch die Haare bei den Vorläufern der Säugetiere von diesen abstammten? Die Antwort lautet: ja und nein.

In der frühen Entwicklung, im Embryo, gibt es bei allen Landwirbeltieren Hautverdickungen, die als Plakoden bezeichnet werden. Diese genetisch aktiven Regionen sind die Vorläufer aller Hautanhangsgebilde – Schuppen, Federn und Haare gleichermaßen. Im weiteren Verlauf der Embryonalentwicklung bilden sich die Strukturen jedoch drastisch anders aus. Die oberste Hautschicht faltet sich bei der Bildung von Schuppen und Federn nach außen (Evagination), während sich die Haut bei der Entwicklung von Haaren zunächst nach innen einfaltet (Invagination). Der Haarschaft wächst erst später aus der Follikel-Tasche heraus. Es ist also nicht einfach, Haare mit Schuppen und Federn gleichzusetzen. Bei einer Diskussion über den evolutionären Ursprung ist es immer wichtig, die Prozesse der Embryonalentwicklung zu berücksichtigen.

Haare und Federn beruhen auf demselben genetischen Programm, verfolgen aber unterschiedliche Strategien, um sich aus der Haut zu entwickeln. In der Evolution dienten sie ursprünglich einer ähnlichen Funktion: Wärmeregulierung und ein Sichtschutz. Erst später in der Evolution, bei den Vögeln, entwickelten sich die Anhangsgebilde der Haut zu einem Flugapparat um. Die Säugetiere etablierten ein Haarkleid, das eine große Entfaltung an Farben

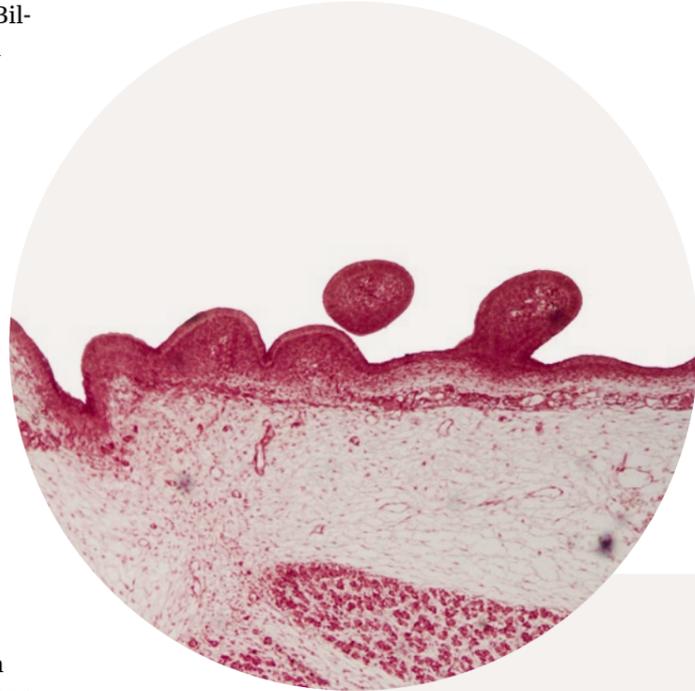
Entwicklung von Gefieder durchs Mikroskop betrachtet: Die äußere Hautschicht dieses 14 Tage alten Hühner-Embryos faltet sich aus.

Development of plumage observed through a microscope: the outer layer of skin of this 14 day old chicken embryo is unfolded.

PHOTO: Zoologische Lehrsammlung/ Universität Tübingen

und Formen erlebte, so etwa die Streifen beim Tiger, die schwarz-weißen Flecken beim Großen Panda und die gekräuselten Haare beim Schaf.

Einige Säugetiere verloren später ihr dichtes Fell wieder, zum Beispiel die Wale und die Menschen. Ein Grund dafür ist die Regulierung der Körpertemperatur durch Fettspeicherung statt durch Haare bei den Walen und durch Körperkühlung in heißen Savannen in der frühen Evolution unserer eigenen Vorfahren.



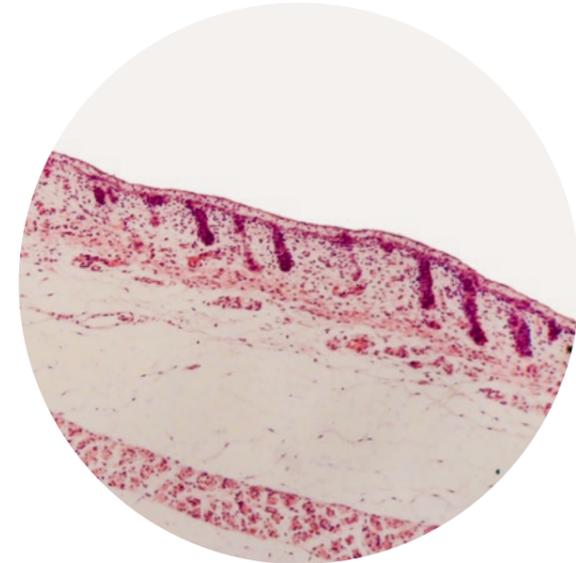
Haarentwicklung bei einem Schaf-Embryo: Die äußere Hautschicht faltet sich ein (dunkle Partien).

Hair development in a sheep embryo: the outer layer of skin folds in (dark areas).

PHOTO: Zoologische Lehrsammlung/ Universität Tübingen

posture, which is more energy-efficient when running compared to sprawling limbs as reptiles do.

Using the Tübingen specimen, palaeontologists showed in 2021 that early synapsids already had a greater metabolic rate than reptiles do. This is indicated by the large nutrient foramen, a small tunnel with a nutrient artery, in the upper limb bone (femur). Mammal nutrient foramina are bigger than those in reptiles.



What's more, unlike reptiles, *Scymnognathus* and other Permian species have an extensive blood supply in their highly vascularized snout. Small openings in the snout bones of these animals may indicate nerve passages and openings for blood vessels to support whiskers (vibrissae).

Whiskers are snout hairs specialized for tactile function, well known in modern mammals like cats. Maybe they were the first hairs to evolve and only later the fur developed.

Dinosaurs evolved around 233 million years ago in the Late Triassic period, which is several million years after the first proof of hair in the mammalian forerunners. But the earliest dinosaurs already had simple hair-like feather precursors, which later separated into multiple barbs, formed shafts and barbules and later even vanes in more bird-like dinosaurs.

Did mammalian hairs develop from scales, the way feathers did? Yes and no.

In early embryo development, all land vertebrates have skin thickenings known as placodes. These genetically activated cell condensations are the precursors of all skin appendages – scales, feathers and hairs alike. Hair and feathers rely on the same genetic program.

But later in the embryo's development, the structures take drastically different forms. The uppermost layer of the skin folds out to form scales and feathers. The skin folds in, however, to develop hair below the skin surface. The hair shaft only grows out of the follicle pocket later on.

In evolution, hair, scales and feathers originally served a similar function: thermoregulation and display. Birds evolved a complete flight apparatus long after the first feathers emerged.

Several mammals later lost their dense furs, such as whales (who evolved fat storage as an alternative for body temperature regulation) and humans. It's not clear why humans lost most of their fur but some scientists think it was to keep cool during long hunts on hot savannas.



PD Dr. Ingmar Werneburg ist Kustos der Paläontologischen Sammlung der Universität Tübingen. Er macht Studenten, Fachleuten und Gästen aus aller Welt außergewöhnliche Fossilien der historischen Sammlung wie den *Sauroctonus parringtoni* zugänglich. In seiner eigenen Forschung und Lehre verfolgt Werneburg ein ganzheitliches Verständnis der Natur. Er sieht das Zusammenspiel embryonaler als auch tiefenzeitlicher Veränderungen als zentralen Aspekt für die Evolution des Lebens an.

PD Dr. Ingmar Werneburg is curator of the Palaeontological Collection of the University of Tübingen. He makes extraordinary fossils from the historical collection, such as the *Sauroctonus parringtoni*, available to students, professionals and guests from all over the world. In his own research and teaching, Werneburg pursues a holistic understanding of nature. He sees the interaction of embryonic as well as deep temporal changes as a central aspect for the evolution of life.



PHILOSOPHIE AUS DEM ASCHEGRAB

PHILOSOPHY RISES FROM THE ASHES

TEXT PD Dr. Kilian Fleischer

Der Ausbruch des Vesuv begrub vor 2.000 Jahren die Städte Pompeji und Herculaneum unter einer heißen Aschewolke. Nun hilft KI bei der Sichtung verkohlter Schriftrollen – ein technologischer Sprung, der eine zweite Renaissance einleiten könnte.

The eruption of Mount Vesuvius 2,000 years ago buried the cities of Pompeii and Herculaneum under a hot cloud of ash. Now AI is helping sift through charred scrolls – a technological leap that could usher in a second Renaissance.

DE

Die Vesuvius Challenge ist ein beispielloser Wettbewerb auf dem Gebiet der Altertumswissenschaften, der das Potenzial hat, den Weg für so etwas wie eine zweite Renaissance zu ebnen. Ziel ist es, mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) Hunderte von verschlossenen Papyrusrollen mit antiker Literatur, die seit 2.000 Jahren nicht mehr gesehen wurde, virtuell zu entrollen.

Als der Vesuv im Jahr 79 n. Chr. ausbrach, begrub er verschiedene Städte am Golf von Neapel unter meterhohem vulkanischem Material – darunter auch Herculaneum, das in der Nähe von Pompeji liegt. Im 18. Jahrhundert wurde dort in der Nähe der antiken Stadtmauern und des Ufers eine außergewöhnlich luxuriöse römische Villa ausgegraben. Die herrlichen Wandmalereien, Mosaik, Büsten und Statuen der Villa wurden durch die Vulkanauswürfe konserviert.

Dieses Gebäude, die Villa der Papyri, ist nach ihrem bemerkenswertesten Schatz benannt. Sie bewahrte die einzige erhaltene Bibliothek der Antike: rund 1.000 Papyrusrollen, die durch den Ausbruch nicht zerstört, sondern in eine Art Holzkohle verwandelt wurden. Bis zu ihrer Wiederentdeckung blieben sie in der Erde versiegelt.

Die Villa gehörte wahrscheinlich Lucius Calpurnius Piso Caesoninus, einem römischen Konsul und Schwiegervater von Julius Caesar. Er war der Förderer des epikureischen Philosophen Philodemus von Gadara (110–30 v. Chr.), der möglicherweise in der Villa lebte.

Bevor er nach Italien ging, studierte Philodemus im philosophischen Zentrum der Epikureer in Athen. Der Begründer dieser Philosophierichtung, Epikur, nahm an, die Welt bestehe aus Atomen, und sah Vergnügen, Freundschaft und Atheismus als wesentliche Voraussetzungen für ein glückliches Leben an.

Die griechischen Originaltexte der Epikureer gingen in der Spätantike verloren, doch eine lateinische, poetische Version der philosophischen Ansichten Epikurs blieb erhalten. Sie war der Ethik und insbesondere Physik Epikurs gewidmet und trug den Titel „Über die Natur der Dinge“ (*De rerum natura*).

Seit Entdeckung der Rollen wurden mehrere Versuche unternommen, die zerbrechlichen Gebilde mechanisch zu entrollen, jedoch mit

Die verkohlte Rolle gehört zu einem Fund von rund 1.000 Papyrus-Schriften, die aus der Antike bis in unsere Zeit erhalten geblieben sind. Dank Scans in einem Teilchenbeschleuniger und KI lässt sich der Text am Computer „entrollen“.

The carbonized rolls are part of a trove of around 1,000 papyrus documents, which have survived from ancient times until today. Using scans in a particle accelerator and AI the text can now be 'unrolled' by computer.

PHOTO: University of Kentucky



Lückenhafte Texte müssen gedeutet werden. Fachleute für Papyrus-Rollen diskutieren einige Schriften in einem Seminar in Pisa, das von der Uni Tübingen diesen September organisiert wurde.

Fragmentary texts have to be interpreted. Experts in papyrus rolls discuss some writings at a workshop in Pisa, which was organized this September by the University of Tübingen.

PHOTO: Kilian Fleischer

was excavated there, close to the ancient city walls and shoreline. The villa's marvellous wall paintings, mosaics, busts and statues had been conserved by the ashes.

This building, Villa of the Papyri, is named after its most remarkable treasure. It housed the only preserved library from antiquity: around 1,000 papyrus scrolls that were not destroyed by the eruption, but carbonized (turned into a kind of charcoal) and sealed in the earth until their rediscovery.

The villa probably belonged to Lucius Calpurnius Piso Caesoninus, a Roman consul and Julius Caesar's father-in-law. He was the patron of the Epicurean philosopher Philodemus of Gadara (110–30BC), who may have lived in the villa.

Before moving to Italy, Philodemus was educated in Athens at the philosophical centre of the Epicureans. Its founder, Epicurus, proclaimed the world was made up of atoms and considered pleasure, friendship and atheism as essentials for a happy life.

The original Greek texts of the Epicureans were lost in late antiquity, but a Latin poetic version of Epicurus's philosophical views survived. It dealt with ethics and especially physics, and was titled *On The Nature Of Things*.

Since their discovery, several attempts have been made to mechanically unroll the fragile papyri, with only modest success. Many scrolls were almost completely destroyed, while others were badly damaged and are now very fragmentary. Parts of over 300 scrolls stored in Naples are still waiting to be unrolled.

What does all this have to do with AI? The plan for non-invasive reading of the Herculaneum papyri was first pursued by University of Kentucky computer scientist Brent Seales in 2007. He worked on the problem for about 15 years. But while he succeeded with other scrolls, the Herculaneum papyri proved very tricky.

nur mäßigem Erfolg. Viele Schriftrollen wurden fast vollständig zerstört, während andere stark beschädigt wurden und nur noch in Fragmenten vorhanden sind. Teile von über 300 Schriftrollen, die in Neapel aufbewahrt werden, warten immer noch darauf, entrollt zu werden.

