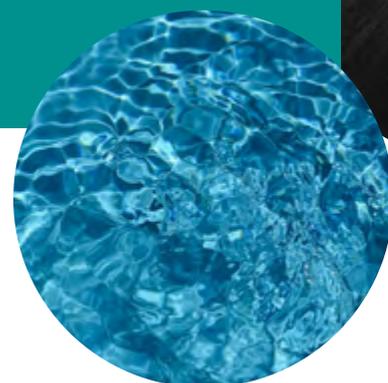
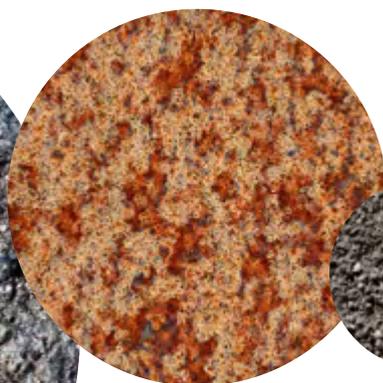
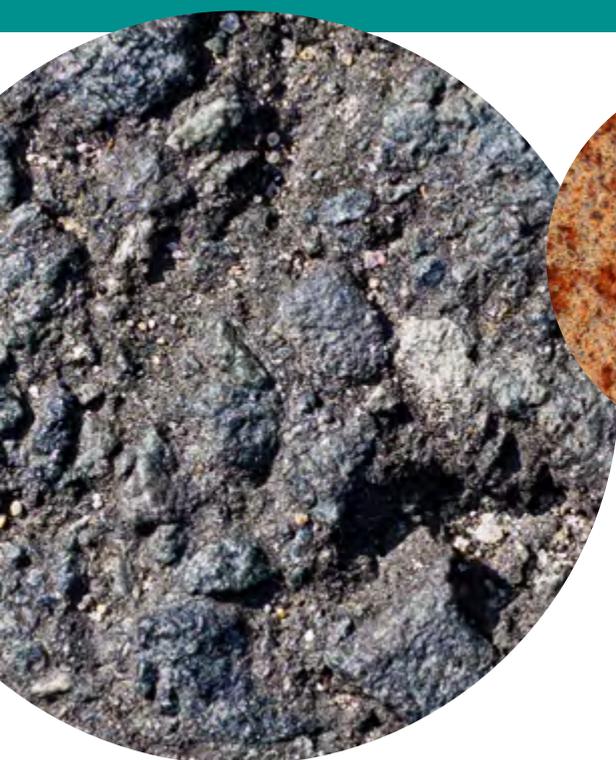


RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN



AN DER OBERFLÄCHE

Von wegen unvorhersagbar: Erdbeben

Von wegen außerirdisch: Kreise im Kornfeld

Von wegen weiß und erhaben: Antike Statuen



WISSENSCHAFT ZUM NULLTARIF

*Abonnieren Sie kostenlos das Forschungsmagazin »Rubin«
als digitalen Newsletter oder Printmagazin.*

**RUBIN
ABONNIEREN**
→ news.rub.de/rubin



AUS DER REDAKTION

An der Oberfläche bleiben wir in Rubin nicht. Was die Detailtiefe der Texte anbelangt, können wir uns in unserem Forschungsmagazin intensiver mit den Themen befassen als in so manchem Kurzformat, das wir für den Onlinebereich produzieren. Anders als der Schwerpunkttitel vermuten lässt, haben wir ausgerechnet in diesem Heft auch die Erdoberfläche hinter uns gelassen, um mit unserem Luftbildarchäologen Baoquan Song Dinge zu entdecken, die vom Boden aus unsichtbar sind. Regelmäßig steigt er mit dem Flugzeug auf und sucht aus der Luft nach Spuren historischer Stätten. Die freien Plätze in seiner Viersitzer-Maschine bietet er Studierenden oder anderen Passagieren an. Zum Beispiel unserer Fotografin Katja Marquard, die für ein gutes Bild so manches Opfer bringt. Obwohl ihr beim Fliegen flau im Magen wird, ist sie für Rubin mit in die Maschine geklettert, um Baoquan Songs Arbeit hautnah mitzuerleben. Was der Forscher aus der Luft entdeckt und wie er zu diesem außergewöhnlichen Beruf gekommen ist, lesen Sie in dieser Ausgabe. Und wenn Sie noch ein bisschen näher dran sein wollen an Katja Marquards Erlebnis, dann schauen sie mal auf dem Instagram-Kanal der Ruhr-Uni vorbei, wo ein Film Einblicke in den Alltag eines Luftbildarchäologen gibt.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß mit dieser Ausgabe!

Julia Weiler für das Redaktionsteam

Foto: RUB, Marquard

RUBIN IM NETZ

Alle Rubin-Artikel im Newsportal der RUB:

→ news.rub.de/rubin

Instagram-Kanal der RUB

→ instagram.com/ruhrunibochem

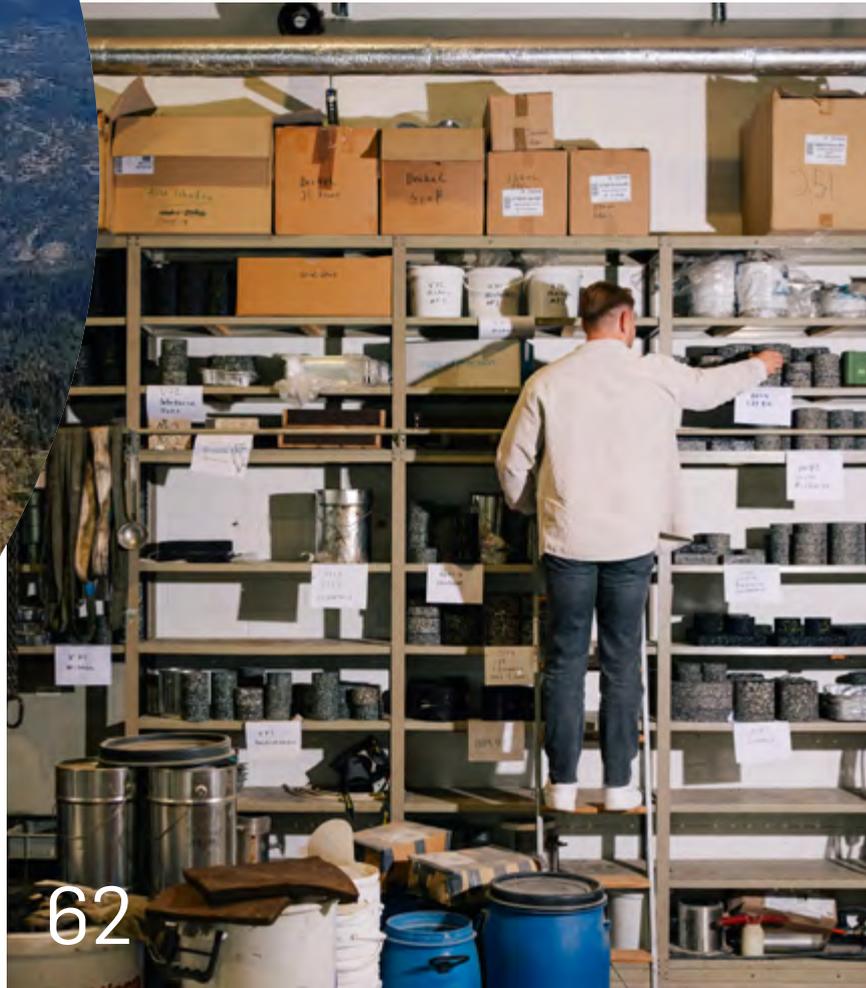
INHALT

- 03 **Aus der Redaktion**
- 06 **Forschung in Bildern**
- 12 **Wissenshäppchen**
- 14 *Archäologie*
Auf Augenhöhe mit den Göttern
- 18 *Antriebstechnik*
Mit blanken Zähnen läuft alles glatt
- 22 *Geowissenschaft · Im Gespräch*
Vom Orbit in die Erdkruste
- 25 *Geowissenschaft · Standpunkt*
„Wir müssen mehr in die Erbebenforschung investieren“
- 26 *Wasserwirtschaft*
Die Zukunft des Wassers
- 30 *Terahertz-Technik · Im Gespräch*
Die Trümpfe der kurzen Wellenlänge
- 32 *Bodenkunde*
Der Schatz im Acker
- 36 *Medizin*
Wenn Killerzellen auf Abwege geraten





22



62



26



18

- 39 *Mathematik*
Abstrakte Oberflächen
- 40 *Maschinenbau*
Effizient erwärmt
- 44 *Chemie*
Schiffsrümpfe mit beschränkter Haftung
- 48 *Linguistik*
Virtueller Flausch
- 52 *Geowissenschaft*
Wo der Boden zugepflastert ist
- 56 *Archäologie · Im Gespräch*
Flug in die Vergangenheit
- 62 *Verkehrswegebau*
Schaumparty für die Straße
- 66 **Redaktionschluss · Impressum**





TRÜGERISCHE FARBLOSIGKEIT

Hellenistische Statuen sind viele Jahrhunderte alt. Heute wirken sie meist weiß und erhaben, zu ihrer Zeit aber waren sie bunt bemalt und teils geschmückt. Mit detektivischem Spürsinn lässt sich das nachweisen: Im Streiflicht sind wie hier winzige Höhenunterschiede im Stein erkennbar. Ihr Ursprung: Wo sich eine Farbe länger erhalten hat, ist der Marmor später und daher weniger verwittert. Mehr dazu ab Seite 14. (Foto: RUB, Marquard)