Was hat das alles mit KI zu tun? Die Idee, die Papyri von Herculaneum nicht-invasiv zu lesen, hatte erstmals 2007 der Informatiker Brent Seales von der Universität Kentucky. Er arbeitete etwa 15 Jahre lang an diesem Problem. Doch während er bei anderen Schriftrollen erfolgreich war, erwiesen sich die Papyri von Herculaneum als sehr schwierig. Seales erkannte, dass der Schlüssel zur Unter-

scheidung der kohlehaltigen Tinte vom karbonisierten Papyrushintergrund in der Anwendung der Künstlichen Intelligenz lag. Erste Experimente bestätigten seine Hypothese, dass KI dabei helfen könnte, die schwer lesbare Tinte auf CT-Scans zu identifizieren, aber es war noch ein weiter Weg bis zur Entschlüsselung der Geheimnisse.

Der Silicon-Valley-Unternehmer Nat Friedman stieß auf die Arbeit von Seales und schlug vor, einen Open-Source-KI-Wettbewerb zu initiieren, um den Fortschritt zu beschleunigen. Mehrere Preise, darunter ein Hauptpreis in Höhe von 1 Million US-Dollar, wurden denjenigen Personen oder

EN

The Vesuvius Challenge is an unparalleled competition in the field of classical studies, with the potential to pave the way for something akin to a second Renaissance. Its objective is to use artificial intelligence (AI) to virtually unroll hundreds of closed papyrus scrolls, containing ancient literature that has not been seen for 2,000 years.

When Mount Vesuvius erupted in AD79, it buried various cities in the Gulf of Naples under massive volcanic material – including Herculaneum, located near Pompeii. In the 18th century, an exceptionally luxurious Roman villa



Die Villa der Papyri gehörte Caesars Schwiegervater. Die Aschewolken des Vesuvius begruben 79 n. Chr. Hunderte von Papyrus-Rollen unter sich – und bewahrten so bis heute die einzige erhaltene Bibliothek der Antike.

The Villa of the Papyri was the home of Caesar's father-in-law. In 79 CE, ash emitted by Vesuvius buried hundreds of papyrus rolls – and so preserved until now the one and only library from those days.

GRAPHIC: Rocío Espín

”

Der Schlüssel zur Unterscheidung der kohlehaltigen Tinte vom karbonisierten Papyrushintergrund liegt in der Anwendung der KI.

The key to discerning the carbon ink from the carbonized papyrus background is AI.

“

Teams versprochen, die das Problem des virtuellen Aufrollens der Schriftrollen knacken würden.

Seit März 2023 haben sich mehr als tausend Teams an diesem Wettbewerb beteiligt. Im Oktober 2023 wurden die ersten Buchstaben und Zeilen eines griechischen Textes entdeckt, und im Februar 2024 wurden die Hauptgewinner – die KI-Studenten Youssef Nader, Luke Farritor und Julian Schilliger – bekannt gegeben. Ihr KI-Modell enthüllte auf spektakuläre Weise Teile von 15 Spalten aus dem innersten Teil einer der Schriftrollen. Es handelte sich um einen Text über Ethik, der wahrscheinlich von Philodemus verfasst wurde.

Bei dieser Technik des „virtuellen Entrollens“ wird die karbonisierte Schriftrolle zunächst in einem Teilchenbeschleuniger mit sehr hoher Auflösung gescannt. Dann wird die komplexe Struktur der Schriftrolle analysiert und virtuell geglättet – aber es ist noch kein Text zu sehen. Nun trainiert das Team KI-Modelle, Unterschiede in den Mustern der Tinte von den Mustern des verkohlten Papyrus herauszuheben. Mit bloßem Auge sind diese Unterschiede nicht zu erkennen, doch die KI lässt die Schrift hervortre-

ten und Expertinnen und Experten können sie nun entziffern.

Die Bilder der Vesuvian Challenge sind der Beweis, dass ein virtuelles Entrollen der Schriftrollen von Herculaneum möglich ist. Obwohl es noch einige technische

Schwierigkeiten zu meistern gilt, sollten viele der anderen ungeöffneten Schriftrollen in naher Zukunft virtuell entrollt werden können.

Dieser Durchbruch begünstigte die Finanzierung der zweiten Phase der Vesuvian Challenge, zu deren Spendern auch Elon Musks Wohltätigkeitsorganisation, die Musk Foundation, gehört. Das nächste Ziel besteht darin, weitere Schriftrollen zu scannen und den Prozess des virtuellen Entrollens zu beschleunigen und zu standardisieren.

Es ist wahrscheinlich, dass in den nächsten Jahren Dutzende neuer altgriechischer und lateinischer Texte auftauchen werden. Da es sich bei der griechischen Bibliothek um eine epikureische Spezialbibliothek handelte, dürften die meisten der neuen Werke Themen wie Ethik, Mathematik, Musik und die Geschichte der Philosophie abdecken.



KI entrollt am Bildschirm Textseiten, die eigentlich als Ascheklumpen fest miteinander verbacken sind.

On the screen, AI unrolls pages of text that are in fact melded into a solid lump of ash.

PHOTO: Vesuvian Challenge

Seales recognized that the key to discerning the carbon ink from the carbonized papyrus background was AI. Initial experiments confirmed his hypothesis that AI could help recover the elusive ink from the CT scans, but significant challenges remained to unlock the secrets of the scrolls.

Silicon Valley entrepreneur Nat Friedman came across Seales' work and suggested they establish an open-source AI challenge to accelerate the progress. Several prizes, including one of USD \$1 million (£771,835), were promised to people or teams who could finally crack the scrolls. Since March 2023, more than 1,000 teams have entered this competition. In October 2023, the first letters and lines of Greek text were detected, and in February 2024, the first winners of the prize money – machine learning

students Youssef Nader, Luke Farritor and Julian Schilliger – were announced. Their AI model spectacularly revealed parts of 15 columns from the innermost part of one of the scrolls. It was a text on ethics, probably written by Philodemus.

This “virtual unrolling” technique starts by scanning the carbonized scroll in a particle accelerator at super-high resolution. Then, the complex structure of the scroll is analyzed and virtually flattened – but no text can yet be seen. At

Im *Officina dei Papiri* in Neapel werden die Originalrollen aus Herculaneum aufbewahrt. Ein hochauflösendes Mikroskop macht digitale Bilder und erlaubt das Studium der Schriften am Bildschirm.

The original rolls from Herculaneum are kept safely at the *Officina dei Papiri* in Naples. A high-resolution microscope makes digital pictures and enables the scripts to be studied on the screen.

PHOTO: Kilian Fleischer

Es ist durchaus auch bedingt mit stoischer Literatur zu rechnen. Die epikureischen Texte enthalten oft lange Zitate von anderen Philosophen oder Autoren sowie bisher unbekannte historische Informationen. Die größten Überraschungen dürften jedoch die lateinischen Papyri bereithalten. Wir dürfen auf historische und poetische lateinische Werke aus der späten Republik und frühen Kaiserzeit Roms hoffen.

Womöglich führt der Erfolg beim virtuellen Entrollen auch dazu, dass neue Ausgrabungen in der Villa der Papyri (Phase vier der Vesuvian Challenge) aufgenommen werden. Viele Forscher vermuten, dass die eigentliche griechische und lateinische Bibliothek – mit verlorenen Meisterwerken – noch nicht ausgegraben worden sind.



PD Dr. Kilian Fleischer gehört zum wissenschaftlichen Beirat der Vesuvian Challenge. Wenn die KI-Teams weitere Buchstaben, Zeilen und Spalten entschlüsselt haben, überprüfen die zwölf internationalen Expertinnen und Experten das Ergebnis auf Plausibilität: Handelt es sich tatsächlich um griechische und lateinische Buchstaben und hat die KI die Abfolge der Zeichen so entschlüsselt, wie sie auch tatsächlich geschrieben worden sind? Kilian Fleischer leitet an der Universität Tübingen das DFG-Forschungsprojekt „Die Geschichte der Stoa“. Seit über 15 Jahren beschäftigt er sich mit den Schriftrollen aus Herculaneum und arbeitet dazu mit KI-Forschern zusammen. Dadurch konnte er die genaue Grabstätte Platons in Athen identifizieren: im Garten seiner Akademie nahe dem Schrein der Muses.

PD Dr Kilian Fleischer is a member of the scientific advisory board of the Vesuvian Challenge. Once the AI teams have deciphered further letters, lines and columns, the twelve international experts check the results for plausibility: are they really Greek and Latin letters and has the AI deciphered the sequence of characters as they were actually written? Kilian Fleischer heads the DFG research project “The History of the Stoa” at the University of Tübingen. He has been studying the scrolls from Herculaneum for over 15 years, working together with AI researchers. This enabled him to identify the exact burial site of Plato in Athens: In the garden of his academy near the Shrine of the Muses.



this point, the team trains ink detection AI models on the papyrus, based on distinct patterns that have been isolated through visual inspection.

The winning images can be considered definitive proof of concept – virtually unrolling the Herculaneum scrolls is possible. Although several technical difficulties remain, many of the other unopened scrolls should be virtually unrolled in the near future.

This breakthrough facilitated the funding of phase two of the Vesuvius Challenge, with donors including Elon Musk’s charity, the Musk Foundation. The next objective is to scan more scrolls and to accelerate and standardize the virtual unrolling process.

It is highly possible that dozens of new ancient Greek and Latin texts will emerge over the next few years. We can extrapolate the types of text to expect based on those already unrolled mechanically. As the Greek library was a

special Epicurean library, most of the emerging works should cover topics like ethics, mathematics, music, and the history of philosophy.

Some Stoic literature might appear – and Epicurean texts also often contain lengthy citations from other philosophers or authors, as well as previously unknown historical information.

But the biggest surprises may come from the Latin papyri. We can reasonably hope for historical and poetical Latin works from Rome’s late Republican and early Imperial periods.

There is also the possibility that the virtual unrolling may prompt new excavations at the Villa of the Papyri (phase four of the Vesuvius Challenge). Many researchers believe that another Greek and Latin library – with its all lost masterpieces – has yet to be unearthed.

ZAHLEN BEGREIFEN

GRASPING NUMBERS

TEXT Christoph Karcher
PHOTOS Valentin Marquardt

Zählen und Rechnen mithilfe der Finger ist in uns allen verwurzelt. Das nutzt die Bildungsforscherin Stephanie Rösch, um die mathematischen Fähigkeiten von Kindern gezielt zu fördern.

Using our fingers to count and do arithmetic is rooted in all of us. Educational researcher Stephanie Rösch uses these natural abilities to help develop children's mathematical skills.



DE

Sechs Kinder haben sich in einem Kindergarten in Metzingen um zwei Handschuhe gruppiert, in denen die Hände der Erzieherin Karin Kullen stecken. Die Handschuhe heißen Ed und Ted und sind mit Kuller-
 augen und lachenden Mündern verziert. Ed und Ted spielen regelmäßig mit den fünf- und sechsjährigen Jungs und Mädchen im Vorschulreff. Heute geht es um Addieren und Ergänzen bis zur Zahl Zehn. Aus den Spielen davor wissen die Kinder bereits, dass hinter Zahlen eine Anzahl steckt, also eine konkrete Menge. Und sie haben gelernt, dass sie diese Anzahl mit Fingermengenbildern darstellen können, indem die Finger entsprechend ein- und ausklappen.

Los geht's. Kullen öffnet eine kleine Schatzkiste mit zehn Glassteinchen. Die Kinder würfeln gegen Ed und Ted.

Es geht darum, wie viele Glassteine sie bekommen. Karl, ein blonder Junge, der links von der Erzieherin an dem niedrigen Tisch sitzt, würfelt: Vier und Drei. „Sieben!“, ruft er und zeigt vier Finger seiner linken Hand und drei seiner rechten. Richtig, beziehungsweise fast richtig. Das Fingermengenbild, das Ed und Ted bilden, sieht ein bisschen anders aus. Kullens

Alle Sinne helfen beim Zählen: Kinder fühlen, sehen und hören Zahlen im Forschungsprojekt „Zählen und Finger“.

The senses combine to help with counting: children feel, see and hear numbers on the "Counting and fingers" [Zählen und Finger] research project.

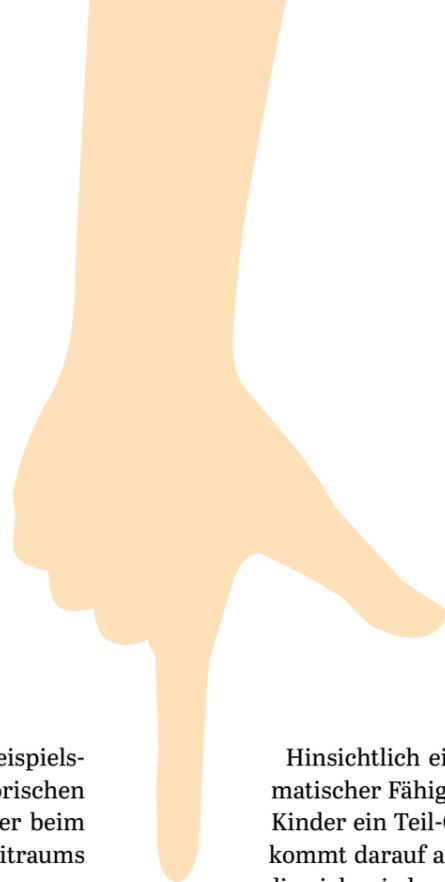
Tipp: „Wenn Du links fünf Finger und rechts zwei nimmst, siehst du die Sieben viel deutlicher.“ Wie auch immer. Die Kinder haben die Runde gewonnen und bekommen sieben Steine aus der Schatzkiste. Wie viele sind jetzt noch drin? Konzentriert strecken und krümmen sich jetzt viele kleinen Fingerchen. Anastasia weiß als Erste das Ergebnis: „Drei!“

Die Zahlenwelt intuitiv verstehen

Dr. Stephanie Rösch beobachtet das Spiel unauffällig aus etwas Abstand. „Hier sehen wir schön, dass Kinder ganz natürlich Finger zum Zählen nutzen. Aber es geht nicht nur darum, wie viele Finger es sind. Wichtig ist es, Fingerbilder zu bilden, um die Zahlenwelt intuitiv zu verstehen.“ Rösch ist Bildungsforscherin am Hector-Institut für Empirische Bildungsforschung der Universität Tübingen. Sie untersucht in ihrem Forschungsprojekt „Finger und Zahlen – Förderung basaler numerischer Fähigkeiten mithilfe der Finger“, wie körperliche Erfahrungen die Entwicklung mathematischer Fähigkeiten bei Kindern beeinflussen. Die Deutsche Forschungsgesellschaft fördert das Projekt für rund fünf Jahre. Im Fokus steht das Zählen und Rechnen mit den Fingern. Das Projekt soll helfen, wirksame Spielanregungen zu entwickeln, mit denen Kindergärten mathematische Fähigkeiten fördern können. Zudem liefert die Studie wissenschaftliche Erkenntnisse darüber, wie Motorik, Sensorik und Mathematik zusammenhängen.