VERGANGENHEIT IN FALSCHFARBEN

Luftbildarchäologe Dr. Baoquan Song dokumentiert historische Fundstellen aus der Luft und erforscht, wie sich neue Technologien für seine Disziplin nutzen lassen. Falschfarbenaufnahmen mit Infrarot-Informationen gehören mittlerweile fest zum Repertoire. Denn damit lassen sich Spuren visualisieren, die im sichtbaren Licht schwer zu erkennen sind. Hier ist die Kaisergrabanlage Yongding bei Gongxian in China zu sehen. „Zur Zeit der Analog-Fotografie waren Infrarot-Aufnahmen eine mühsame Angelegenheit“, erinnert sich Baoquan Song. „Zuletzt musste man die Aufnahmen zur Entwicklung in die USA schicken, weil es nur dort ein passendes Labor gab.“ Mehr zu Baoquan Songs Arbeit und zur Entstehung der Luftbildarchäologie ab Seite 56. (Foto: Baoquan Song)







ABGESCHIRMTE WELT

Dieser seltsam anmutende Raum befindet sich in der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik der Ruhr-Universität Bochum. Die pyramidenförmigen Aufbauten absorbieren elektromagnetische Wellen, so dass Forschende unter hoch kontrollierten Bedingungen Antennen testen können. Dr. Jan Barowski (links) und Dr. Dennis Pohle vom Lehrstuhl Hochfrequenzsysteme bestimmen hier die Abstrahleigenschaften eines Radarsystems. Zwei Sensoren fahren für die Messung auf einer Kugelschale um die Radarantenne herum, sodass die Intensität des Radarsignals in alle Raumrichtungen erfasst werden kann. Mehr zur Forschung der Gruppe ab Seite 30. (Foto: RUB, Marquard)

WIE LANGE ÜBERLEBEN BAKTERIEN UND VIREN AUF MÜNZEN?

Ein Geldstück wandert von einer Hand in die nächste und wird nie gereinigt.

Wie kommt es, dass wir uns angesichts dessen nicht ständig mit Krankheiten anstecken?



Sie ist unbestritten da: Die Angst der Menschen vor Keimen. Und das ist völlig verständlich. Denn der Gegner ist heimtückisch. Unsichtbar und in unvorstellbarer Anzahl lauert er überall. Was er mit uns vorhat, ob er uns Husten, Schnupfen, Corona oder Mumps an den Hals wünscht, oder doch völlig harmlos ist: Man weiß es vorher nie. Und das Fatale: Im Alltag kommen wir nicht drumherum, Oberflächen anzufassen, von denen wir nicht wissen, was sich alles auf ihnen tummelt. Allein ein Geldstück ist meist durch hunderte Hände gegangen – ohne jemals gereinigt worden zu sein. Warum fangen wir uns angesichts dieser Tatsache eigentlich nicht ständig irgendwelche Krankheiten ein?

Keime findet man auf allen Oberflächen, darunter verschiedene Bakterien, Pilze sowie Viren. „Besonders belastet sind beispielsweise Türklinken oder Haltegriffe in der U-Bahn sowie feuchte Oberflächen. Bei den meisten Keimen handelt es sich jedoch nicht um Krankheitserreger, die der menschlichen Gesundheit schaden. In Krankenhäusern kann dies allerdings zu einem großen Problem werden und zu Infektionen führen“, sagt Prof. Dr. Eike Steinmann vom Lehrstuhl für Molekulare und Medizinische Virologie der Ruhr-Universität Bochum.

Aber auch auf Geldscheinen und Münzen konnten verschiedene Pathogene nachgewiesen werden. Zu den häufigsten Keimen auf Geldscheinen zählen gram-negative sowie gram-positive Bakterien wie E. Coli und Staphylokokken, Hefepilze wie Candida und Pilzsporen von beispielsweise Aspergillus. Lilli Pottkämper, Mitarbeiterin am Lehrstuhl von Eike Steinmann, erklärt: „Sowohl das Material der Oberfläche als auch Umweltfaktoren wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit spielen eine Rolle dabei, wie lang die Keime überleben. Poröse Oberflächen wie Stoff und Pappe scheinen die Stabilität von Viren und Bakterien im Vergleich zu nicht-porösen wie Edelstahl und Kunststoff zu verringern“, sagt die Biologin.

In der Virologie haben sie mit Experimenten herausgefunden: Kupfer und Silber haben eine leichte antibakterielle Wirkung, weshalb man auf Geldmünzen tendenziell weniger

Keime als auf Geldscheinen findet. Auch bei Geldscheinen kann das Material eine Rolle spielen: Baumwollscheine wie zum Beispiel Euro-Scheine, und US-Dollar tragen mehr Keime als Polymer-basierende Scheine wie Neuseeland-Dollar.

Trotzdem erscheint die Zahl auch auf US-Dollar-Scheinen überraschend gering mit durchschnittlich 10 Bakterien pro Quadratzentimeter. Eine höhere Luftfeuchtigkeit erhöht die Stabilität von Pathogenen, ebenso wie niedrigere Temperaturen, dies gilt besonders für Viren.

Warum man trotzdem nicht andauernd krank wird, wenn man kontaminierte Oberflächen berührt, hat verschiedene Gründe, wie Lilli Pottkämper erklärt: „Zum einen ist oft die Keimlast recht gering, zum anderen ist der Übertragungsweg nicht immer effizient, da meist eine gewisse Zeitspanne für eine Übertragung benötigt wird. In experimentellen Laborversuchen ist es oft schwierig, genaue Aussagen über das tatsächliche Risiko der Infektion durch Oberflächen zu treffen. Zwar zeigen viele der von Oberflächen isolierten Keime im Labor Stabilitäten von bis zu mehreren Wochen, jedoch spiegeln die Laborbedingungen oft nicht das Real-life Szenario wider. „In unserer Arbeitsgruppe konnten wir einen Touch-Transfer Assay etablieren, der die Übertragung von Virus auf Geldscheinen und Münzen zu Fingerspitzen realistisch darstellt. Hier konnten wir nur ein sehr geringes Risiko der Übertragung von Sars-CoV-2 auf diesem Weg feststellen.“

Hinzu kommen physiologische Barrieren, wie die Hautbarriere oder Schleimhäute, die uns vor Infektionen schützen. Das Immunsystem eines gesunden Menschen kann gerade mit geringen Keimmengen umgehen, ohne dass es zu Krankheitssymptomen kommt. Gefährlich kann es in erster Linie für immungeschwächte Menschen werden.

Der effektivste Weg, um Infektionen durch möglicherweise kontaminierte Oberflächen im Alltag zu vermeiden, ist laut Eike Steinmann und Lilli Pottkämper gründliches Händewaschen, insbesondere nach Kontakt mit Oberflächen und Gegenständen im öffentlichen Raum.

**Sars-Cov-2 auf
Edelstahloberflächen:**
noch nach sieben Tagen infektiöse Viren
vorhanden

” DASS ES BEIM
5-CENT-STÜCK
SCHNELLER GEHT,
LIEGT DARAN, DASS
ES AUS KUPFER
BESTEHT, WORAUF
VIREN BEKANNTER-
MASSEN WENIGER
STABIL SIND. “

Daniel Todt

72 Stunden



48 Stunden



6 Stunden



1 Stunde



AFFENPOCKENVIREN
Pockenviren sind dafür
bekannt, dass sie in der
Umgebung sehr lange in-
fektios bleiben können. Bei
Raumtemperatur kann es bis
zu elf Tage dauern, bis kein
vermehrungsfähiges Affen-
pockenvirus mehr da ist.
Bei vier Grad Celsius sogar
bis zu einen Monat.



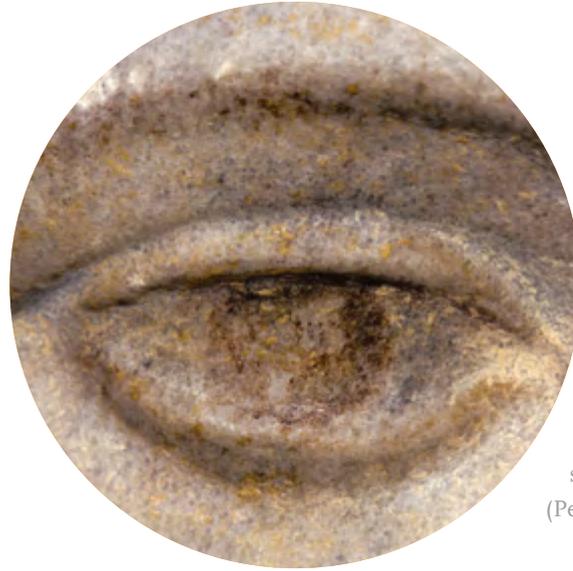
Archäologie

AUF AUGENHÖHE MIT DEN GÖTTERN

Weiß und erhaben sehen altgriechische Statuen nur für die Nachwelt aus. Zu ihrer Zeit waren sie farbig, trugen zum Teil sogar Schmuck und Kleider und waren den Menschen somit viel ähnlicher.



Diese auf der Insel Delos gefundene Statue einer Frau zeigt eine häufig dargestellte Pose. In der linken Hand hat die Figur vermutlich einen Fächer gehalten. (Foto: C. Blume-Jung, Archäologisches Nationalmuseum Athen, aus C. Blume, Polychromie hellenistischer Skulptur. Ausführung, Instandhaltung und Botschaften (Petersberg 2015))



Im Auge sind noch Reste einer Bemalung der Pupille zu erkennen, zudem Wimpern und Augenbraue. (Foto: C. Blume-Jung, Archäologisches Nationalmuseum Athen, aus C. Blume, Polychromie hellenistischer Skulptur. Ausführung, Instandhaltung und Botschaften (Petersberg 2015))

Erhaben, weiß und still: So sehen hellenistische Marmorstatuen aus, wenn wir ihnen im Museum begegnen, und so wurden sie auch im Klassizismus nachgeahmt. Doch zur Zeit ihrer Entstehung sahen sie ganz anders aus. „Ihre Steinoberflächen waren mit unterschiedlichen Strukturen versehen, farbig bemalt, trugen teils echte Kleidung, Schmuck oder Waffen aus Metall sowie vermutlich auch aus Holz und anderen Materialien“, weiß Dr. Clarissa Blume-Jung vom Institut für Archäologische Wissenschaften der Ruhr-Universität Bochum. Diese Verzierungen haben sich teilweise erhalten, aber nicht sehr gut. Die Archäologin schaut daher ganz genau hin, um winzige Reste zu finden. „Das ist wie ein Puzzlespiel“, beschreibt sie ihre detektivische Spurensuche.

Im Mittelpunkt ihrer Arbeit stehen Objekte aus der Zeit zwischen ungefähr 323 bis 31 vor Christus. Vor dieser etwa 300 Jahre dauernden sogenannten hellenistischen Epoche hatte Alexander der Große sein Weltreich bis nach Indien, Afghanistan, Pakistan und Nordafrika ausgeweitet. Es bildete sich ein neuer Geschmack heraus. Die von Blume-Jung untersuchten Statuen zeigen zum Beispiel junge Frauen in reichen Gewändern, Athleten, Kinder, Herrscher oder Gottheiten und standen, je nach Funktion, in Heiligtümern, auf öffentlichen Plätzen oder auch in Häusern oder Gärten wohlhabender Familien. „Die meisten steinernen Statuen wurden aus Marmor gearbeitet. Am beliebtesten war parischer Marmor, der sehr feinkristallin und einheitlich weiß ist und sich zudem gut verarbeiten lässt“, so Clarissa Blume-Jung. Beispiele finden sich unter anderem auf der griechischen Insel Delos in der Ägäis, die früher bewohnt, nach mehreren Erdbeben aber so stark zerstört war, dass sie verlassen wurde. Heute gehört sie zum UNESCO-Weltkulturerbe.

Hier wurde die Statue einer Frau gefunden, die in einem privaten Haus in einem Raum stand, der sich zu einem überdachten Säulengang um einen Garten hin öffnete, und sich heute im Nationalmuseum von Athen befindet. Auf den ersten Blick wirkt sie einfarbig. Schaut man aber genauer hin, sieht man, dass das Haar dunkler wirkt als das Gesicht. „Das

Haar ist in seiner Struktur grob und nicht wie das Gesicht geglättet“, zeigt Clarissa Blume-Jung. „Man kann deutlich erkennen, dass die Strähnen des Haars mit mindestens drei verschiedenen Braun- und Ockertönen bemalt sind – an manchen Stellen sind einzelne Pinselstriche sichtbar. Das gesamte Haar wurde in der Zusammenarbeit von Bildhauer und Maler durchschattiert, sodass es eine lebendige Optik gehabt haben muss.“

Verzierungen aus Holz und Metall

Die dunkle Iris der Augen ist noch gut zu sehen, man kann auch den Ansatz von Wimpern erkennen. „Es ist einfacher, wenn man weiß, wonach man sucht“, sagt Clarissa Blume-Jung, die die Statue mit vielen anderen vergleicht und auch Beispiele aus der Malerei, von kleinformatigen Terrakottafiguren oder anderen Gattungen heranzieht. So konnte sie rekonstruieren, dass das, was die dargestellte Frau in ihrer linken Hand hält, der Griff eines Fächers gewesen sein könnte. „Ergänzungen aus Holz oder anderen vergänglichen Materialien haben sich leider nicht über die vielen Jahrhunderte erhalten“, sagt sie. „Und Metallverzierungen sind auch meistens nicht mehr da – vermutlich, weil man das Material für andere Zwecke brauchen konnte und eingeschmolzen hat.“ Dennoch ist Blume-Jung überzeugt davon, dass es sie gab: „Wenn eine Statue durchgehende Ohrlöcher hat, kann man davon ausgehen, dass sie auch Ohringe getragen hat“, so die Forscherin. ▶

i POLYCHROMIE

Drei Faktoren machen die Polychromie hellenistischer Statuen aus:

- Die Bemalung
- Die Gestaltung der Oberfläche des Marmors (rau, strukturiert, geglättet)
- Ergänzungen mit anderen Materialien wie Holz oder Metall

Clarissa Blume-Jung untersucht die Polychromie von Statuen und Terrakotten der hellenistischen Zeit. (Foto: RUB, Marquard)



„ BESONDERS GERN VERWENDETE FARBEN WAREN IN DER HELLENISTISCHEN ZEIT HELLBLAU UND ROSA, EGAL OB FÜR MÄNNER ODER FRAUEN.“

Clarissa Blume-Jung

Das Gewand der Statue aus Delos, die ein Unterkleid trägt, über das sie ein rechteckiges Tuch schamhaft über ihre Schulter zieht – eine häufig dargestellte Pose – hält weitere Hinweise auf Farben bereit. „Man erkennt an einigen Stellen schwärzliche, zackige Spuren des einstigen Ornamentes des Mantels, bei denen es sich vermutlich um Farbreste, möglicherweise aber auch um eine Grundierung für einen Goldauftrag handeln könnte“, erklärt Clarissa Blume-Jung. An der Kante seiner Schmalseite weist der Mantel jedenfalls Goldspuren auf, die sich mit heute lilafarbenen Verwitterungsspuren abwechseln. Die Sohlen der Sandalen waren in drei Farbabschnitten gestaltet, die eine dreischichtige Sohle darstellen.

Hellblau und rosa waren in

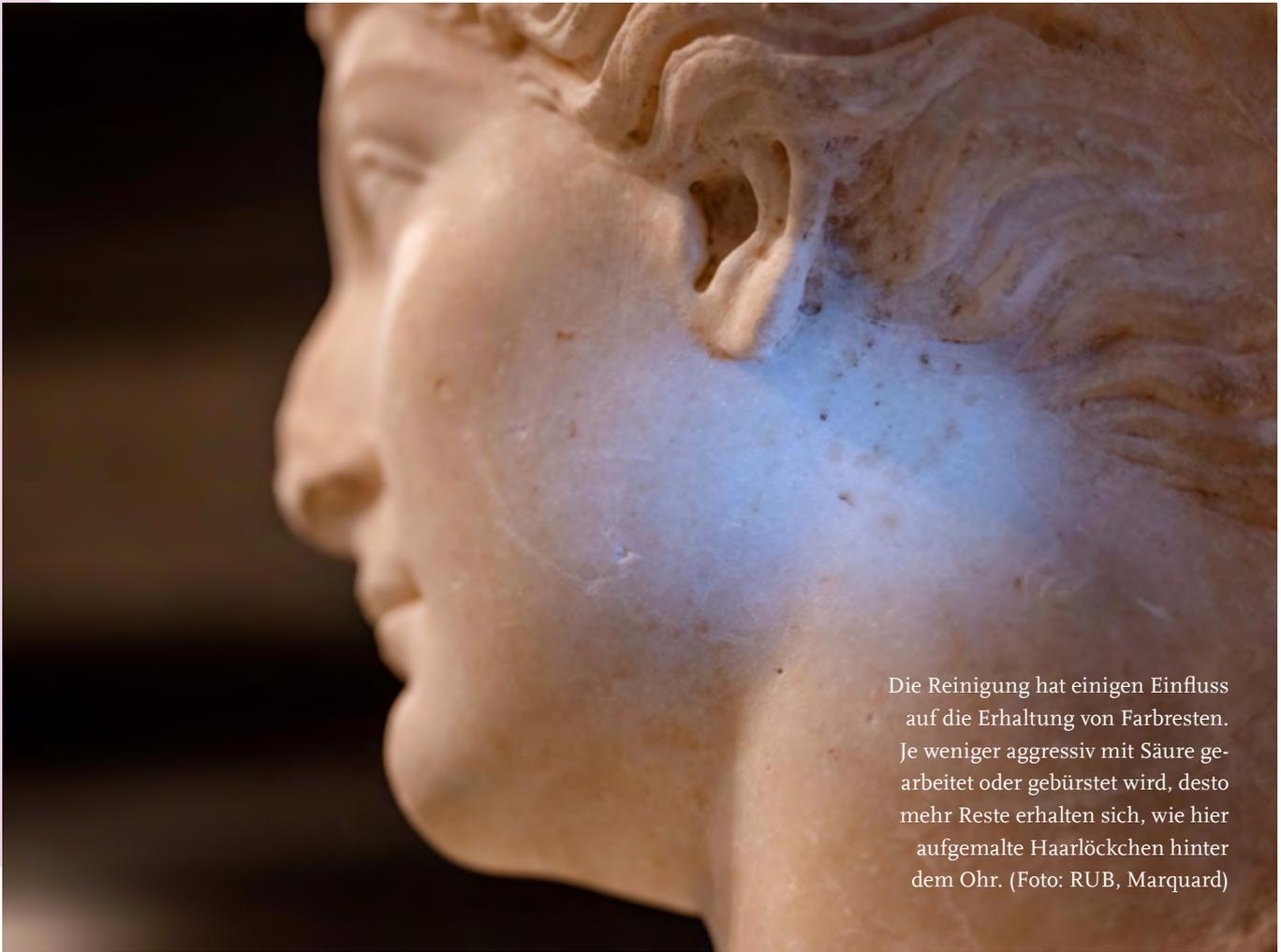
„Die Farben waren meistens Naturpigmente“, so Blume-Jung. „Ocker gibt es zum Beispiel in rot und gelb, aber auch in weiteren Farben. Grün war meist Malachit, und Rosa wurde in der Regel aus der Krappwurzel gewonnen.“ Diese und weitere Farben aus der Natur wurden für eine breitere Farbpalette zudem gemischt. „Besonders gern verwendete Farben waren in der hellenistischen Zeit Hellblau und Rosa, egal ob für Männer oder Frauen“, weiß Clarissa Blume-Jung. Unter UV-Licht kann sie den rosa Krapplack gut sichtbar machen. Für Blau verwendete man mitunter Azurit. Üblich war jedoch der Einsatz der künstlich hergestellten Farbe Ägyptisch Blau. Mithilfe von Infrarotfotografien (in der sogenannten VIL-Technik) kann man sogar Spuren der Farbe sichtbar machen, die das menschliche Auge ansonsten nicht mehr wahrnimmt.