Für ihr Projekt hat Rösch das Förderprogramm mit Ed und Ted ausgearbeitet. Dieses erprobt sie ein halbes Jahr lang in insgesamt 26 Kitas. Nach einem Workshop zur Vorbereitung führen die Erzieherinnen und Erzieher dort die 16 Einheiten mithilfe konkreter Anleitungen selbstständig durch.

Die Studie ist eine sogenannte randomisierte, kontrollierte Interventionsstudie. Diese Art von Studie gilt als „Goldstandard“ in der Forschung, denn einzelne Variablen werden gezielt verändert. So lässt sich genau ihre Wirkung bestimmen. Die teilnehmenden Kitas sind in drei Gruppen unterteilt: Einige Einrichtungen führen das fingerbasierte mathematische Training durch, in zwei Kontrollgruppen üben die Kinder mit einem mathematischen Training ohne Finger beziehungsweise erhalten eine nicht-mathematische sprachliche Förderung. Anhand spezieller Tests wertet



„Fingerbilder“ fördern das intuitive Verständnis von Zahlen und Mengen.

‘Finger pictures’ promote intuitive understanding of numbers and quantities.

Rösch zusammen mit Studierenden dann beispielsweise aus, wie die Förderung die feinmotorischen und mathematischen Fähigkeiten der Kinder beim Zählen und Rechnen während des Projektzeitraums verändert.

„Mit diesem Design ist das die aktuell hochwertigste Erhebung in diesem Bereich. Bisher wurde keine vergleichbare Studie mit ähnlichem Detailgrad veröffentlicht“, so Rösch.

Körperliche und kognitive Prozesse hängen zusammen

Der Ansatz der Bildungsforscherin basiert auf der Theorie der „embodied numerosity“ (verkörperte Numerosität). Diese besagt, dass abstrakte mathematische Konzepte auch aus körperlichen Interaktionen mit der Umwelt entstehen, beispielsweise durch Zählen und Rechnen mit den Fingern und lautes Aussprechen der Zahlen. „Motorische und sensorische Fähigkeiten, Sprache und weitere kognitive Prozesse wirken wechselseitig. Wie Finger und Zahlen genau zusammenspielen, ist aber noch unklar“, erklärt Rösch. „Deshalb untersuchen wir, wie Feinmotorik und Fingergnosie – die Fähigkeit, die eigenen Finger ohne Hinzusehen wahrzunehmen – frühe mathematischen Fähigkeiten beeinflussen.“

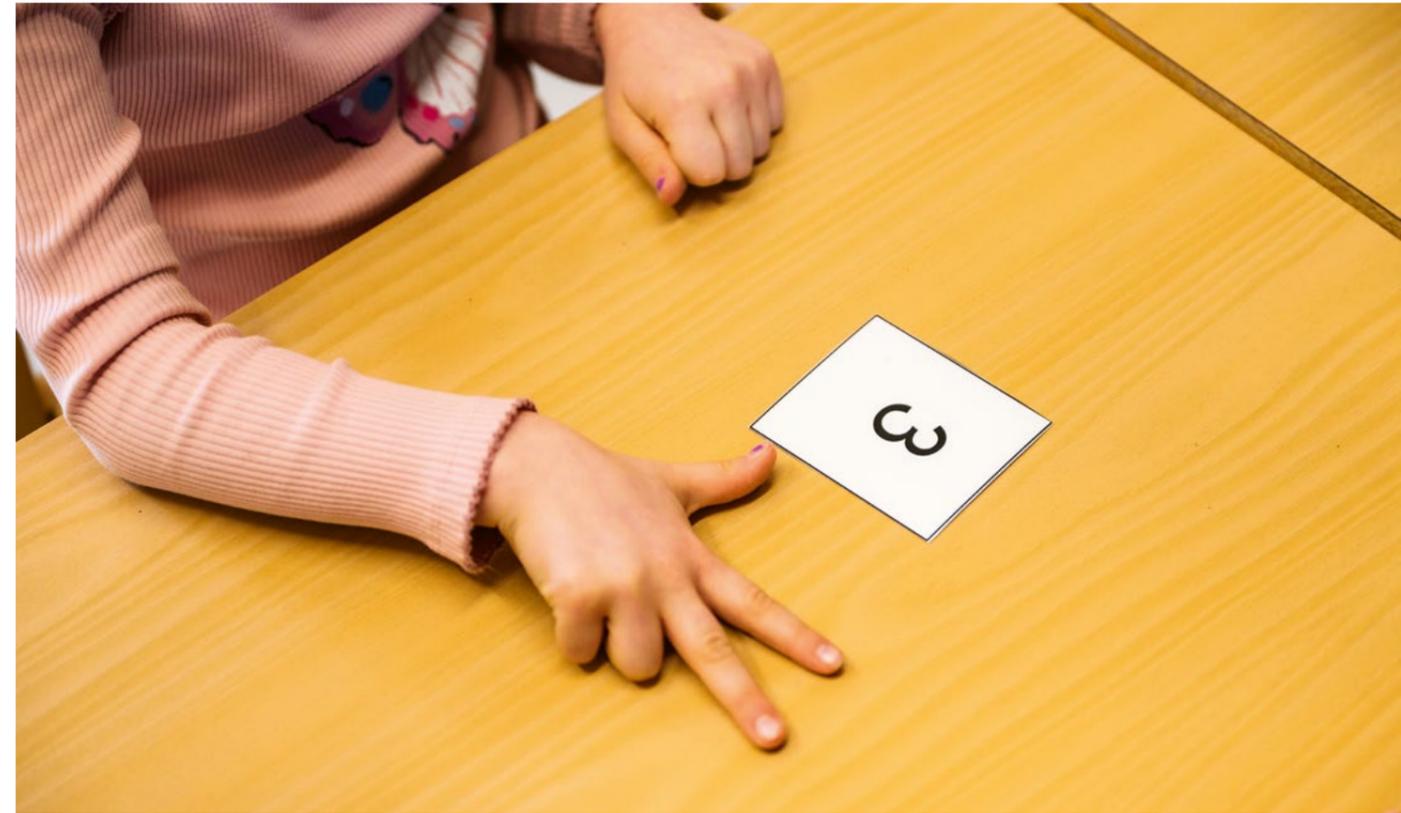


Hinsichtlich einer praktischen Förderung mathematischer Fähigkeiten sei ein Knackpunkt, dass die Kinder ein Teil-Ganzes-Verständnis entwickeln. „Es kommt darauf an, Zahlen als Mengen zu verstehen, die sich wiederum in Teilmengen zerlegen lassen.“

Die Kinder sollen mit allen Sinnen erfassen, wie sich die Zahlen bis zur Zehn zusammensetzen. Das erleichtert es ihnen, eine gute Rechenfähigkeit aufzubauen und vom bloßen zählenden Rechnen wegzukommen.

Rösch veranschaulicht das anhand der Szene, die wir eben beobachtet haben. „Karl hat eine Sieben gewürfelt. Diese lässt sich in die Bestandteile Vier und Drei strukturieren; so, wie es die Würfel gezeigt haben. Karl soll nun aber nicht an einer Hand drei Finger und an der anderen vier ausstrecken, sondern eine bestimmte Fingersystematik nutzen, um die Mengen darzustellen: am Daumen einer Hand beginnend, bis an dieser alle fünf Finger ausgestreckt sind. Dann weiter am Daumen der anderen Hand.“

In den vorangegangenen Spielen hatten die Kinder zunächst gelernt, die Fingermengen erst zählend mit der Handinnenfläche nach oben zu bilden und dann die Handfläche nach unten auf den Tisch zu drehen. Das macht die Anzahl als Ganzes gut wahrnehmbar. Aber jetzt, gegen Ende der Förderung, kennt Karl die Fingermengen schon gut, deshalb muss er sie nicht mehr zählend bilden, sondern kann die entsprechenden Finger auf einmal ausstrecken.



EN

S

ix children are seated around Karin Kullen, an educator at a kindergarten in Metzingen. She is wearing gloves on her hands that are decorated with googly eyes and laughing mouths that the children know as Ed and Ted, the creative duo who regularly play with the five and six-year-old boys and girls in the preschool group. Today they are learning about adding up and determining the difference up to ten. From the games they have already played, the children already know that each number represents a unit. And they have learned that they can represent this number by stretching out their fingers or bending them down.

The fun starts when Kullen opens a small treasure chest with ten glass stones inside. The kids play against Ed and Ted by rolling some dice for the stones. The aim of the game is to win as many glass stones as they can. Karl, a blond boy sitting at the low table to the left of the teacher, rolls the dice: Four and three. “Seven!” he calls, showing four fingers on his left hand and three on his right. He’s almost right. Ed and Ted’s fingers are positioned slightly differently. Kullen explains: “If you take five fingers on the left hand and two on the right hand, you will see the seven much more clearly.” But that’s a moot point. The children have won the round and receive seven stones from the treasure chest. How many are left? As the children concentrate, they stretch and bend their little fingers. Anastasia is the first to call out the result: “Three!”

Understanding the world of numbers intuitively

Dr. Stephanie Rösch watches the game inconspicuously from a distance. “Here we can see that children naturally use fingers to count. But it’s not just about counting how many fingers are shown. It is important to form finger patterns to understand the world of numbers intuitively.” Rösch is an educational researcher at the Hector Research Institute of Education Sciences and Psychology at the University of Tübingen. In her research project “Fingers and Numbers – Training preschoolers in basic numerical skills with fingers”, she investigates how fine motor skills and finger-based strategies influence the development of mathematical skills in preschool children. The German Research Foundation is funding the project for around five years. Researchers will investigate how children count and calculate using their fingers. The project intends to develop effective play suggestions that can be used to promote mathematical skills in preschool settings. Further, the study provides scientific insights into how motor skills, sensory processes and mathematic ability are related.

Rösch uses Ed and Ted to teach numeracy in her development program. She tested this in a total of 26 daycare centers for six months. After a preparatory workshop, the educators teach 16 units at their centers independently following her instructions.

The study is a randomized, controlled intervention study. This type of study is considered the gold standard in research as it



Erzieherin Kullen:
„Die Kinder zeigen
erhöhtes Interesse
an Zahlen.“

Teacher Ms Kullen
says: “The children
display greater
interest in numbers.”

„Das ist der entscheidende Schritt, der zu Beginn nicht einfach ist“, sagt Rösch. „Aber wenn die Kinder die immer gleichen Fingermengenbilder formen, fällt es ihnen am Ende leichter, ein Teil-Ganzes-Verständnis zu entwickeln. Dann reicht ein Blick, um zu erfassen: Sieben besteht aus fünf und zwei ausgestreckten Fingern und von der Sieben fehlen noch drei Finger, bis alle zehn ausgestreckt sind.“

Kinder können sich besser konzentrieren

In der Praxis entfaltet die Methode bereits positive Wirkung. Einige der Kinder, die Zahlen gegenüber gleichgültig waren, zeigen nun großes Interesse, berichtet die Erzieherin Kullen. Auch die Konzentrationsfähigkeit habe sich verbessert. 20 Minuten stillsitzen, wie jetzt am Übungstisch, sei kein Problem mehr. Und: „Die Kinder wenden die Fingerstrategien auch bei anderen Gelegenheiten an, etwa beim Spielen in der Bauecke.“

Kullen und Rösch sind sich einig, dass es allgemein in der Frühpädagogik einen großen Förderbedarf gibt. „In der Vorbereitung auf die Schule bringt jedes Kind seinen eigenen Entwicklungsstand mit. Auch die Unterstützung im Elternhaus ist unterschiedlich“, sagt Kullen. Mit der Fingermethode könne sie jedes Kind individuell dort abholen, wo es steht. „Es ist wirklich spürbar, dass sich die Unterschiede in den mathematischen Grundkompetenzen Zählen, Mengenverständnis und erstes Rechnen angeglichen haben. Das hat einen wichtigen inklusiven Aspekt.“



Rösch hebt hervor: „Ein fingerbasiertes mathematisches Förderkonzept passt auch sehr gut für Kinder mit nicht deutschsprachigem Hintergrund.“

Sind Finger wirklich „nur zum Schreiben da“?

Aber was sagen die künftigen Lehrerinnen und Lehrer zu der Fingermethode? Der verbreitete Satz „Die Finger sind zum Schreiben da, nicht zum Zählen“ richte sich weniger gegen die Finger, sondern gegen das zählende Rechnen, von dem man wegkommen möchte, ordnet Rösch ein. In der Unterrichtspraxis sei es manchmal so, dass die Lehrkraft sehe, wie ein Kind Finger abzählt, und dies verbiete. „Wenn

involves changing specific variables in a controlled way to determine a precise effect. The participating daycare centers are divided into three groups: The institutions in the first group use the finger-based mathematical training and in the other two control groups the children practice mathematical training without fingers or receive non-mathematical spoken instruction. Rösch and her team of students use special tests to determine for example, how children’s fine motor and mathematical skills in counting and arithmetic change depending on the type of instruction during the project period.

“This is currently the highest quality survey in this area thanks to its rigorous design. So far, no comparable study has been published with a similar level of detail,” says Rösch.