Neben der genauen Betrachtung mit dem bloßen Auge nutzt Clarissa Blume-Jung ein Auflichtmikroskop, verschiedene Fototechniken sowie das Streiflicht. Dabei zeigen sich bei der Beleuchtung von der Seite winzige Höhenunterschiede im Stein (siehe Seite 6). Sie rühren daher, dass eine Farbe sich länger erhalten hat als die andere, und somit den Stein längere Zeit vor der Verwitterung geschützt hat. So erhält sich beispielsweise in den Augen eine Linie um die Iris. Oder die Pupille bleibt ein klein wenig erhaben. Nur in einzelnen, gut abgewogenen Fällen werden Analysen von Farben in Auftrag gegeben.

Wem das alles noch nicht genügt, der findet auch handfeste andere Beweise dafür, dass die Statuen bunt und geschmückt waren: „An Heiligtümern hat man Inschriften gefunden, in denen die Ausgaben genau aufgelistet waren, wahrscheinlich damit die Spender wussten, was mit ihrem Geld geschieht“, erzählt Clarissa Blume-Jung. „Da gibt es zum Beispiel Einträge wie ‚Bemalen‘ oder ‚Farben‘ für die ‚Fertigstellung‘ oder ‚Reparatur dieser oder jener Statue‘.“

Einen Unterschied gab es möglicherweise zwischen der Darstellung von Göttern und Menschen: die Haut. Clarissa Blume-Jung hat sowohl Statuen gefunden, auf deren Haut sich Farbreste finden, als auch solche, deren Haar und Kleidung zwar Farbreste aufweisen, die unbedeckte Haut aber nicht. „Vielleicht hat man bei einzelnen Statuen auch mal den weißen Marmor unbemalt gelassen oder nur mit Wachs überzogen“, stellt sie zur Diskussion. „Sicher ist, dass es bei Götterdarstellungen manchmal vergoldete Haut gab – bei der Darstellung von Menschen normalerweise nicht.“

Die Forscherin ist überzeugt, dass der Eindruck der Statuen ursprünglich ein ganz anderer war als heute. „Wenn man sich vorstellt, in einen Tempel zu gehen, und die Götterstatuen sind vielleicht groß, sehen aber ansonsten wie Menschen aus, dann ist das ganz anders, als wenn sie weiß und erhaben dastehen, so wie wir sie heute kennen. Die Menschenähnlichkeit sorgt für mehr Nähe. Und das deckt sich auch mit der literarischen Beschreibung der Götter in der griechischen Antike.“



Die Reinigung hat einigen Einfluss auf die Erhaltung von Farbresten. Je weniger aggressiv mit Säure gearbeitet oder gebürstet wird, desto mehr Reste erhalten sich, wie hier aufgemalte Haarlöckchen hinter dem Ohr. (Foto: RUB, Marquard)



Links: Auf dem Gewand, das der Bildhauer mit verschiedener Oberflächenbearbeitung des Marmors strukturiert hat, sind Reste einer Bemalung und Goldreste zu erkennen.

Oben: Das Haar der Statue war in verschiedenen Braun- und Ockertönen bemalt und wirkte lebendig.

(Fotos: C. Blume-Jung, Archäologisches Nationalmuseum Athen, aus C. Blume, Polychromie hellenistischer Skulptur. Ausführung, Instandhaltung und Botschaften (Petersberg 2015))

MIT BLANKEN ZÄHNEN LÄUFT ALLES GLATT

*Zahnräder sollen geschmeidig ineinandergreifen.
Dazu lassen sich Hersteller verschiedene Tricks einfallen.
Was sie bringen, wissen Bochumer Forschende.*

Zahnräder verrichten ihr Werk meistens im Verborgenen. Doch ohne sie läuft nichts: kein Auto, kein Flugzeug, kein Zahnarztbohrer, keine Windenergieanlage. „In jedem herkömmlichen Auto sind zwischen dem Motor und den Rädern mindestens 15 Zahnräder verbaut. Bei batterie-elektrischen Fahrzeugen sind es zwar üblicherweise nur etwa halb so viele, ohne Zahnräder geht aber auch hier nichts voran“, verdeutlicht Prof. Dr. Manuel Oehler die schiefe Masse dieser Bauteile. Noch nicht mitgezählt sind dabei die, die für Fensterheber, Außenspiegel- und Sitzverstellung und andere Nebenfunktionen zuständig sind. Und Autos mit ihren zusammengerechnet vergleichsweise wenigen Betriebsstunden sind nur ein Beispiel für ihren massenhaften Einsatz. Es lohnt sich daher, in die Qualität von Zahnradern zu investieren und damit sowohl in die Lebensdauer der von



Manuel Oehler (links) und Jacob Vorgerd wollen verstehen, wie Zahnräder verschleifen und wie man sie länger haltbar machen kann.

ihnen angetriebenen Maschinen als auch in die Energieeffizienz der entsprechenden Prozesse.

Wo die Stellschrauben sind, an denen man drehen kann, damit ein Zahnrad lange gut läuft, darum geht es bei der Arbeit des Teams von Manuel Oehlers Lehrstuhl für Antriebstechnik der Ruhr-Universität Bochum. Außerdem wollen die Ingenieur*innen herausfinden, ob und wie sich Schäden an Zahnradern vorhersagen lassen, sodass man Wartungs- oder Austauschintervalle sinnvoll planen kann. „Wenn man sich ein Offshore-Windrad vorstellt, hat man den enormen Aufwand vor Augen, den es bedeutet, ein Zahnrad in seinem Getriebe zu tauschen“, verdeutlicht Dr. Jaacob Vorgerd, Oberingenieur am Lehrstuhl. Mit Blick auf die dazu notwendigen Spezialschiffe und -kräne ist es da gut, genau zu wissen, wann es wirklich notwendig ist.

Am Lehrstuhl lässt sich das Leben eines Zahnrades praktisch von Anfang bis Ende verfolgen. „Die Studierenden stellen Zahnräder in unserer Werkhalle selbst her und vermessen sie mikrometergenau – auch wenn wir sie für alle anderen Zwecke von Projektpartnern beziehen“, erzählt Manuel Oehler und deutet auf eine altertümlich anmutende grüne Fräsmaschine. Die allermeisten Zahnräder werden aus Stahl gefertigt. Aus einem runden Rohling werden die einzelnen Zähne herausgefräst. All das können die Studierenden in der Werkhalle ausprobieren. In der industriellen Herstellung läuft das automatisiert ab, und die Zahnräder durchlaufen anschließend eine Wärmebehandlung, die die Oberflächen härtet. Ein letzter Schliff macht das Rad im Prinzip einsatzbereit.

Wenn es auf besondere Leistung ankommt – etwa im Flugzeugbau oder bei Windenergieanlagen – wird häufig ein größerer Aufwand betrieben. „Im Flugzeugbau kommt es natürlich besonders auf die Sicherheit an“, sagt Manuel Oehler. Durch die Wahl besonders hochwertiger Stähle ist hier auch die schlankere Auslegung von Zahnradern ohne Funktionsverlust möglich. So spart man Gewicht.

Wie haltbar die Zahnräder tatsächlich sind, können die Mitarbeitenden am Lehrstuhl für Antriebstechnik auf ihren Prüfständen ermitteln, in die Zahnräder verschiedener Größen passen. Die Laufzeiten liegen zwischen wenigen Minuten und mehreren Tagen, auch die Drehgeschwindigkeiten ▶

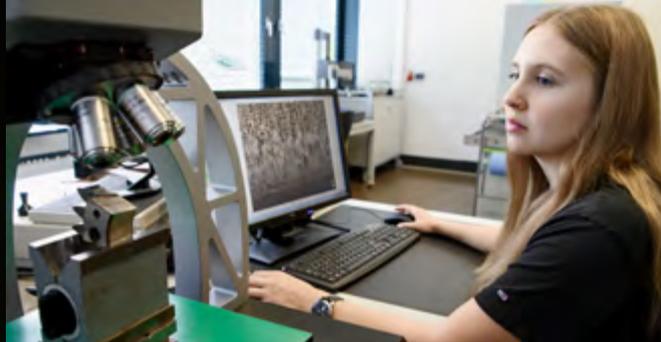
Beim Wälzfräsen sorgt der Kühlschmierstoff durch seine beiden namensgebenden Funktionen (kühlen und schmieren) dafür, dass weniger Verschleiß am Werkzeug auftritt und es länger einsetzbar ist.