Physical and cognitive processes are related

Rösch’s approach is based on the theory of “Embodied Numerosity”. This states that abstract mathematical concepts can also be learned from physical interaction with the environment, for example by counting and calculating using fingers and calling numbers out loud. “Motor and sensory skills, language and other cognitive processes have a reciprocal effect. However, it is still unclear exactly how fingers and numbers interact,” explains Rösch. “That’s why we’re investigating how fine motor skills and finger gnosis, the ability to perceive one’s own fingers without looking, affect early mathematical skills.”

In terms of promoting mathematical skills, a key point is that children develop an understanding of part-whole relationships. “It is important to understand numbers as sets, which in turn can be broken down into subsets.” The children should grasp with all their senses how the num-

bers up to ten are composed. This makes it easier for them to develop good arithmetic skills and to move away from mere counting.

Rösch illustrates this with the scene we have just observed. “Karl rolled a seven. This can be structured into the units four and three; as shown on the dice. However, Karl should not stretch out three fingers on one hand and four on the other but use specific finger sets to represent the quantities: starting with the thumb of one hand until all five fingers are stretched out on it. Then continue on the thumb of the other hand.” In the previous games, the children had first learned to count the finger sets with their palm upwards and then to turn their palm downwards on the table. This makes it easy to perceive the whole number. But now, towards the end of the program, Karl already knows the finger sets well. Therefore, he no longer has to count them but can stretch out the corresponding fingers out at once.

“This is the decisive step that is not easy to take at the beginning,” says Rösch. “But if the children always form the same set of finger patterns, it will be easier for them in the end to understand part-whole relationships. A glance is enough then to recognize: Seven consists of five and two outstretched fingers, and of the seven, three fingers are still missing until all ten are outstretched.”

Children can concentrate better

In practice, the method already has a positive effect. Some children who were indifferent to numbers are now showing great interest, reports Kullen. Their ability to concentrate has also improved. Sitting still for 20 minutes, like now at the exercise table, is no longer a problem. Another interesting



Wenn Handschuh „Ted“ auf Zahlen zeigt, können die Kinder nicht widerstehen.

Children can’t resist joining in when ‘Ted’ the glove points to numbers.



das Kind aber noch keine anderen Strategien und noch kein Mengen- und Teil-Ganzes-Verständnis hat, zählt es dann halt irgendetwas anderes, etwa Stifte.“

Weltweit zählen Menschen mit Fingern

„Unser Ansatz ist nicht, Finger abzuzählen. Sondern wir wollen Zahlstrukturen mit den Fingern transparent machen“, betont sie. Gleichzeitig will sie die Fähigkeit nutzen, die bei jedem Kind intuitiv vorhanden ist: „Fingerzählen ist etwas Natürliches. Kinder – und auch Erwachsene – zählen in den meisten Kulturen mit Fingern. Im deutschen Raum starten wir mit dem Daumen. England startet mit dem Zeigefinger. In manchen anderen Weltregionen beginnen die Menschen mit dem kleinen Finger.“ Ziel sei, ausgehend von diesem Fingergebrauch nicht das Zählen weiterzuführen, sondern das bildhafte Teil-Ganzes-Verständnis zu fördern.

Davon, dass Finger ein effektives Hilfsmittel sind, ist sie überzeugt. „Der große Vorteil aus wissenschaftlicher Sicht ist, dass beim Fingerrechnen der motorische und sensorische Prozess mit dem Inhalt übereinstimmt. Wenn Karl die Zahl Vier darstellt, streckt er in einer natürlichen Bewegung vier Finger aus. Wenn er dazu die vier Finger auf den Tisch tippt, die Finger anschaut und die Zahl Vier ausspricht, ist das eine multisensorische Einheit!“ Dagegen erfordere ein klassischer Rechenrahmen etwa mit Perlen eine Wischgeste an etwas Fremdem und damit einen Umweg. Und nicht zuletzt hat ihre Methode ein ganz praktisches Argument auf ihrer Seite: „Die Finger hat man immer dabei!“

DAS PROJEKT: „FINGER UND ZAHLEN – FÖRDERUNG BASALER NUMERISCHER FÄHIGKEITEN MITHILFE DER FINGER“

Dr. Stephanie Rösch leitet das Projekt am Hector-Institut für Empirische Bildungsforschung an der Universität Tübingen. Das Projekt mit einer Laufzeit von Juni 2020 bis Februar 2025 erforscht die Entwicklung mathematischer Basiskompetenzen bei Vorschulkindern mit dem Ansatz der „embodied numerosity“, wonach körperliche und sensorische Erfahrungen und die Entwicklung mathematischer Fähigkeiten zusammenhängen. Insgesamt nehmen 26 Kindertagesstätten an der Studie teil. Die ersten Ergebnisse der Studie werden voraussichtlich Ende 2024 veröffentlicht.

ABOUT “FINGERS AND NUMBERS – TRAINING PRESCHOOLERS IN BASIC NUMERICAL SKILLS WITH FINGERS”

The project is led by Dr. Stephanie Rösch at the Hector Research Institute of Education Sciences and Psychology at the University of Tübingen. It runs from June 2020 to February 2025 and explores the development of basic mathematical skills in preschool children using the “Embodied Numerosity” approach which suggests that physical and sensory experience and the development of mathematical skills are related. A total of 26 daycare centers are participating in the study. The first results of the study are expected to be published by the end of 2024.

”

Einige der Kinder, die Zahlen gegenüber gleichgültig waren, zeigen nun großes Interesse. 20 Minuten stillsitzen ist kein Problem mehr.

Some children who were indifferent to numbers are now showing great interest. Sitting still for 20 minutes is no longer a problem.

“

observation was also made: “The children also use the finger strategies on other occasions, such as playing in the play area.”

Kullen and Rösch agree that there is a great need for support in preschool education in general. “In preparing for school, each child brings their own level of development. Support at home also varies,” says Kullen. With the finger method, she can help each child individually wherever they are in their learning. “It is evident that differences in the basic mathematical skills, counting, understanding quantities and basic arithmetic have converged in the group. This has an important inclusive aspect.” Rösch emphasizes: “A finger-based mathematical support concept is also very suitable for children who are less capable of understanding the teaching language.”

Are fingers really “just for writing”?

But what do future teachers say about the finger method? Although we often hear that fingers are for writing, not for mathematics, Rösch explains that this is intended to discourage counting to solve arithmetic exercises. Sometimes teachers will stop children counting with their fingers. “But if the child does not yet have any other strategies or has not developed an understanding of sets and part-whole relationships, they will just count with something else like pens.”

People count using their fingers all over the world

“Our approach is not to count with fingers. Instead, we want to understand number structures with our fingers,” she emphasizes. At the same time, she wants to use the children’s intuitive abilities: “Finger counting is a natural



ability. Children – and adults – count with fingers in most cultures. In Germany, we start with our thumbs. English schoolchildren start with the index finger. In some other regions of the world, people start with the little finger.” The aim is not to continue the tradition of counting with fingers but to promote a visual understanding of part-whole relationships.

Rösch is convinced that fingers are an effective tool. “The big advantage from a scientific point of view is that the motor and sensory process coincides when people calculate with their fingers. When Karl represents the number four, he stretches out four fingers in a natural movement. If he taps the four fingers on the table, looks at the fingers and pronounces the number four, this is a multi-sensory unit.” On the other hand, moving beads on an abacus requires a swiping movement which is distracting. Finally, Rösch’s method has a very practical argument on its side: “You always have your fingers with you!”



Raus aus dem Haus und rein ins
free floating

Mich kannst du im ganzen COONO-Gebiet mieten und abstellen – ohne festen Stellplatz!

Alle Infos unter
COONO-SHARING.de



www.klocke.com

Wir suchen:

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

1. die Qualitätskontrolle
2. das Qualitätsmanagement

QUALIFIKATION:

Student/in des Studiengangs
Verfahrenstechnik, Biotechnologie
oder ähnlicher Studiengang



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

„NICHT JEDER KLUGE KOPF IST EIN

PATENTANWALT (m/w/d),

ABER JEDER PATENTANWALT IST EIN KLUGER KOPF“

Wenn auch Sie ein solcher werden wollen,
bewerben Sie sich unter
bewerbung@gleiss-grosse.com

Gleiss & Große
INTELLECTUAL PROPERTY

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



• Errichter
@EMA @BMA @SAA



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



DAS GLYPHOSAT-RÄTSEL

THE GLYPHOSATE PUZZLE

TEXT Carolin Huhn
PHOTOS Tilman Wörtz

Regen wäscht das Herbizid Glyphosat aus Äckern – so erklärten sich Umweltbehörden und Wissenschaftler lange den Stoff in unseren Gewässern. Bis Professorin Carolin Huhn und Kollegen einen weiteren wichtigen Ursprung der Substanz ausfindig machten.

Scientists have long explained the presence of the herbicide glyphosphate in our water to have been washed from fields by strong rain. But Professor Carolin Huhn and her team have now discovered another important source of the substance.

Die blitzende Oberfläche von Boden und Gerätschaften täuscht: Im Labor von Professorin Carolin Huhn wird Klärschlamm untersucht.

The gleaming surfaces of the floor and equipment are deceptive: in Professor Carolin Huhn's laboratory they study sludge.

DE

Im Sommer 2022 waten wir mit Schaufeln und Probengefäßen in Flüssen rund um Tübingen, robben über Holzbretter zum Schlamm des abgelassenen Anlagensees und schaufeln von dessen schlammigem Grund erste Proben. Wir wollen wissen, was mit Glyphosat passiert, das durch Regen aus Feldern gewaschen wird. Wo lagert sich der Stoff ab? Die Messungen anschließend im Labor überraschen uns: Einige Flusssedimente enthalten so viel Glyphosat wie Ackerböden ein paar Tage nach dem Versprühen des Unkrautvernichtungsmittels.

Sind die Sedimente im Seegrund also ein Speicher für Glyphosat? Wir wollen tiefer bohren und entnehmen weitere Sedimentkerne. Diesmal nehmen wir die Paläontologin Annett Junginger mit. Sie datiert die Sedimentkerne. Nun sind wir verblüfft: Wir sehen Glyphosat über den gesamten Kern, dessen Ende bis in die 1960er-Jahre reicht – in eine Zeit, als die Substanz noch gar nicht zugelassen war. Ist es über die Jahre tatsächlich so tief nach unten gesickert?

In diesen Schichten hätten wir so viel Glyphosat nicht erwartet. Auch sonst passen die Konzentrationen so gar nicht zu den Verkaufszahlen des Herbizids in der Landwirtschaft. Ebenso erstaunlich ist, dass wir über den gesamten Bohrkern das wichtigste Abbauprodukt von Glyphosat, die Aminomethylphosphonsäure, kurz AMPA, in noch viel höheren Konzentrationen feststellen können. Wie kommen die beiden Substanzen dorthin?

Um das Ganze besser zu verstehen, wende ich mich an die Landesanstalt für Umwelt in Baden-Württemberg und frage nach Daten zu Glyphosat und AMPA, idealerweise aus dem benachbarten Neckar. Seit 2004 finden monatliche Messungen an mehreren Punkten im Neckar statt. Das ist für Glyphosat beeindruckend, denn der Stoff kann nur durch eine Spezialanalytik nachgewiesen werden.

Wenn ich die Daten auftrage, sieht man eine ausgeprägte Saisonalität über fast zwanzig Jahre. Jedes Jahr steigen die Glyphosatkonzentrationen in den Monaten April und Mai an, erreichen ein Maximum im späten Som-

mer, um ab Oktober wieder zu sinken. Im Winter sind die Konzentrationen niedrig. Aber wie kann das sein? Der Anstieg im Frühjahr ist noch zu erwarten aus den Vorsaat-anwendungen der Landwirtschaft um diese Zeit. Aber warum gehen die Konzentrationen im Herbst, in der Haupteinsatzzeit von Glyphosat, wenn alles abgeerntet ist und nur noch Stoppel auf den Feldern stehen, wieder runter? Und warum sind sie den Winter hindurch immer noch messbar, obwohl dann eigentlich kein Herbizid mehr gespritzt wird?

Für uns Chemikerinnen und Chemiker noch erstaunlicher: AMPA und Glyphosat kommen über die gesamte Zeit in einem fast gleichen Verhältnis vor. Das ist bei dem unterschiedlich schnellen Abbau der beiden Stoffe, den wir in unseren Arbeiten in landwirtschaftlichen Böden bereits nachgewiesen hatten, kaum zu erwarten. Auf der Suche nach Antworten sehe ich, dass die Daten einer Messstelle in Mannheim fast identisch sind.

Ich nehme an einem Workshop in Tübingen zur Kontamination von Ackerböden teil. Und werde auf einen neuen Gedanken gebracht: Was, wenn das Glyphosat immer da ist, weil es ständig neu gebildet wird? Gemeinsam mit seinem Abbauprodukt AMPA aus einem gemeinsamen Vorläufer? Für eine Chemikerin ein logischer Gedanke. Ich erinnere mich nun auch an Studien, die für AMPA eine andere Quelle kennen: Aminopolyphosphonate, die unter anderem in Waschmitteln genutzt werden. Könnte daraus auch Glyphosat entstehen? Chemisch verwandt sind sie.

Ich schreibe an meinen Kollegen Professor Stefan Haderlein vom Zentrum für Angewandte Geowissenschaften. Seine Antwort: „Steile Hypothese, aber nicht unplausibel.“ Unsere Taskforce Glyphosat hat nun zwei Untersuchungsansätze: zum einen weiter in Gewässerdaten schauen, zum anderen die Laborarbeit.

Über Kontakten zu Behörden erhalten wir einen größeren Datensatz aus Deutschland. Es wird schnell klar, dass die ausgeprägte Saisonalität, die so gar nicht zum Einsatz von Glyphosat passt, in fast allen größeren und



Proben aus Flüssen um Tübingen führten zum Anfangsverdacht: Glyphosat in unseren Gewässern stammt nicht nur aus der Landwirtschaft!

Samples from rivers around Tübingen gave rise to a suspicion: the glyphosate in our waterways doesn't just come from agriculture!

kleineren Flüssen vorkommt. Das gleiche Bild in einem riesigen Datensatz aus Frankreich, später kommen Daten aus Luxemburg, Italien, den Niederlanden, Großbritannien und Schweden hinzu. Überall das gleiche Bild, obwohl die Landnutzung so unterschiedlich ist.

Dr. Marc Schwientek, Hydrologe an der Universität Tübingen, der uns bereits bei der Probenahme geholfen hat, schaut sich die Gewässerdaten mit seiner langjährigen Erfahrung an und bestätigt: Die Saisonalität entsteht aus dem Eintrag aus einer Punktquelle wie einer Kläranlage. Es ist eigentlich ein etwa konstanter Eintrag über das gesamte Jahr hinweg – die Saisonalität entsteht allein aus der niedrigeren Verdünnung im Sommer, wenn Flüsse wegen Verdunstung weniger Wasser führen.

Wir vergleichen nun in einer akribischen Kleinarbeit die Eintragungsmuster von Glyphosat und AMPA mit denen anderer Herbizide aus der Landwirtschaft, aber auch mit denen von Abwassermarkern wie Pharmazeutika. Carbamaze-

...

”

Die Saisonalität entsteht aus dem Eintrag aus einer Punktquelle wie einer Kläranlage. An einigen Messstellen gibt es sogar klare Hinweise auf Haushalte als Quelle.

The seasonal trend arises from an entry point such as a sewage treatment plant. At some measuring points, there are even clear indications of households as a source.

“

EN

In the summer of 2022, we waded with shovels and sampling tubes into rivers around Tübingen, crawl over wooden boards that have been laid over a drained lake and shovel sediment samples from its muddy bottom. We want to know what happens to glyphosate washed from fields by rain. Where do deposits form? We are surprised by the laboratory analysis: Some sediment samples contain as much glyphosate as farmland a few days after spraying the herbicide.

Could the sediment in the lakebed form a reservoir for glyphosate? We want to drill deeper and extract further sediment cores. This time we take palaeontologist Annett Junginger with us for sampling. She also arranged dating the sediment cores. Now we are puzzled: We find glyphosate at high concentrations all over the core dating back to the 1960s – to a time when the substance was not even approved. Has it really seeped down that deep over the years?

We would not have expected so much glyphosate in these layers. The concentrations also don't match the sales figures for the herbicide in agriculture. It is equally astonishing that we can detect the most important degradation product of glyphosate, aminomethylphosphonic acid, AMPA for short, in much higher concentrations throughout the core. How do both substances get there?

To understand the conundrum, I turn to the State Institute for the Environment in Baden-Württemberg and ask for data on glyphosate and AMPA, ideally from the neighboring Neckar. Monthly measurements have taken

place at several points in the Neckar since 2004. This is impressive for glyphosate as it can only be detected by special analysis.

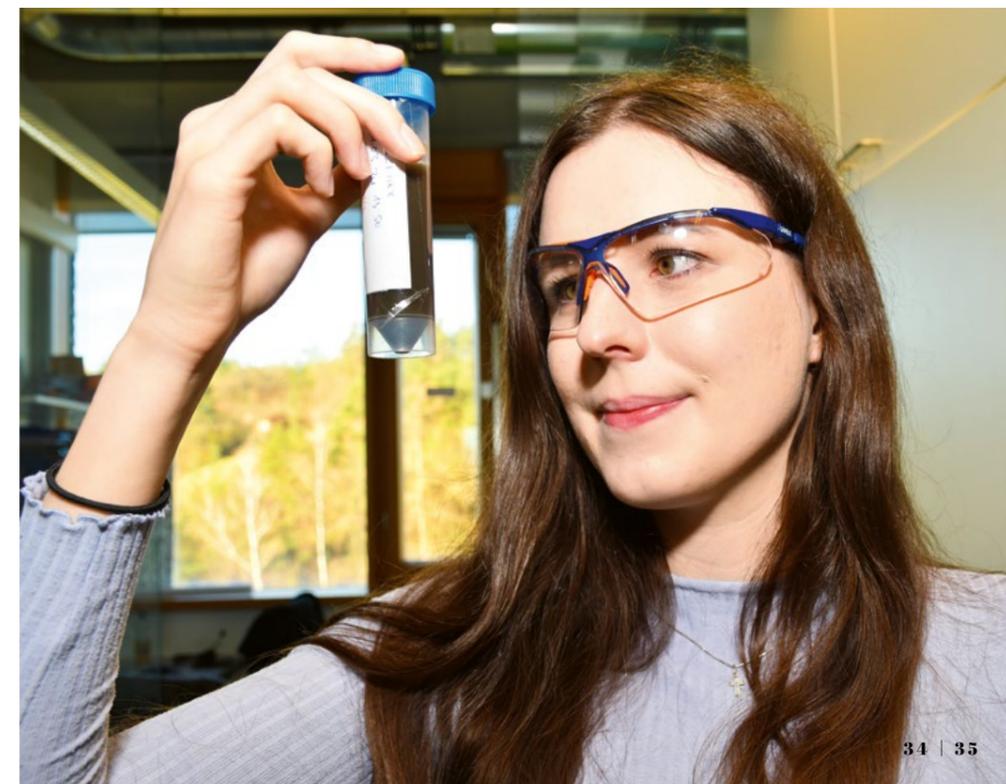
When I receive the data, I see a clear seasonal trend over almost 20 years. Every year, glyphosate concentrations rise in April and May, reaching a maximum in late summer, and fall again from October. Concentrations are low in winter. But how can this keep on happening? The increase in spring could be expected from preparing the seedbeds around this time. But why do the concentrations go down again in autumn, during the main period of glyphosate use, when harvesting is over and only stubble remains in the fields? And why are they still measurable throughout the winter when herbicides are not sprayed?

AMPA and glyphosate occur in almost the same ratio over the entire time, which is even more surprising for us chemists. This is hardly to be expected with the different rates of degradation of the two substances, which we had already demonstrated in our work on agricultural soils. Looking for answers, I see that the data from a measuring station in Mannheim are almost identical.

I attend a workshop in Tübingen on the contamination of arable soils. It makes me think: What if the glyphosate and its degradation product AMPA are produced anew from another substance? A logical thought for a chemist. I now recall studies that mention another source for AMPA: Aminopolyphosphonates, which are used in detergents, among other things. Could these also be producing the glyphosate? They are chemically related.

Nur mit Deckel zu ertragen: Klärschlamm im Labor.

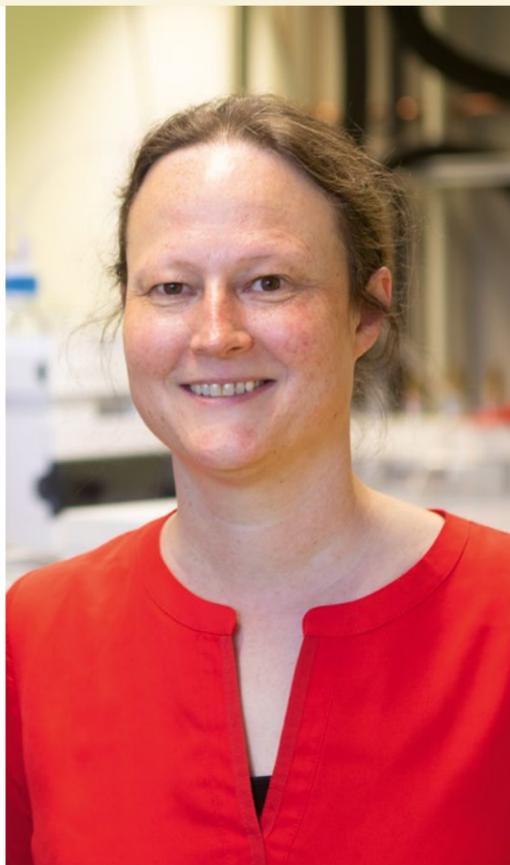
Only bearable when covered: sludge in the laboratory.



Die Auflösung des Glyphosat-Rätsels hat **Professorin Carolin Huhn** gemeinsam mit Professor Stefan Haderlein im Sommer 2024 zuerst auf einem Preprint-Server veröffentlicht, damit Behörden rasch auf die Ergebnisse zugreifen konnten. In der Zwischenzeit ist der erste Beitrag auch von unabhängigen Forscherinnen und Forschern begutachtet und im Fachjournal *Water Research* erschienen.

Professor Carolin Huhn and Professor Stefan Haderlein first published the solution to the glyphosate puzzle on a preprint server in the summer of 2024 so that authorities could quickly access the results. In the meantime, the first article has also been reviewed by independent researchers and published in the journal *Water Research*.

PHOTO: Friedhelm Albrecht



pin zum Beispiel wird das ganze Jahr als Antiepileptikum eingesetzt und in der Kläranlage schlecht abgebaut. Es zeigt in einem Gewässer also klar die Bedeutung von Abwassereinträgen an.

Und tatsächlich: In Europa ist die Ähnlichkeit des Eintrags von Glyphosat und AMPA mit Kläranlagenstoffen unverkennbar. An einigen Messstellen gibt es sogar klare Hinweise auf Haushalte als Quelle.

Wie sieht es im Labor aus? Unser Verdacht fällt auf DTPMP, wie Glyphosat ein Phosphonat, mit dem langen Namen Diethylenetriaminpentakis(methylenphosphonsäure). Der Stoff wird heute in Wasch- und Reinigungsmitteln im Haushalt und in der industriellen Reinigung eingesetzt, aber auch in der Textil- und Papierindustrie und der Trinkwassergewinnung. Auf dem Papier stimmt die Chemie – aber bestätigt er sich der Verdacht im Labor?

Zu den Phosphonaten ist erstaunlich wenig bekannt. Nach vielen Recherchen schätzen wir die eingesetzte Menge DTPMP in Deutschland pro Jahr vorsichtig auf 1.500 bis 2.500 Tonnen. Wie alle Phosphonate gilt auch DTPMP als kaum biologisch abbaubar. Für die Umwandlung in andere Stoffe wird meist die Photolyse durch Sonnenlicht genannt. Wir untersuchen diese Möglichkeit kurz, verwerfen sie aber wieder, da der Abbau hierbei zu langsam vonstatten geht. Wir experimentieren weiter. Glyphosatbildung aus DTPMP sehen wir dann zum ersten Mal in einer Reaktion mit Mangandioxid, das Bestandteil vieler Minerale ist. Die Gruppe von Stefan Haderlein hat Erfahrungen mit Phosphonaten und ihnen gelingt dieser

Nachweis im Labor. Der erste Schritt ist geschafft: Es ist eine Beziehung hergestellt zwischen DTPMP und Glyphosat in einer Reaktion, wie sie in der Natur vorkommen kann.

Wir Chemiker dagegen wechseln vom Acker in die Kläranlage. Wir geben DTPMP in Klärschlamm und beobachten über einige Tag gespannt, was sich tut. Und tatsächlich: Es entstehen Glyphosat und AMPA in einem relativ konstanten Verhältnis, wie wir es auch in den Gewässerdaten beobachtet haben. Und das nicht nur in einem einzigen Experiment, sondern in allen, die wir durchführen. Es sind nur kleine Mengen, die entstehen – unter einem Prozent – aber grobe Hochrechnungen für ganz Deutschland ergeben bereits relevante Mengen. Die Ergebnisse zeigen auch, dass nicht Bakterien DTPMP umwandeln, sondern chemische Prozesse, die vermutlich durch Mangandioxid getriggert werden. Der Beweis ist eindeutig erbracht, viele wichtige Puzzlesteine sind gefunden und eingebaut. Das große Bild wird sichtbar, die Lücken werden wir hoffentlich in den nächsten Jahren schließen. Und wir sind gespannt, wie Bürger, Politik und Industrie reagieren werden.

Für Laien rätselhaft, für Chemiker logisch: Glyphosat (unten) kann sich aus dem recht ähnlichen Phosphonat DTPMP (oben) bilden, das auch als Zusatz in Waschmitteln verwendet wird.

Baffling to lay people, logical to chemists: glyphosate (below) can form from the extremely similar phosphorus DTPMP (above), which is also used as an additive in detergents.

GRAPHIC: Daniela Leitner

I write to my colleague Professor Stefan Haderlein from the Center for Applied Geoscience. His answer: “Perhaps far-fetched but not implausible.” Our glyphosate task force now has two investigative approaches: We continue looking at river water data and start our laboratory work.

We receive a larger data set for Germany via contacts with authorities. It quickly becomes clear that the seasonal trend, which does not at all correspond to the use of glyphosate, occurs in almost all larger and smaller rivers. We see the same picture emerging from a huge dataset from France and later examine data from Luxembourg, Italy, the Netherlands, the United Kingdom and Sweden. Everywhere we look, it's the same story, although the land use is so different.

Dr. Marc Schwientek, hydrologist at the University of Tübingen, who also helped us with the sampling, looks at the water data with his many years of experience and confirms: The seasonal trend arises from an entry point such as a sewage treatment plant. The entry remains approximately constant throughout the year and changes seasonally during the lower dilution in summer, when rivers carry less water due to evaporation.

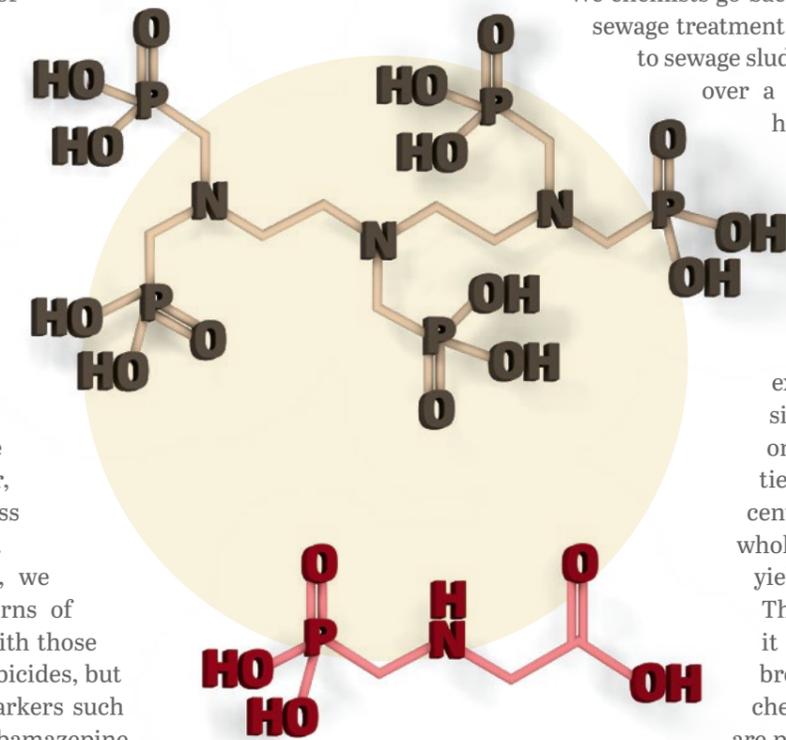
In meticulous detail, we now compare the patterns of glyphosate and AMPA with those of other agricultural herbicides, but also with wastewater markers such as pharmaceuticals. Carbamazepine, for example, is used all year round as an anti-epileptic and is poorly degraded in sewage treatment plants. It therefore clearly indicates the significance of wastewater inputs in a body of water.