IN EINEM HERKÖMMLICHEN AUTO SIND ZWISCHEN DEM MOTOR UND DEN RÄDERN MINDESTENS

15 ZAHNRÄDER VERBAUT.

sind anpassbar. An Stücken von Zahnrädern, die diese Tests durchlaufen haben, kann Jaacob Vorgerd zeigen, was im Laufe der Zeit passiert: Zunächst nehmen die Oberflächen der Zähne auf der Flanke Schaden, mit der sie mit dem gepaarten Zahnrad in Kontakt stehen. Erste Schäden sind mit bloßem Auge kaum zu sehen. Ausgeprägtere Schäden entstehen durch Reibung und Hitze. „Im schlimmsten Fall verfärben und verformen sich die Zähne. Oder es brechen sogar einzelne Zähne ab“, zeigt Vorgerd an einem Zahnradteil eines Hubschraubergetriebes, das zu Testzwecken bis zum Versagen ohne Öl gelaufen ist. „Dabei ging es darum zu zeigen, dass der Hubschrauber auch im Falle eines Totalversagens noch sicher landen kann“, erzählt er.

Damit auch kleine Schäden möglichst lange hinausgezögert werden können, kommt es besonders auf die Zahnober-



Nadja Aufderstroth untersucht die Oberfläche eines Zahnrades unter dem Mikroskop.

i SCHMIERMITTEL

Das Team des Lehrstuhls Antriebstechnik analysiert auch im Herstellerauftrag die Wirkung von verschiedenen Ölen und Fetten als Schmiermittel. „Darin können neben dem Grundöl verschiedenste Komponenten enthalten sein, die die Laufeigenschaften von Zahnrädern verbessern“, erklärt Manuel Oehler. „Das sind wahre Zaubertränke.“ Polymere sorgen für konstantes Verhalten unter verschiedenen Temperaturen, andere Komponenten bilden schützende Schichten auf der Stahloberfläche aus, harte Partikel lagern sich darauf an, reduzieren die Reibung und schützen die Oberfläche vor dem Verschleifen.



Mit diesem Prüfstand werden Zahnräder mit Durchmessern von mehr als einem halben Meter geprüft. Zwischen den Zahnrädern kreist eine Leistung von bis zu acht Megawatt. Der Lehrstuhl für Antriebstechnik ist die einzige Forschungseinrichtung in Deutschland, die einen Prüfstand dieser Bauart in dieser Größenordnung betreibt.

flächen an, die miteinander in Kontakt treten. Je glatter die Oberfläche ist, desto weniger Reibung und Verschleiß treten normalerweise im Betrieb auf. Das Lehrstuhlteam hat die Effekte verschiedener zusätzlicher Oberflächenveredlungen untersucht: Beim Gleitschleifen werden die Zahnräder in ein Becken mit keramischen Körpern getaucht, die in Schwingungen versetzt werden und kleinste Partikel von der bereits geschliffenen Oberfläche abtragen. „Das kann man sich so vorstellen wie einen Rheinkiesel, der im Wasser immer glatter wird“, verdeutlicht Manuel Oehler. Messungen mit einem Autofokus-Mikroskop, das Oberflächen samt Höheninformationen aufnehmen kann, haben ergeben, dass dadurch die Rauheit der Oberfläche auf Erhebungen von 0,1 Mikrometer sinkt – nach dem Standardschliff beträgt sie 0,3 Mikrometer.

„Sollen die Zähne noch widerstandsfähiger werden, kann die Oberfläche im Zahngrund – das ist der tiefste Bereich der Zahnlücken – kugelgestrahlt werden.“ Wie beim Sandstrahlen wird die Stahloberfläche dabei mit kleinsten Metallkügelchen beschossen. Es entstehen dadurch winzige Eindrücke, die die Oberfläche verfestigen. „Das erhöht den Widerstand gegen feinste Risse“, erklärt Jaacob Vorgerd.

Die Kosten für diese Veredlungsverfahren machen 10 bis 15 Prozent der Gesamtkosten für ein Zahnrad aus. Lohnt sich das? Mit dieser Frage treten Industriepartner an das Lehrstuhlteam heran. Die Antwort in diesem Fall: klar ja. „Wenn der Wirkungsgrad durch so eine Behandlung auch nur um einen Prozentpunkt steigt – beispielsweise von 98 auf 99 Prozent – bedeutet das, dass sich die Verlustleistung halbiert“, erklärt Manuel Oehler. „99 Prozent der Energie, die das Zahnrad antreibt, werden in die gewünschte Bewegung des Antriebs übertragen, und nur ein Prozent verflüchtigt sich in Form von Wärme.“

In den Prüfständen des Lehrstuhls lassen sich die Effekte messen. „Wir können vor allem über die Messung von Vibrationen ablesen, wie gut ein Zahnrad läuft“, erklärt Jaacob Vorgerd. „Stärkere Vibrationen sind ein Anzeichen für Schädigungen, zum Beispiel feinste Risse in den Oberflächen.“ Ein weiteres Indiz ist die Temperatur des jeweiligen Schmiermittels: Der Vergleich der Temperatur des Öls, das den Antrieb schmiert, beim Eintritt und beim Austritt ist eine hochgenaue Methode zur Reibungsmessung.

Im Abgleich mit diesen Experimenten entwickeln die Forschenden Modelle, um Schäden von Zahnrädern zu simulieren. So versuchen sie vorherzusagen, wie lange ein Zahnrad problemlos laufen wird, wie groß ein Wartungsintervall sein sollte oder wann man es vorsorglich austauschen muss.

Text: md, Fotos: rs

Interview

VOM ORBIT IN DIE ERDKRUSTE

Mit Seismometern entdeckt man Erdbeben in der Regel, wenn es schon zu spät ist. Jonathan Bedford forscht mit einer Technik, die mehr Weitblick verspricht.

” BEI DER
FELDARBEIT LERNT
MAN TOLLE LEUTE
KENNEN. “

Jonathan Bedford

Prof. Dr. Jonathan Bedford misst Bewegungen der Erdkruste mit GPS. Damit versucht er, der Entstehung von Erdbeben auf die Spur zu kommen. Denn die Bewegung der einzelnen Platten der Erdkruste führt zu Spannungen und Verwerfungen, die sich in Form von Erdbeben entladen können. Im Interview erklärt Bedford, warum es so schwer ist, Erdbeben vorherzusagen, spricht über die Herausforderungen, denen sich seine Disziplin gegenüber sieht, und erzählt, wie er sein erstes Erdbeben erlebt hat.

Professor Bedford, warum ist es so schwer, Erdbeben vorherzusagen?

Ich denke, das liegt daran, dass wir die Instrumente nicht nah genug an die Verwerfungen heranbringen können, an denen die Erdbeben entstehen. Oft sind die Bereiche der tektonischen Platten, die sich übereinander bewegen oder an denen die Platten gebrochen sind, schwer zugänglich, weil sie sich an abgelegenen Orten und viele Kilometer unter der Erde befinden.

Welche Orte sind das?

Die größten Erdbeben sind Subduktionsbeben, bei denen eine tektonische Platte unter die andere abtaucht. Dabei entstehen oft Beben der Stärke 8 oder 9. Die meisten davon ereignen sich unter dem Meer, und es ist sehr schwierig, dort Daten zu erheben.

Ein weiterer Grund, der eine Vorhersage schwierig macht, sind die Kosten für die Messgeräte. Die Hardware war lange Zeit sehr teuer. Mittlerweile sinken die Kosten, nun ist die menschliche Logistik der teuerste Aspekt, weil wir Leute für die Feldarbeit ausbilden müssen. Meiner Meinung nach geben wir nicht annähernd genug Geld aus, wenn man bedenkt, wie viele Menschenleben auf dem Spiel stehen.

Sie nutzen die GPS-Technologie anstelle von Seismometern, um geologische Bewegungen zu erfassen. Wie präzise ist das Verfahren?

Mit dem besten Equipment, das wir haben, können wir Bodenpositionen mit einer Genauigkeit von einigen Millimetern in der Horizontalen und etwas mehr als einem Zentimeter in der Vertikalen messen. Bei Mobiltelefonen haben wir mit GPS normalerweise eine Auflösung von fünf bis zehn Metern, weil diese nur Signale einer einzigen Frequenz nutzen. Wir verwenden mehrere Frequenzen, was unsere Messungen genauer macht. Aber wir müssen sehr vorsichtig bei unseren Analysen sein.

i MIKROPLATTEN IN GRIECHENLAND BEOBACHTEN

Mithilfe globaler Satellitennavigationssysteme analysiert Jonathan Bedford, wie sich die tektonischen Platten in verschiedenen Teilen der Welt bewegen. In Griechenland interessiert er sich besonders für die sogenannten Mikroplatten, also kleine tektonische Platten, deren Bewegungen nur unzureichend verstanden sind. Bedfords Ziel ist es, diese Bewegungen zu modellieren und die Algorithmen anderen Forscherinnen und Forschern zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus wollen er und sein Team zeigen, dass es möglich ist, mit kostengünstigem Equipment Daten von guter Qualität zu sammeln. Im Rahmen des Projekts planen die Forschenden, einen Methoden-Artikel mit detaillierten Informationen über den Aufbau der Messstationen zu veröffentlichen, damit Kolleginnen und Kollegen von den Erfahrungen im Feld profitieren können. Die Arbeit von Jonathan Bedford wird vom Europäischen Forschungsrat mit 1,8 Millionen Euro bis 2027 gefördert.