And indeed: In Europe, the similarity of glyphosate and AMPA entry with sewage treatment plant substances is unmistakable. At some measuring points, there are even clear indications of households as a source. Meanwhile back in the laboratory: Our suspicion falls on DTPMP, a phosphonate like glyphosate, with the long name diethylenetriamine pentakis(methylene phosphonic acid). Today, the substance is widely used in household detergents and cleaning agents and in industrial cleaning, but also in the textile and paper industry and in the production of drinking water. On paper, the chemistry is right – but can it be confirmed in the laboratory?

Astonishingly little is known about phosphonates. After much research, we cautiously estimate the amount of DTPMP used in Germany per year at 1,500 to 2,500 tons. Like all phosphonates, DTPMP is hardly biodegradable. Photolysis by sunlight is often investigated to understand its transformation to other substances. We consider this option briefly, but reject it again, as the transformation process is too slow. We continue to experiment and find glyphosate formation from DTPMP for the first time in a reaction with manganese dioxide, which is a component of many minerals: Stefan Haderlein's group has experience with phosphonates and they succeed in this proof. The first step has been taken: We have established a relationship between DTPMP and glyphosate in a reaction that can occur in nature.

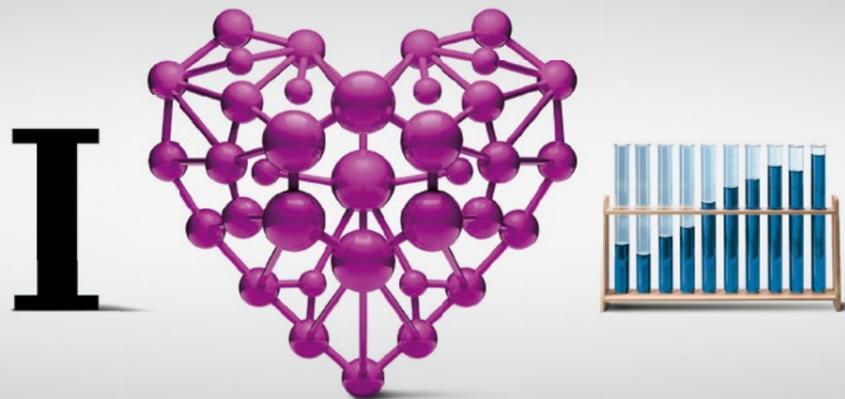
We chemists go back out into the field to a sewage treatment plant. We add DTPMP to sewage sludge and watch anxiously over a few days to see what happens. And indeed: Glyphosate and AMPA are produced in a relatively constant ratio, as we have also observed in the river water data. And not just in a single experiment, but in every single one. Although we only find small quantities, less than one percent, projections for the whole of Germany already yield relevant quantities. The results also show that it is not bacteria that break down DTPMP but chemical processes that are presumably triggered by manganese dioxide. Now we

have significant proof and many pieces of the puzzle have been discovered and put into place. The bigger picture is now more visible and we will hopefully close the remaining gaps in the next few years. And we are curious to see how citizens, politicians and industry will react.



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



JUNG-MARTY/Necklar



AOK@Campus Gesund studieren

Jetzt noch näher: Keplerstraße 1, 72074 Tübingen



Austausch & Netzwerken



AOK Infos & Beratung



Prävention & Gesundheit

GESUNDNAH

AOK Baden-Württemberg
Die Gesundheitskasse.

Kostenfreie Angebote für alle Studenten!



Über Uns

Das Klinikum Friedrichshafen ist Lehrkrankenhaus der Eberhard Karls Universität Tübingen und gehört gemeinsam mit der Klinik Tettnang zum kommunalen Klinikverbund "Medizin Campus Bodensee". Während deines PJ's werden dir hier viele verschiedene Möglichkeiten geboten.

www.medizin-campus-bodensee.de

@medizincampusbodensee

Leonie Hörmann

(+49) 7541 96 1803

DEIN PJ AM MEDIZIN CAMPUS BODENSEE

Deine Abteilungen:

- Allgemein- und Viszeralchirurgie
- Unfallchirurgie und Endoprothetik
- Intensivmedizin und Anästhesiologie
- Gefäßchirurgie
- Innere Medizin
- Frauenheilkunde
- Pädiatrie

Deine Benefits:

- Fortbildungsmöglichkeiten
- Leben und Arbeiten in der facettenreichen Vier-Länderregion am Bodensee
- Aufwandsentschädigung (300€)
- Wohnzuschuss in Höhe von 338€ monatlich
- Studientage nach Absprache
- direkte Anbindung an den ÖPNV
- Modernste medizinische Ausstattung, z.B. der DaVinci-Roboter

Folge deinem Herzverstand



#MedizinmitHerzverstand



Deutsches Rotes Kreuz

DRK-Kreisverband Tübingen e. V.

„Meine Mutter weiß genau: Wenn sie Hilfe braucht, tue ich alles, was ich kann. Aber im akuten Notfall? Da kann das Rote Kreuz einfach mehr. Und das weiß sie ja auch. Es ist also eigentlich nicht ihr, sondern unser Hausnotruf. Er macht uns beide sicherer.“

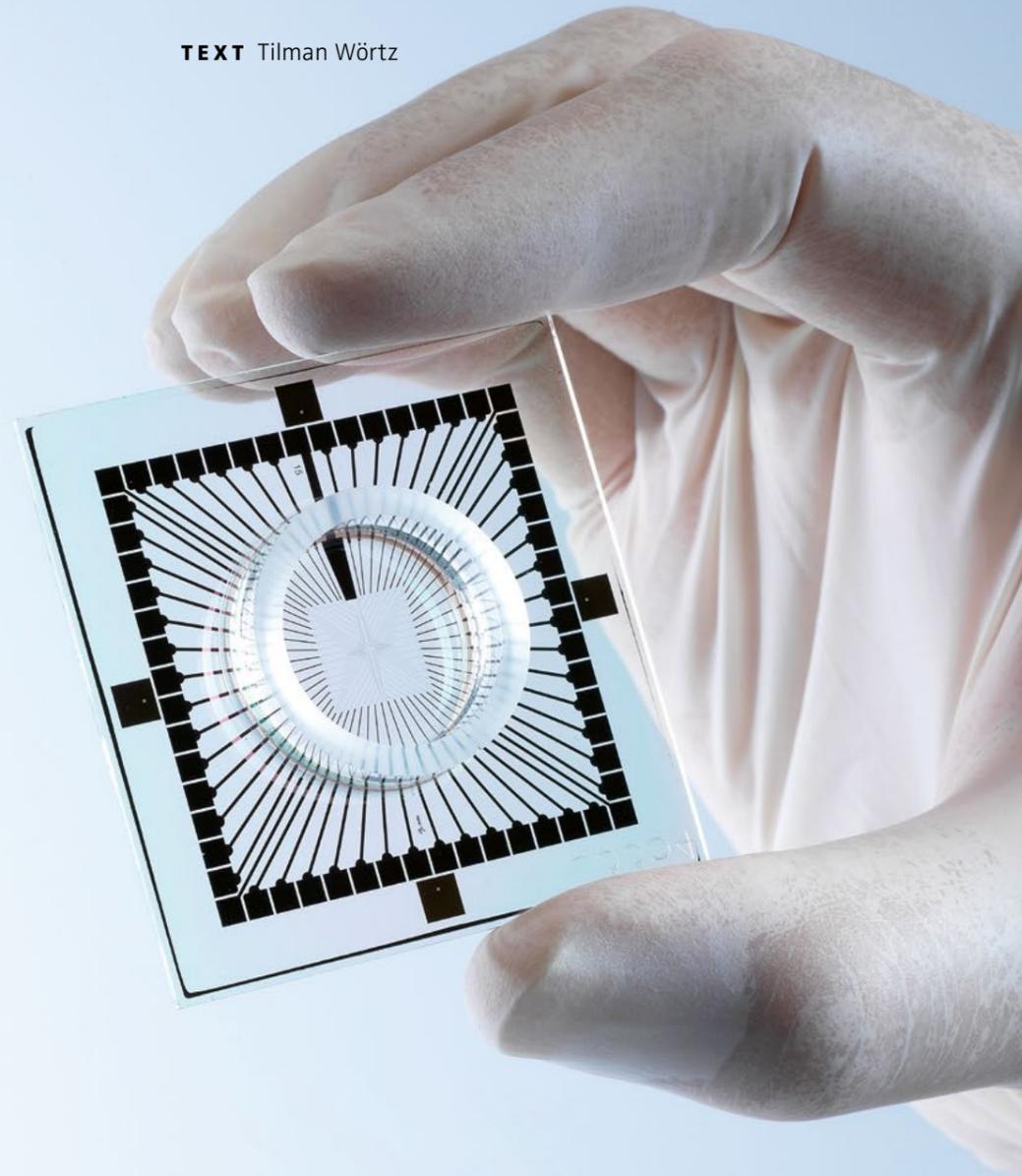
Hausnotruf. Bunter, sicherer, unbeschwerter.

Steinlachwasen 26 · 72072 Tübingen · Tel.: 07071 7000-39
hausnotruf@drk-tuebingen.de · www.DRK-tuebingen.de

ZELLEN BEI DER ARBEIT ZUHÖREN

LISTENING TO CELLS AT WORK

TEXT Tilman Wörtz



Peter Jones und Udo Kraushaar testen Wirkstoffe an einzelnen menschlichen Zellen. Der eine entwickelt dafür miniaturisierte Test-Chips, der andere wendet die Chips im Experiment an. Die Methode trägt dazu bei, die Zahl von notwendigen Tierversuchen vor der Zulassung von Medikamenten deutlich zu reduzieren.

Peter Jones and Udo Kraushaar test pharmaceutical compounds on individual human cells. Jones develops the miniaturized chips which are used by Kraushaar in his experiments. The method helps to significantly reduce the number of animal experiments required before drugs are approved.

DE

Menschliche Herzmuskelzellen zucken rhythmisch unter dem Mikroskop. Sie liegen wie ein 3D-Mini-Herz auf einem Chip, einem sogenannten Mikroelektrodenarray (MEA). Alle paar Sekunden ziehen sich die Herzmuskelzellen zusammen, werden kleiner, wieder größer. Alle gleichzeitig. Regelmäßig. Winzige Elektroden messen ihre Entladung.

Dabei möchte Dr. Udo Kraushaar sie ein wenig durcheinanderbringen, gibt Substanzen zu den Zellen und schaut, ob sie dann immer noch regelmäßig zucken. Oder ihren Rhythmus verlieren. Oder ganz aufhören zu pulsieren. Ein Bildschirm zeigt die Entladung der Zellen in Kurven. Wie ein EKG.

Udo Kraushaar möchte die Herzzellen lieber jetzt durcheinanderbringen, als dass „irgendwann mal jemand vom Fahrrad fällt, weil er oder sie eine Kopfschmerztablette nicht verträgt“, sagt er. Das Beispiel ist nicht fiktiv: Kraushaar testet mögliche Nebenwirkungen von neuen Substanzen auf Organoiden des menschlichen Herzens und vieler weiterer Organe und hilft, ungeeignete Kandidaten für ein neues Medikament auszusortieren.

Wenn ein Pharmaunternehmen ein neues Mittel entwickeln möchte, fängt es mit hundert- bis zweihunderttausend Substanzen an und reduziert systematisch die Zahl der Wirkstoffe auf die vielversprechendsten Kandidaten. Wenn noch ungefähr fünfzig bis hundert übrig sind, kommen Udo Kraushaar und sein Team ins Spiel.

So ein Organoid sieht aus wie ein kleiner weißer Klumpen, immerhin so groß, dass er mit dem bloßen Auge auf dem Mikroelektroden-Chip unterm Mikroskop zu erkennen ist. Um die Zellen für die Entstehung von Herz-Organoiden zu erhalten, mussten zuvor einmalig per Biopsie einer oder einem Freiwilligen Zellen aus der Haut entnommen und auf dem Umweg über adulte Stammzellen zu Herzmuskeln weitergezüchtet werden. Die Zellen

verhalten sich erwartungsgemäß: Sie ziehen sich zusammen und dehnen sich wieder aus. Wie ein Herz.

In dieser Phase der Medikamentenentwicklung sind üblicherweise bereits zwischen fünf und zehn Jahre vergangen. Erst wenn nur noch zwei bis fünf Wirkstoff-Kandidaten übrig sind, beginnt die klinische Phase, also der Test am Menschen selbst. „Wenn ein Pharmaunternehmen eine Substanz in die klinische Phase gibt und scheitert – dann sind eine Milliarde Euro futsch“, sagt Udo Kraushaar. Deshalb sortiert er vor. Auch Tierversuche finden vor der klinischen Phase statt. Die Experimente von Kraushaar jedoch sind näher an der Physiologie des Menschen und reduzieren die Notwendigkeit von Tierversuchen.