Warum?

Die Technologie arbeitet mit Satelliten, die die Erde mit einer bestimmten Geschwindigkeit umkreisen. Dabei erfahren sie eine andere Schwerkraft als die Erdoberfläche, was zu relativistischen Effekten führt. Die Zeit vergeht in der Umlaufbahn der Satelliten mit einer anderen Geschwindigkeit als auf der Erde. Um das zu korrigieren, müssen wir einige ausgeklügelte Berechnungen anstellen.

Sie und Ihr Team haben 2024 eine Menge Messstationen in Griechenland installiert. Wieso genau dort?

Griechenland ist eine der erdbebengefährdetsten Regionen Europas, aber die Dichte der Messstationen ist im Vergleich zu anderen Ländern geringer. Außerdem sind einige tektonische Gegebenheiten dort für unsere Forschung besonders interessant.

Wie viele Stationen haben Sie schon ausgebracht?

Bislang 49 in Griechenland. Wir hoffen, dass in den nächsten Monaten weitere 23 dazukommen. Die Arbeit im Feld ist allerdings immer unvorhersehbar. Manchmal plant man, eine Station irgendwo zu platzieren, und dann stellt sich der Standort als nicht geeignet heraus. Oder man hat sich mit jemandem verabredet, der aus irgendeinem Grund den Termin nicht wahrnehmen kann. ▶

i DIE BEWEGUNGEN TEKTONISCHER PLATTEN MIT GPS BESTIMMEN

Globale Satellitennavigationssysteme – umgangssprachlich als GPS bekannt – sind nicht nur nützlich für das Navigieren im Auto oder zu Fuß. Mit ihnen lassen sich auch Bewegungen anderer Dinge messen, etwa der tektonischen Platten. Es gibt mehr als 20.000 Messstationen globaler Satellitennavigationssysteme (GNSS) weltweit, die speziell für die geowissenschaftliche Forschung installiert wurden. GPS ist nur eines von mehreren GNSS. Entwickelt wurde es vom US-amerikanischen Militär; auch Russland, China und die Europäische Union betreiben eigene globale Satellitennavigationssysteme. Umgangssprachlich hat sich die Abkürzung GPS – für Global Positioning System – als Synonym für globale Satellitennavigationssysteme im Allgemeinen etabliert.

Wo genau installieren Sie die Stationen?

In Griechenland haben wir die Erlaubnis, in die Dächer öffentlicher Gebäude zu bohren, um dort unsere Antennen anzubringen. Wir versorgen sie entweder mit einer Kombination aus Solarpanel und Batterie oder schließen sie an die Stromversorgung der Gebäude an. Für die Installation einer Station benötigen wir im Durchschnitt drei bis vier Stunden. Normalerweise machen wir eine Station pro Tag. Wir versuchen, morgens fertig zu werden, und gehen dann lecker griechisch essen.

Ich habe auch schon viel in Chile gearbeitet, wo wir die Stationen in der Regel in den Fels bohren.

Was sind die größten Herausforderungen bei der Feldarbeit?

Das ist von Ort zu Ort verschieden. In Griechenland muss man vor allem mit der Hitze fertig werden. Im Süden Chiles sind es die Insekten, die sehr lästig sind. Im Norden Chiles ist die Wüste eine Gefahr; man kann Hunderte von Kilometern von einem sicheren Ort entfernt sein, also muss man vorausplanen, um nicht zu stranden.

Haben Sie während Ihrer Reisen selbst einmal ein Erdbeben erlebt?

Einige. Das erste richtige war in Chile in Concepción. Dort hatte es 2010 ein Erdbeben der Stärke 8,8 gegeben. Zwei Jahre später war ich in der Nähe des Epizentrums, und es gab immer noch Nachbeben. Es war ein Beben der Stärke 5,8 – und eine sehr merkwürdige Erfahrung. Zuerst hat mein Gehirn versucht, mir zu sagen, dass es kein Erdbeben sei, sondern dass es irgendeinen anderen plausiblen Grund geben müsse. Aber dann fing es an zu wackeln. Die Menschen auf den Straßen haben gejammert. Sie waren verängstigt, weil sie noch immer von dem großen Erdbeben 2010 traumatisiert waren.

Später habe ich ein weiteres Erdbeben der Stärke 6 im Norden Chiles miterlebt. Ich war in einem Hotel. Viele Kinder fingen an zu weinen, was mich etwas beunruhigt hat. Ich hab mich darauf vorbereitet, die Evakuierungsrouten in höher gelegene Gebiete zu nehmen, aber letztendlich mussten wir nicht evakuiert werden.

Die Forschenden montieren Messstationen wie diese auf Dächern von Gebäuden oder im Fels. Die Bewegungen der Stationen werden vom globalen Satellitennavigationssystem erfasst – und somit auch die Bewegungen der Erdkruste. (Foto: Anna Schulte)



Jonathan Bedford installiert eine Messstation in der chilenischen Atacama-Wüste. (Foto: Jonathan Bedford)

Für Ihre Feldarbeit haben Sie sich einige der seismisch gefährlichsten Regionen der Welt ausgesucht. Macht Ihnen das keine Sorge?

Man muss dorthin gehen, wo es etwas zu messen gibt. Ich bin mir der Gefahr bewusst, aber ich habe keine Angst. Als ich in Chile gearbeitet habe, gab mir jemand den Rat, immer Wasser dabei zu haben, weil das wohl das Wichtigste ist, wenn man ein großes Erdbeben erlebt. Daran halte ich mich immer. Man muss auch bedenken, dass viele Menschen – einer von dreien weltweit – in einem erdbebengefährdeten Gebiet leben. Es ist also nichts Besonderes, sich an einen solchen Ort zu begeben.

Ist es wichtig für Sie, die Feldarbeit selbst zu machen?

Ja, sehr. Leider gibt es in der Geophysik einige Leute, die zwar forschen, aber nicht so einen großen Beitrag zur Feldarbeit leisten – vielleicht wegen des Zeitdrucks in der akademischen Welt oder weil sie nie die Gelegenheit dazu hatten. Letztendlich brauchen wir aber mehr Daten. Ich empfinde es als etwas unausgewogen, dass viele Forschungsprojekte mit vorhandenen Daten arbeiten, aber nicht so viele neue Daten sammeln. Es gibt nicht genügend Schulungen zur Feldarbeit, und sie wird auch nicht ausreichend gewürdigt. Außerdem kann Feldarbeit sehr teuer sein, sodass wir einen nachhaltigen Weg finden müssen, um sie durchzuführen. Wir brauchen auch eine bessere Koordination der Feldarbeit auf internationaler Ebene. Das ist etwas, worüber ich mit meinen Kolleginnen und Kollegen sprechen muss, zumindest was die GNSS-Messstationen angeht.

Trotz all der Herausforderungen scheint Ihnen die Arbeit im Feld zu gefallen.

Bei der Feldarbeit lernt man tolle Leute kennen. Wenn man mit jemandem in einem Zelt an einem abgelegenen Ort Zeit verbracht hat, hat man eine besondere Verbindung.

Was wünschen Sie sich für Ihre künftige wissenschaftliche Karriere?

Wenn ich Glück habe, liegen noch 30 Jahre Forschung vor mir. Ich würde mir wünschen, dass meine Community im Lauf dieser Zeit weniger reaktiv und mehr proaktiv handelt. Die ersten Veränderungen sind bereits wahrnehmbar.

Standpunkt

„WIR MÜSSEN MEHR IN DIE ERDBEBEN-FORSCHUNG INVESTIEREN“



Jonathan Bedford hat eine Vision: Er glaubt, dass Erdbeben eines Tages vorhersagbar sein werden. GPS könnte der Schlüssel dazu sein. Aber noch sind einige Anstrengungen nötig.

Viele Leute in meinem Forschungsbereich gehen davon aus, dass Erdbeben grundsätzlich unvorhersagbar sind. Ich würde dem widersprechen.

Wir befinden uns in einem sehr frühen Stadium der Erdbebenforschung: Seismometer gibt es seit etwa 150 Jahren, und GPS, das ebenfalls genutzt werden kann, um Bewegungen der Erdkruste zu verfolgen, seit zwei bis drei Jahrzehnten. Die Disziplin ist also noch sehr jung. Wenn wir mehr Daten zur Verfügung hätten, könnten wir das Verhalten der Verwerfungen vorhersagen. Ob wir damit auch Erdbeben prognostizieren könnten, bleibt abzuwarten. Aber in der Forschungscommunity wächst der Optimismus, dass das eines Tages möglich sein wird.

Ein Grund dafür ist, dass wir heutzutage auch im Labor eine Menge Daten erheben können. Wir können zum Beispiel Gesteinsproben unter Druck setzen oder Verwerfungen im kleinen Maßstab nachbilden. Aus solchen Daten lässt sich ein Modell erzeugen, das die Prozesse an der Verwerfung vorhersagen kann. Mithilfe der GPS-Technik können wir außerdem Wochen oder Monate vor einem Erbeben sehen, wo sich eine Verwerfung bewegt. Solche Bewegungen haben nicht immer eine seismische Signatur, daher können sie von Seismometern nicht erfasst werden. GPS hat das Potenzial, in Echtzeit zu zeigen, was an der Verwerfung geschieht. Um daraus aber eine Vorhersage zu generieren, brauchen wir eine gemeinsa-

me Anstrengung von Hunderten oder Tausenden von Leuten in unserem Forschungsfeld.

In der Erbebenforschung müssen wir uns meines Erachtens dazu verpflichten, mehr Daten zu generieren. Wenn man unser Gebiet mit der Teilchenphysik oder Astronomie vergleicht, geben wir nicht annähernd so viel Geld aus wie diese Disziplinen. Das ist schade. Man stelle sich vor, wie viele Menschen bei einem großen Erdbeben sterben könnten – und wie viele bereits gestorben sind. Das Beben 2004 im Indischen Ozean hat Hunderttausende das Leben gekostet; in der Türkei und in Syrien starben 2023 Zehntausende. Wenn man sich vor Augen hält, wie viele Menschenleben auf dem Spiel stehen, müssten wir weitaus mehr investieren.

Fördermittel für die Forschung bekommt man in der Regel, wenn man Daten in einer bestimmten Region aufzeichnen möchte, die besonders erdbebengefährdet ist, aber wenig untersucht. Sich so auf bestimmte Gebiete zu konzentrieren, ist jedoch ein konservativer Ansatz. Ich denke, wir sollten den ganzen Planeten, vor allem die Verwerfungszonen, mit Messstationen übersäen und so viele Daten wie möglich sammeln. Mit mehr Daten und ausgefeilteren Techniken könnten Erdbebenvorhersagen eines Tages möglich sein.

Wir müssen ehrgeiziger werden!

Text: Jonathan Bedford, Foto: RUB, Marquard

Wasserwirtschaft

DIE ZUKUNFT DES WASSERS

Menschliches Handeln und Extremwetter belasten die Qualität des Süßwassers. Bochumer Forschende haben die Auswirkungen weltweit im Blick.



August 2024: Die Olympischen Spiele in Paris sind ein gigantisches Sportereignis. Einer ihrer Höhepunkte soll das Marathonschwimmen in der Seine werden. Ein gewagtes Unterfangen, denn der geschichtsträchtige Fluss hat schon seit Jahrzehnten ein großes Problem: Das Wasser ist schlicht zu dreckig zum Baden. Schwimmer riskieren Haut- und Magen-Darm-Infektionen. Schuld daran sind Fäkalbakterien wie *Escherichia coli*. Letztlich gelang es durch eine milliarden schwere Investition in ein riesiges Regen-Rückhaltebecken, den Anschluss von 23.000 Wohnungen an Kläranlagen und andere Maßnahmen, die Wasserqualität so weit zu verbessern, dass die Freiwasser-Wettkämpfe (fast) wie geplant stattfinden konnten.

Die Diskussion um die Seine hat wenigstens für die Zeit der Olympischen Spiele die Aufmerksamkeit auf die Wasserqualität in Flüssen und anderen Gewässern gerichtet. Ein Umstand, den Prof. Dr. Martina Flörke sowohl begrüßt als auch bedauert. Flörke leitet den Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft an der Ruhr-Universität Bochum und beschäftigt sich intensiv damit, welche Folgen die Wassernutzung und Wasserverschmutzung durch den Menschen auf die künftige Verfügbarkeit dieser Ressource haben.

„Wasser wird immer dann ein Thema, wenn plötzlich ein Extrem auftritt, wenn wir eine Trockenheit haben, ein Fischsterben in der Oder, extremes Hochwasser mit Überflutungen

oder wenn die Freischwimmwettbewerbe der Olympischen Spiele auf der Kippe stehen. Und danach ist das plötzlich alles wieder vergessen. Da tritt eine gewisse Demenz ein“, erklärt die Wissenschaftlerin ihr Bedauern.

Ihrer Meinung nach muss Wasser viel öfter mitgedacht werden. Sei es im Hinblick auf den Klimawandel oder beim Bau neuer Fabriken wie dem Tesla-Werk nahe Berlin, welches das Wasserwerk der Region ans Limit bringt – der Versorger warnt vor Problemen bei der Trinkwasserversorgung. „Starkregenereignisse sorgen beispielsweise für Überflutungen und überschwemmte Kläranlagen, was zu Umweltbeeinträchtigungen führt, da ungeklärte Abwässer in die Gewässer gelangen“, erläutert Flörke den Zusammenhang zwischen Starkregen und Gewässerverschmutzung. Das müsse besser verstanden werden und auch der Bevölkerung gegenüber besser kommuniziert werden.

Besseres Wassermanagement gefragt

Gleichzeitig ist Wasser ein globales Thema. Martina Flörke und ihre Mitarbeitenden nutzen daher ein großskaliges Modell-Framework, das die Verteilung und Verfügbarkeit von Wasser im weltweiten Maßstab simuliert. „Großskalige Modelle bieten die Möglichkeit, Süßwasserressourcen auch in Gegenden zu bewerten, in denen nur wenige Daten verfügbar sind“, sagt Martina Flörke. Dafür teilen die Forschenden ▶

Flüsse wie hier der Rhein werden von Menschen intensiv genutzt. Als Transportweg, für die Trinkwasserversorgung, als Naherholungsgebiet, zur Ableitung von Abwässern und für die Energiegewinnung.



die ganze Erdkugel in ein Raster mit neun mal neun Kilometer großen Zellen ein, stellen zunächst den Ist-Zustand der Gewässer-Qualität dar und berechnen dann die Folgen verschiedener Szenarien. Das Programm haben sie selbst entwickelt, wofür viel Programmierarbeit vonnöten war und immer noch ist.

So kann man zum Beispiel sehen, welche Auswirkungen der Bau einer Kläranlage in einem Landstrich in Afrika auf die Verunreinigung der dortigen Flüsse mit Fäkalbakterien haben würde. Gerade in Entwicklungsländern sei das Wassermanagement noch sehr schlecht. Teilweise würden Abwässer zwar in Kanälen aufgefangen, diese leiten das Wasser jedoch oft nicht in eine Kläranlage, sondern unge reinigt in Flüsse.

Wasserknappheit und Wasserverunreinigung

Das Besondere an dem Modell ist, dass viele verschiedene Modelloptionen durchgespielt werden können. So können verschiedene Konzentrationen von Schadstoffen wie fäkal-coliformen Bakterien, Phosphor oder gelösten Feststof-

fen in Gewässern simuliert werden. Auch ob die Schadstoffe aus Kläranlagen, Industrieabwässern oder aus der Landwirtschaft stammen, lässt sich einstellen.

Modelle wie dieses helfen zu verstehen, wo Nähr- und Schadstoffe in Gewässern verbleiben und wie sie sich verhalten. Sie helfen Hotspots zu identifizieren, die Auswirkungen zu bewerten und Lösungen zu entwickeln, um Wasserknappheit oder Verunreinigungen zu reduzieren oder zu verhindern. „Aus unseren Prognosen leiten sich Empfehlungen ab, womit wir Politik und Industrie unterstützen. Das hilft vor allem bei der Entscheidungsfindung, ob und welche Investitionen für die Wasserinfrastruktur getätigt werden sollten“, erklärt Flörke

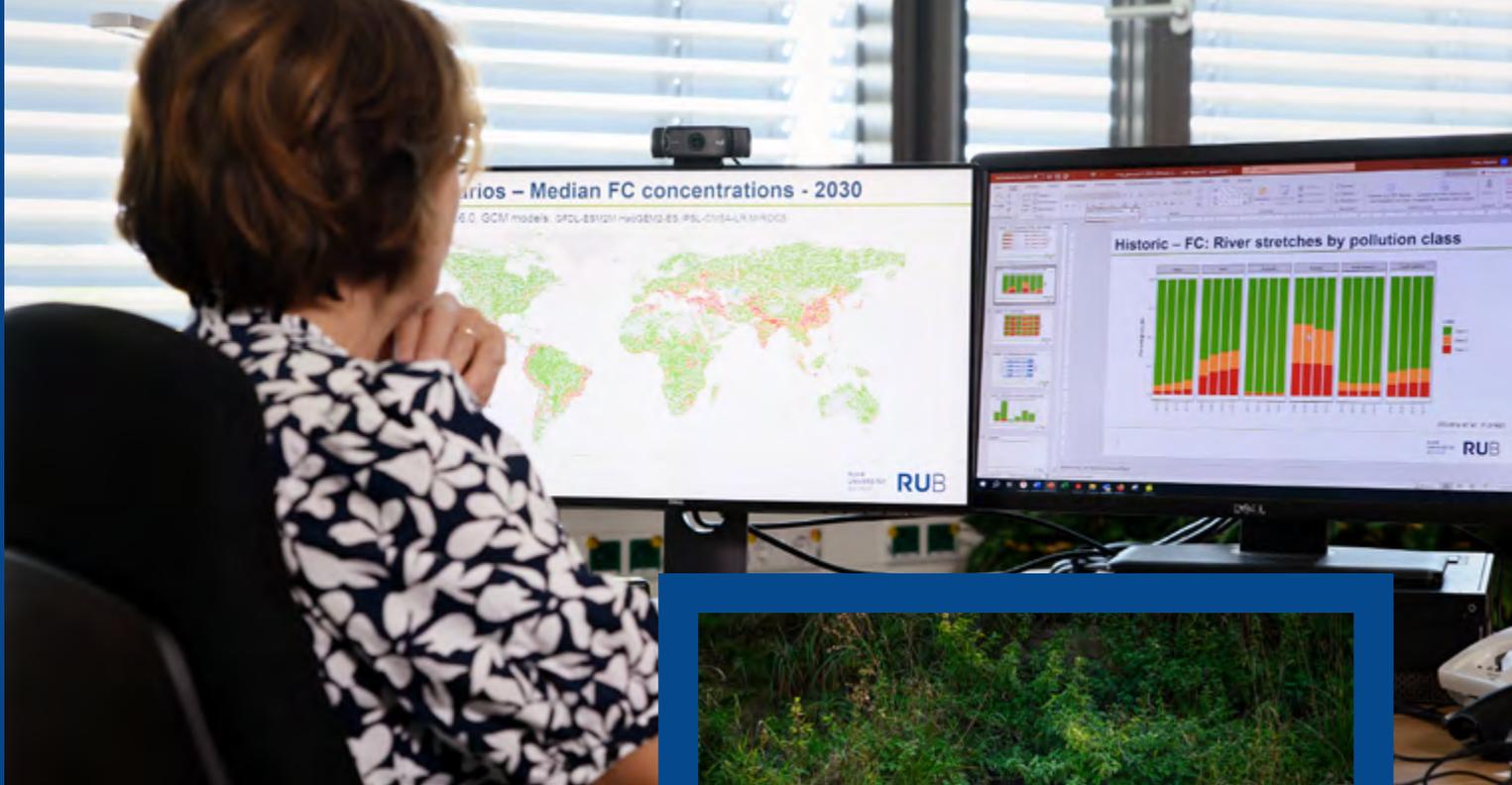
Auch für die Bewertung des Wasser-Fußabdrucks spielen die Daten eine Rolle. Denn jedes Produkt, das wir in die Hände bekommen, kam irgendwann einmal mit Wasser in Verbindung. Und dabei spielen die globalen Modelle eine Rolle. Wo kommt das Produkt her? Wie viel Wasser hat das Produkt dort verbraucht? Wie wurde mit dem Wasser am Produktionsstandort anschließend umgegangen? Kam es