Die genaue Messung der Entladung – die sogenannte „Potenzialmessung“ – kann Kraushaar nur vornehmen, weil die Zellen auf einem Chip mit Mikroelektroden liegen. Unter dem Mikroskop sind sie ungefähr so groß wie eine Zelle und gleichmäßig im Zentrum der Platine verteilt. Von dort führen 60 elektrisch leitende Bahnen in gleichmäßigen Strahlenmustern in ein größeres Viereck, dessen Seitenlinien sich aus kleinen viereckigen Kontakten zusammensetzen. Hier wird der Stromstoß aus der Zelle abgenommen und verstärkt.

„Wir hören einzelnen Zellen zu“, sagt Kraushaar, „und Gruppen von Zellen und verstärken ihre Signale zu einem Konzert.“ Er schiebt mit dem Cursor am Bildschirm einen Regler nach rechts. Nun sind die Zuckungen des Herz-Organoids als rhythmisches Rauschen zu hören.

Die Herstellung der Mikroelektroden-Chips ist Maßarbeit. Sie findet vier Stockwerke tiefer im NMI Naturwissenschaftlichen und Medizinischen Institut an der Universität Tübingen in Reutlingen statt. Der Name des Instituts ist kompliziert, erklärt sich aber aus der Verbindung von Grundlagenforschung, die durch die Kooperation sehr oft mit der Universität Tübingen stattfindet, und der anwendungsbezogenen Forschung in der Nähe zur Industrie am Standort Reutlingen und weit darüber hinaus.

In seinem Labor im ersten Stockwerk stellen der Ingenieur Dr. Peter Jones und sein Team die Mikroelektrodenarrays her. Zuerst beginnen sie mit einem Glassubstrat, auf das sie mehrere Schichten nacheinander aufbringen und strukturieren. Die erste Schicht ist leitfähig, typischerweise

Dieser Mikrochip kann über 60 Elektroden die Entladung von Zellen messen.

This microchip can measure the discharge of cells via 60 electrodes.

PHOTO: NMI





aus Titan oder dem transparenten Leiter ITO (Indiumzinnoxid), und bildet die Verbindungen zu den Mikroelektroden. Als zweite Schicht folgt eine isolierende Schicht, meist aus Siliziumnitrid, die die Leiterbahnen abdeckt. Der Isolator wird dann im Bereich der Mikroelektroden geöffnet, indem winzige Löcher präzise geätzt werden. Je nach Anwendung haben die Löcher einen Durchmesser von 10 bis 30 Mikrometern. Die dritte Schicht besteht aus dem Elektrodenmaterial, häufig Titannitrid (TiN), um den Mikroelektroden sehr gute elektrochemische Eigenschaften zu geben. Schließlich wird eine Kammer auf das Substrat geklebt, die als Schale dient, in der Zellen oder Gewebe leben können.

Peter Jones experimentiert seit Jahren mit Materialien und Herstellungsverfahren. Die Tochterfirma des NMI produziert die Mikroelektrodenarrays in großer Stückzahl, eine weitere Firma im Industriepark Reutlingen liefert sie in alle Welt an Forschungslabors in Wissenschaft und Industrie aus. „Die neuen humanen 3D-In-vitro-Modelle wie Organoide und Organ-on-Chip-Modelle benötigen neue Technologien. Wir entwickeln unsere Chips nach diesen Bedürfnissen, sodass daraus sowohl wissenschaftliche Papers entstehen, aber auch Produkte, die in Laboren weltweit zum Einsatz kommen“, sagt Peter Jones.

Ohne die Mikroelektroden-Chips könnte Udo Kraushaar keine potenziellen Medikamente an Herz-Organoiden testen. Zwei ungleiche Komponenten aus lebloser und belebter Materie.

Udo Kraushaar (links) und Peter Jones arbeiten für das NMI, eine außer-universitäre Forschungseinrichtung, die anwendungsorientierte Forschung an der Schnittstelle von Bio- und Materialwissenschaften betreibt. Dabei richtet sich das Institut mit seinen zweihundert Mitarbeitern an die Gesundheitswirtschaft und an regionale und internationale Firmen aus dem Fahrzeug-, Maschinen- und Werkzeugbau. Zugleich unterstützt das NMI Ausgründungen von Start-ups. In der Forschung arbeitet das NMI mit Institutionen wie der Universität Tübingen, dem Universitätsklinikum Tübingen und den Instituten der Innovationsallianz Baden-Württemberg (innBW) zusammen.

Udo Kraushaar (links) und Peter Jones work for the NMI, a non-university research institution and conducts application-oriented research at the interface of biological and materials sciences. With its two hundred employees, the institute is aimed at the healthcare industry and at regional and international companies from the automotive, mechanical engineering and toolmaking industries. At the same time, the NMI supports spin-offs of start-ups. In research, the NMI cooperates with institutions such as the University of Tübingen, the University Hospital Tübingen and the institutes of the Baden-Württemberg Innovation Alliance (innBW).

PHOTO: Tilman Wörtz

EN

Human cardiac muscle cells pulse rhythmically under the microscope. They are arranged like a mini 3D heart on a chip, known as a microelectrode array (MEA). Every few seconds, the heart muscle cells contract and relax again. All at the same time. Rhythmically. Tiny electrodes measure the voltage discharged by the cells.

Dr. Udo Kraushaar disturbs them by adding substances and observing if they still pulse regularly, lose their rhythm or stop pulsing altogether. A monitor records the voltage discharged from the cells on a curve, like an ECG.

Udo Kraushaar would rather test the effects of particular substances on the heart cells now before “someone falls off their bike because they can’t tolerate a painkiller pill,” he says. This is not a fictitious example: Udo Kraushaar tests possible side effects of new substances on human cardiac organoids and cells from many other organs and helps to sift out unsuitable candidates for new drugs.

When a pharmaceutical company wants to develop a new agent, it starts with 100,000 to 200,000 substances and systematically reduces the number to the most promising candidates. When there are about fifty to a hundred left, Udo Kraushaar and his team come into play.

Organoids resemble a small white lump, large enough to be seen by the naked eye on the microelectrode chip under the microscope. Cells for forming the organoids had to be removed from a volunteer’s skin once by biopsy and then grown into heart muscles using adult stem cells. The cells behave as expected: They contract and relax again. Like a heart.

In this phase of drug development, usually between five and ten years have already passed. Only when two to five drug candidates remain does the clinical phase, the test on humans themselves, begin. “If a pharmaceutical company puts a substance into the clinical phase and fails, a billion euros is wasted,” says Udo Kraushaar. That’s why his work is essential in selecting the right substances. Animal testing also takes place before the clinical phase. The experiments in Udo Kraushaar’s lab at NMI Natural and Medical Sciences Institute however, are closer to the physiology of humans and reduce the need for animal experiments.

Udo Kraushaar can only measure the cells’ electrical activity because the cells are on a chip with microelectrodes. Under the microscope, they are about the size of a cell and evenly distributed in the center of the board. From

there, 60 electrically conductive tracks lead in uniform patterns to a square formation of contact pads. From here, the voltage pulses are amplified and digitized.

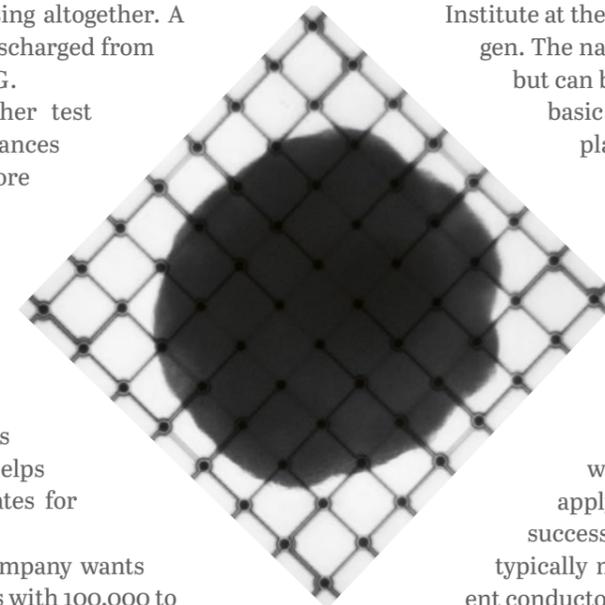
“We listen to individual cells,” says Udo Kraushaar, “and groups of cells and amplify their signals together.” He moves a slider to the right with the cursor on the screen. Now the convulsions of the heart organoid can be heard as a rhythmic murmur.

Microelectrode chips are custom-made four floors below in the NMI Natural Sciences and Medicine Institute at the University of Tübingen in Reutlingen. The name of the institute is complicated, but can be explained by the combination of basic research, which very often takes place in cooperation with the University of Tübingen, and application-related research close to industry at the Reutlingen site and far beyond.

In his laboratory on the first floor, engineer Dr. Peter Jones and his team produce the microelectrode arrays. First, they start with a glass substrate, on which they apply and structure several layers in succession. The first layer is conductive, typically made of titanium or the transparent conductor indium tin oxide (ITO) and forms the connections to the microelectrodes. The second layer is an insulating layer, usually made of silicon nitride, which covers the conductor tracks. The insulator is then opened, forming microelectrodes by precisely etching tiny holes. Depending on the application, the holes have a diameter of 10 to 30 micrometers. The third layer consists of the electrode material, often titanium nitride (TiN), to give the microelectrodes excellent electrochemical properties. Finally, a chamber is glued to the substrate, which serves as a dish in which cells or tissues can live.

Peter Jones has been experimenting with materials and manufacturing processes for years. An NMI subsidiary company produces the microelectrode arrays in large numbers, and another company in the Reutlingen Industrial Park delivers them to research laboratories in science and industry all over the world. “New human 3D in vitro models such as organoids and organ-on-chip models require new technologies. We develop our chips according to these needs, resulting in both scientific papers and products that are used in laboratories worldwide,” says Peter Jones.

Without the microelectrode chips, Udo Kraushaar would not be able to test potential drugs on cardiac organoids. Two unequal components of inanimate and animate matter.



Herzorganoid auf Chip

Heart organoid on chip.

PHOTO: NMI

ETHIK IM PRAXISTEST

TESTING ETHICS IN PRACTICE

AUTOR Tilman Wörtz
PHOTOS Friedhelm Albrecht



Der Deutsche Ethikrat berät Politik und Öffentlichkeit bei heiklen Themen, von Impfstrategie bis Pränataldiagnostik. Der Tübinger Moraltheologe Professor Franz-Josef Bormann hat acht Jahre lange die Stellungnahmen des Rats mitgeprägt, bis zum Ende seiner Amtszeit im April. Eine Bilanz.

The German Ethics Council advises politicians and the public on sensitive topics, from vaccination strategy to prenatal diagnostics. The moral theologian Professor Franz-Josef Bormann from Tübingen helped shape the Council's opinions for eight years, until the end of his term of office in April. We ask Professor Bormann about his experiences during his term.

DE

Bei welchem Thema war der Deutsche Ethikrat in Ihrer Zeit besonders gefragt?

Franz-Josef Bormann Die größte öffentliche Wahrnehmung hat der Ethikrat zweifellos in den Jahren der Corona-Pandemie gewonnen. In den Jahren von 2020 bis 2022 haben wir sieben Stellungnahmen zur Bewältigung der Pandemie abgegeben, im Auftrag entweder des Gesundheitsministers oder anderer Ministerien. Wir haben auch erstmalig mit der Leopoldina und dem Robert Koch-Institut gemeinsam ein Papier zur Impfstrategie verfasst. Darin wurde sehr konkret vorgeschlagen, in welcher Reihenfolge Personen Zugang zum Impfstoff haben sollten, der anfangs ja knapp war.

Und dann kam die Diskussion zur Impfpflicht ...

FJB Wir haben eine Stellungnahme zur bereichsbezogenen Impfpflicht geschrieben. Es ging um die Frage: Ist Gesundheitspersonal in Krankenhäusern und Altenpflegeeinrichtungen in besonderer Weise moralisch verpflichtet, sich impfen zu lassen? Der Ethikrat war in diesem Fall ohne Gegenstimme der Überzeugung, dass sich eine bereichsbezogene Impfpflicht ethisch gut begründen lässt.

In der Öffentlichkeit wurde das Thema sehr kontrovers diskutiert.

FJB Unter Ethikern nicht. Der Ethikrat hat sich schon 2019 vor der Pandemie mit diesem Thema im Zusammenhang mit der Masernschutzimpfung beschäftigt, bei der die Impfquoten rückläufig waren und sind. Kinder können durch eine Maserninfektion sterben. Wir haben uns gefragt, ob dann beispielsweise Lehrkräfte an Schulen nicht eine Verpflichtung zu einer Masernschutzimpfung haben sollten.

Die Stellungnahmen sind nicht immer so einmütig, oder?

FJB Nein. Das haben wir bei der Diskussion zu einer allgemeinen gesetzlichen Impfpflicht gesehen. Da gab es eine kleinere Gruppe von sieben Personen, zu der auch ich gehörte, die sich zwar grundsätzlich für eine Ausweitung der Impfpflicht ausgesprochen hat, sie aber auf eine ganz bestimmte Personengruppe mit hohem Risiko beschränkt wissen wollte. Die Intensivstationen füllten sich gegen Ende des Jahres 2021. Vor allem ältere Personen mussten nach einer Infektion mit einem schweren bis tödlichen Verlauf ihrer Erkrankung rechnen. Wir haben argumentiert, dass solchen Risikogruppen eine Impfpflicht zuzumuten ist, damit andere Risikogruppen eine Chance auf ein Intensivbett behielten – zum Beispiel Menschen, die bereits einen Herzinfarkt gehabt hatten oder unter anderen Erkrankungen litten. Das sah aber die Mehrheit des Ethikrates anders. 13 Personen haben sich sogar für eine generelle allgemeine Impfpflicht für alle volljährigen Personen ausgesprochen. Manche wollten sogar eine Impfpflicht für Kinder. Das kann man sich heute kaum mehr vorstellen.

EN

On which topic was the German Ethics Council particularly in demand during your term?

Franz-Josef Bormann The public awareness of the Ethics Council was undoubtedly greatest during the years of the coronavirus pandemic. In the years from 2020 to 2022, we issued seven statements on the management of the pandemic, on behalf of either the Minister of Health or other ministries. We also co-authored a paper on vaccination strategy with the Leopoldina and the Robert Koch Institute for the first time. This proposed very specifically the order in which people should have access to the vaccine which was initially scarce.

And then came the discussion about mandatory vaccination ...

FJB We published a statement on mandatory vaccination for certain occupations. The question was: Are staff in hospitals and elderly care facilities morally obliged to be vaccinated? In this case, the Ethics Council was unanimously convinced that a mandatory vaccination could be justified ethically for certain occupations.

The topic was discussed very controversially in public.

FJB Not among ethicists. In 2019, before the pandemic, the Ethics Council dealt with this issue in the context of measles vaccination, where vaccination rates were and are declining. Children can die from a measles infection. So we wondered whether teachers in schools, for example, should not have an obligation to vaccinate against measles.

The opinions aren't always so unanimous, are they?

FJB No. We saw this during the discussion on a general legal obligation to vaccinate. There was a smaller group of seven people, including me, who were generally in favor of an extension of the vaccination requirement, but wanted it to be limited to a very specific group of people with a high risk. The intensive care units filled up towards the end of 2021. Older people in particular had to reckon with a severe to fatal course of their illness after an infection. We argued that such high-risk groups must be vaccinated in order for other high-risk groups to have a chance of an intensive care bed. For example, people who had already had a heart attack or suffered from other diseases. However, the majority of the Ethics Council saw it differently. 13 people spoke out in favor of mandatory vaccination for all adults. Some even wanted compulsory vaccination for children. This is hard to imagine today.

Hat Sie die Verantwortung, zu so gewichtigen Themen konkrete Empfehlungen abzugeben, belastet oder gereizt?

FJB Beides. Die Arbeit ist nicht immer vergnügungssteuerpflichtig. Sie kostet viel Zeit. Ich hatte teilweise wöchentlich eine Sitzung in Berlin oder anderswo und war stark eingebunden beim Verfassen der Stellungnahmen. Auf der anderen Seite habe ich glückliche Erinnerungen an eine trans- und interdisziplinäre Zusammenarbeit, die ich in der Dichte noch nie zuvor erlebt hatte. Der Expertenrat ist ein multiprofessionelles Expertengremium von Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaftlern. Es sind Kooperationen über Fachgrenzen hinweg entstanden und über den Rat hinaus.

Bekommt der Deutsche Ethikrat mit seiner Expertise denn überhaupt die nötige Aufmerksamkeit?

FJB Es gibt einen Dschungel an Beratungsinfrastruktur in Deutschland. Die Konkurrenz schwächt die Wirkung der Empfehlungen. Zum Beispiel haben jüngst drei Bundesministerien – das für Familie, für Justiz und für Gesundheit – eine Arbeitsgruppe eingesetzt, die über die Zukunft des Paragraphen 218 StGB in Deutschland beraten sollte. Abtreibung ist nun zweifellos ein Thema, das in den Zuständigkeitsbereich des Deutschen Ethikrats fällt, der dafür gegründet wurde, Politik und Öffentlichkeit in lebenswissenschaftlichen und medizinethischen Fragestellungen zu beraten. Die genannten Ministerien wollten aber aus politischen Gründen bestimmte Ergebnisse sehen. So eine Konkurrenz mit Kalkül schwächt natürlich die Wirkung des Deutschen Ethikrats und sollte nicht sein. Ein anderes Problem ist, dass sich der Rat mit Themen befasst, für die er nicht installiert worden ist, zum Beispiel mit der Klimagerechtigkeit. Dabei gibt es im Gesundheitsbereich so viele drängende Probleme, die in seine originäre Zuständigkeit fallen.

Welche?

FJB Wir sind eine alternde Gesellschaft und laufen auf immer höhere Gesundheitskosten zu. Auch im Pflegebereich gibt es viele Probleme. Die Pflegeversicherung ist völlig unterfinanziert und bedarf grundlegender Reformen. Wir laufen mit Ansage auf einen totalen Kollaps unseres Pflegesystems in den nächsten Jahren zu. Ich würde der neuen Ratsperiode dringend raten, diese strukturellen Probleme aufzugreifen.

Wirken Impulse von so einem Beratergremium zurück in die Wissenschaft?

FJB Zu wenig. Da werden häufig Chancen verpasst. 2013, also noch vor meiner Zeit, hat der Deutsche Ethikrat eine sehr gute Stellungnahme über die Frage der genetischen Diagnostik verfasst und darin viele Entwicklungen vorausgehen. Es wer-

den ja immer mehr genetische Marker und damit Erbkrankheiten identifiziert. Das hat dramatische Auswirkungen. Viele Föten erblicken durch die neuen technologischen Möglichkeiten nie das Licht der Welt. Das sind verdeckt eugenische Dynamiken. Wir Deutsche sollten ja eigentlich aufgrund unserer Erfahrung im Nationalsozialismus besonders sensibel bei dem Thema sein. Der Deutsche Ethikrat hat Empfehlungen zum Schutz ungeborenen Lebens an den Gesetzgeber und auch an die wissenschaftliche Forschung formuliert. Entsprechende Forschungsprojekte wurden aber nicht bewilligt. Für die gibt es kein Geld. Aus meiner Sicht ist das ein forschungspolitischer Skandal.

Sie sind also gegen Pränataldiagnostik?

FJB Ich bin nicht generell dagegen. Pränataldiagnostik kann positive Effekte haben, wenn sie mit therapeutischen Möglichkeiten verbunden ist. Aber wir diagnostizieren immer häufiger ohne eine therapeutische Konsequenz – was im Ergebnis zu einem Abbruchautomatismus nach fragwürdigen Kriterien führt. Der Lebenswert wird hier beurteilt – auch wenn das rechtlich ein bisschen anders verklausuliert wird. Wir sagen nichts über den Lebenswert des Kindes, sondern nur über die Zumutbarkeit dieses Kindes für die Mutter.

Für wie wirksam halten Sie die Stellungnahmen, an denen Sie selbst mitgeschrieben haben?

FJB Es gibt Beispiele, bei denen der Gesetzgeber die Empfehlung des Ethikrates komplett ignoriert hat, wie in der Pränataldiagnostik. Und es gibt Beispiele, wo die Empfehlungen eins zu eins umgesetzt worden sind, wie für die Impfstrategie. Zusammenfassend würde ich sagen: Die Wirksamkeit rangiert zwischen 0 und 100.

Has the responsibility to make specific recommendations on such important topics burdened or irritated you?

FJB Both. Work isn't always fun and games. Intensive discussions like these take a lot of time. I sometimes had a weekly meeting in Berlin or elsewhere and was heavily involved in writing the statements. But I have pleasant memories of a trans- and interdisciplinary collaboration that I had never experienced as intensely before. The Expert Council is a multi-professional expert panel of natural, humanities and social scientists. Collaboration has developed across specialist boundaries and even beyond the Council.

Do the German Ethics Council and their expertise receive enough attention?

FJB There is a jungle of policy-making bodies in Germany. Competition weakens the effect of the recommendations. For example, three federal ministries – the Federal Ministry of Family Affairs, the Federal Ministry of Justice and the Federal Ministry of Health – recently set up a working group to advise on the future of Section 218 of the German Criminal Code (StGB). Abortion is now undoubtedly a subject that falls under the jurisdiction of the German Ethics Council, which was founded to advise politics and the public on life science and medical ethics issues. However, these ministries wanted to see certain results for political reasons. Such calculated competition naturally weakens the effect of the German Ethics Council which shouldn't be the case. Another problem is that the Council deals with issues beyond its original remit, for example climate justice. And there are so many pressing problems in the health sector that fall under its original responsibility.

Can you tell us more about these problems?

FJB We are an aging society and are heading for ever-increasing healthcare costs. There are also many problems in the nursing sector. Long-term care insurance is completely underfunded and requires fundamental reforms. We are on the verge of a total collapse of our care system in the coming years. I would strongly advise that the new council term addresses this structural issue.

Do recommendations from advisory boards such as the Council have an impact on science and research?

FJB Not enough. Opportunities are often missed. In 2013, even before my time, the German Ethics Council wrote a well-founded statement on the question of genetic diagnostics which foreshadowed many developments. More and more genetic markers and hereditary diseases are being identified. This has a dramatic impact. Many fetuses never see the light of day due to the new technological possibilities. These are hidden eugenic dynamics. We Germans should actually be particularly sensitive to the topic due to our experience in National Socialism. The German Ethics Council has formulated recommendations for the protection of unborn life to the legislature and also to scientific research. However, corresponding research projects were not approved. There is no money for them. In my view, this is a research policy scandal.

Does that mean you are against prenatal diagnostics?

FJB I am not generally against it. Prenatal diagnostics can have positive effects when combined with therapeutic options. But we are increasingly diagnosing without a therapeutic consequence – which ultimately leads to automatic termination according to questionable criteria. We are ultimately judging the value of a life here – however the legal context might address it. We don't say anything about the worth of the child's life, only whether a mother might be reasonably expected to bear this child.

How effective do you think the statements you have co-written are?

FJB There are examples where the legislature has completely ignored the recommendation of the Ethics Council, as in prenatal diagnostics. And there are examples where the recommendations have been implemented exactly as proposed, such as the vaccination strategy. In summary, I would say: Efficacy ranges from 0 to 100.



Professor Franz-Josef Bormann lehrt Moraltheologie an der Universität Tübingen und forscht speziell zu aktuellen Konfliktfeldern der Bio- und Medizinethik. Er ist geschäftsführender Herausgeber der Zeitschrift „Medizinische Ethik“, die älteste deutschsprachige Fachpublikation in ihrem Bereich. Im Deutschen Ethikrat war er von 2016 bis 2024 Mitglied. Der Zentralen Ethikkommission bei der Bundesärztekammer gehört er immer noch an. Er berät auch die Deutsche Bischofskonferenz in Fragen der Bioethik.

Professor Franz-Josef Bormann teaches moral theology at the University of Tübingen and conducts research specifically on current fields of conflict in bioethics and medical ethics. He is the managing editor of the journal *Medizinische Ethik*, the oldest German-language specialist publication in its field. His term of office on the German Ethics Council was from 2016 to 2024. He is still a member of the Central Ethics Committee at the Federal Medical Association. He also advises the German Bishops' Conference on bioethics.

AUSBLICK – IN DER NÄCHSTEN AUSGABE

OUTLOOK – IN THE NEXT EDITION:



PHOTO: Universität Tübingen



PHOTO: Prostock-Studio, istockphoto

Impfungen am Computer testen

Die Mitarbeiter im Labor von Florian Wimmers kennen sich mit Pipetten genauso gut aus wie mit KI-Modellen. Beide Werkzeuge nutzen sie für die Überprüfung von Impfreaktionen: Wie reagieren Lymphknoten auf eine Impfung? Wie auf Medikamente gegen Krebs? Krebsmedikamente reduzieren in den meisten Fällen die Impfreaktion im Körper. Doch es gibt hoffnungsvolle neue Ansätze.

Testing vaccinations on the computer

The staff in Florian Wimmers' laboratory are just as familiar with pipettes as they are with AI models. They use both tools to test vaccination reactions: How do lymph nodes react to a vaccination? How do they react to cancer drugs? In most cases, cancer drugs reduce the vaccination response in the body. But there are promising new approaches.

Lernbegleitung aus dem Netz

Nachhilfe beim digitalen Tutor: Das Tübingen Center for Digital Education und KI-Forscher entwickeln ein KI-gestütztes Tutorenprogramm, das Schülerinnen und Schüler beim Lernen unterstützen könnte und dabei möglichst menschenähnlich agiert.

Learning Support Via the Internet

Mentoring with a digital tutor: The Tübingen Center for Digital Education and AI researchers are developing an AI-based tutoring program that could support pupils in their learning while performing in as human a way as possible.

IMPRESSUM | IMPRINT

ATTEMPTO! ist das Magazin der Eberhard Karls Universität Tübingen

Herausgeberin Professorin Dr. Karla Pollmann
Redaktion Tilman Wörtz (verantwortlich)
Übersetzung Daniel McCosh
Titelfoto Berthold Steinhilber
Layout & Satz Daniela Leitner, Design trifft Wissenschaft
Lektorat Korrekturbüro Burger

Druck ABT Print und Medien GmbH
Auflage 5.000 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.



> Die Universität Tübingen gratuliert den Studierenden, die 2024/25 ein Deutschlandstipendium erhalten. Dank großzügiger Unterstützung von privaten Mittelgebern und Bund erhalten die geförderten Studierenden monatlich 300 Euro, die sie auf ihrem Bildungsweg unterstützen.

JUNGE TALENTE FÖRDERN. FACHKRÄFTE VON MORGEN KENNENLERNEN.



/ FIRMEN/

> ALLIANZ SE > AMAZON DEUTSCHLAND > DR. WILLMAR SCHWABE GMBH & CO. KG
 > GEORG THIEME VERLAG KG > SANTANDER UNIVERSITÄTEN DEUTSCHLAND
 > BBBANK STIFTUNG > ELISABETH SCHRADER-STIFTUNG > FRANZ ANDROJNA STIFTUNG
 > GERHARD RÖSCH STIFTUNG > GIPS-SCHÜLE-STIFTUNG > HUGO RUPF-STIFTUNG
 > TL-STIFTUNG > TÜBINGER STIPENDIENSTIFTUNG > VECTOR STIFTUNG
 > WOLFGANG ROSENSTIEL STIFTUNG

/ STIFTUNGEN /

> IRENE & DR. KLAUS FITZNER > DR. SUSANNE HEINZL > DR. UWE JENS JASPER
 > DR. JOACHIM KREBS > DR. ABRAHAM PETER KUSTERMANN

/ PRIVATPERSONEN /

> UNIVERSITÄTSBUND TÜBINGEN E. V.

/ VEREINE /

**Deutschland
STIPENDIUM**
Wir sind dabei



ANGST VOR DER ZUKUNFT?

THEATER FÜR HEUTE UND MORGEN.

itz-tübingen.de



IM TÜBINGER
ZIMMERTHEATER