”
AUS UNSEREN
PROGNOSEN LEITEN
SICH EMPFEHLUNGEN
AB, WOMIT WIR
POLITIK UND INDUSTRIE
UNTERSTÜTZEN.
“



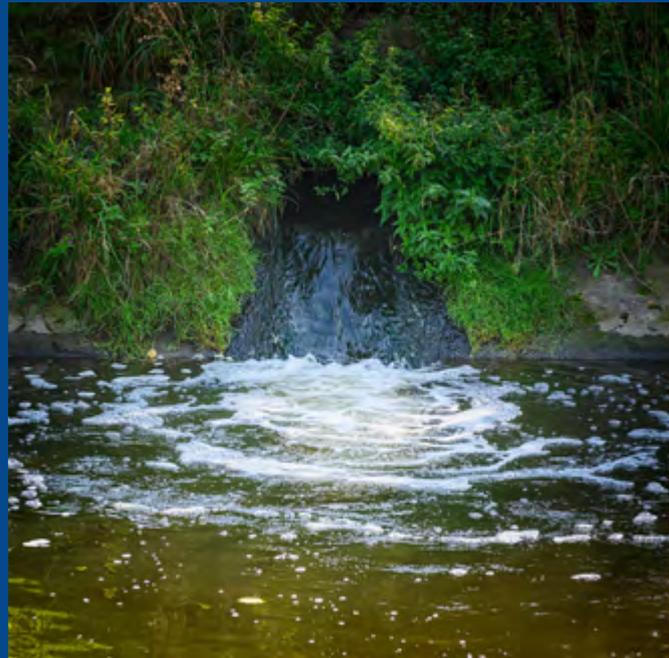
Prof. Dr. Martina Flörke leitet den Lehrstuhl für Ingenieurhydrologie und Wasserwirtschaft an der Ruhr-Universität Bochum. Sie untersucht, welche Folgen die Wassernutzung und Wasserver- schmutzung durch den Menschen auf die künftige Verfügbar- keit dieser Ressource haben.

Martina Flörke



Modelle helfen zu verstehen, wo Nähr- und Schadstoffe in Gewässern verbleiben und wie sie sich verhalten.

Hydrologen können mittels Modell verschiedene Konzentrationen von Schadstoffen wie fäkal-coliforme Bakterien, Phosphor oder gelöste Feststoffe in Gewässern simulieren. So können sie die Folgen solcher Verschmutzungen prognostizieren.



zu Wasserverschmutzung oder hat die Herstellung des Produkts zur Wasserknappheit beigetragen?

Doch auch im kleinskaligen Bereich betreiben Martina Flörke und ihre Mitarbeitenden Untersuchungen. In einer jüngeren Studie für das Umweltbundesamt haben sie beispielsweise aktuelle Prognosen für zukünftige Wassernutzungskonflikte in Deutschland analysiert, die als Folge der Auswirkungen von Trockenheit und Dürre vermehrt auftreten. „Dafür haben wir das Auftreten von Nutzungskonflikten recherchiert und zukünftige Regionen identifiziert, wo das Wasser möglicherweise nicht für alle Nutzer und die Natur in ausreichender Menge zur Verfügung stehen wird. In den Sommern 2018 bis 2023 konnte man dies bereits mancherorts selbst erleben“, sagt Martina Flörke.

Klar ist, dass es Regionen in Deutschland gibt, die in der vergangenen Dekade trockener geworden sind – vor allem im Osten –, manche sind aber auch feuchter geworden. In ihren Prognosen zur Wasserverfügbarkeit und Wassernutzung haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich einerseits den Zeitraum bis 2050 angeschaut, und dann noch darüber hinaus bis zum Ende des Jahrhunderts. Fragen

waren: Wie ändert sich die Grundwasserverfügbarkeit? Wie verhält sich die Grundwasserneubildung, die stark von den klimatischen Gegebenheiten, Landnutzung und Bodenverhältnissen abhängig ist? Wie kann sich die zukünftige Wassernutzung der öffentlichen Wasserversorgung an Trockenheit und Dürre anpassen? Welche Maßnahmen können die Industrie, der Energiesektor, aber auch die Landwirtschaft treffen, um sich auf Mangelsituationen vorzubereiten?

Je nachdem, welche Konsequenzen Industrie, Politik und Landwirtschaft aus Studien wie dieser ziehen, werden wir alle davon betroffen sein. Denn das ist es, was im Gespräch mit Martina Flörke deutlich wird: Wasser und der Schutz der Wasserqualität gehen uns alle an. Und letztlich profitieren wir auch alle davon, wenn geeignete Maßnahmen ergriffen werden. So wie die Menschen aus dem Großraum Paris, die nach Jahrzehnten des Badeverbots nun wieder in der Seine schwimmen dürfen.

Text: rr, Fotos: rs

Im Gespräch

DIE TRÜMPFE DER KURZEN WELLENLÄNGE

Die neuesten Entwicklungen der Halbleitertechnologie erlauben die praktische Nutzung von Terahertzwellen. Ein großes Netzwerk geht den Wellenlängenbereich von allen Seiten an.

Zwischen dem Infrarot- und dem Mikrowellenbereich liegen die Terahertzwellen. Sie dringen in Materialien kaum ein – bleiben also an der Oberfläche und können sie sehr genau abbilden. Das ist bei weitem nicht ihr einziger Vorteil für vielfältige Anwendungen, doch waren die interessanten Wellenlängen, die kleiner als einen Millimeter sind, bisher nur durch aufwändige Laboraufbauten nutzbar. Das ändert sich dank der modernen Halbleitertechnik. terahertz.NRW, ein großes Netzwerk aus über 40 Forschenden aus Nordrhein-Westfalen, hat sich auf den Weg gemacht, die Terahertz-Lücke zu schließen. Prof. Dr. Ilona Rolfes und Prof. Dr. Nils Pohl aus der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik koordinieren die Arbeiten des Netzwerks an der Ruhr-Universität Bochum.

Frau Prof. Rolfes, Herr Prof. Pohl: Warum sind Sie so fest entschlossen, Terahertzstrahlung nutzbar zu machen?

Ilona Rolfes: Terahertzwellen mit ihrer sehr kleinen Wellenlänge erlauben die Charakterisierung sehr feiner Strukturen, wie zum Beispiel von Materialeigenschaften. Diese Möglichkeit macht die Wellen auch für medizinische Anwendungen interessant: So könnten zum Beispiel Erkrankungen wie Hautkrebs damit untersucht werden.

Dabei käme ein weiterer Vorteil von Terahertzwellen zum Tragen, nämlich, dass sie nicht ionisierend und daher medizinisch unbedenklich sind, anders als zum Beispiel Röntgenstrahlung.

Nils Pohl: Die kleinen Wellenlängen bedeuten auch, dass wir sehr kompakte Antennen bauen können, was ideal für mobile Anwendungen ist. Zudem verfügen wir im Terahertzbereich über eine große Frequenz-Bandbreite. Diese ermöglicht zum Beispiel sehr hohe Datenraten in der Kommunikationstechnik und sehr hochauflösende Sensorik. Das macht die Technologie so attraktiv für die Autoindustrie, zum Beispiel für die Umfelderkennung bei autonom fahrenden Fahrzeugen. Die Möglichkeit, Abstände mikrometergenau zu messen,

macht die Terahertzwellen außerdem für industrielle Anwendungen sehr attraktiv.

Rolfes: Ein weiteres Anwendungsfeld ist die Umfelderkennung in der Robotik oder die Erkundung von Katastrophengebieten aus der Luft. Dabei geht es darum, dass Roboter nicht mit Dingen oder Personen in ihrer Umgebung kollidieren, oder darum, nach einem Erdbeben aus der Luft mit Drohnen nach Verschütteten zu suchen. Anders als andere Wellenlängen werden Terahertzwellen kaum durch Nebel oder Niederschlag beeinträchtigt.

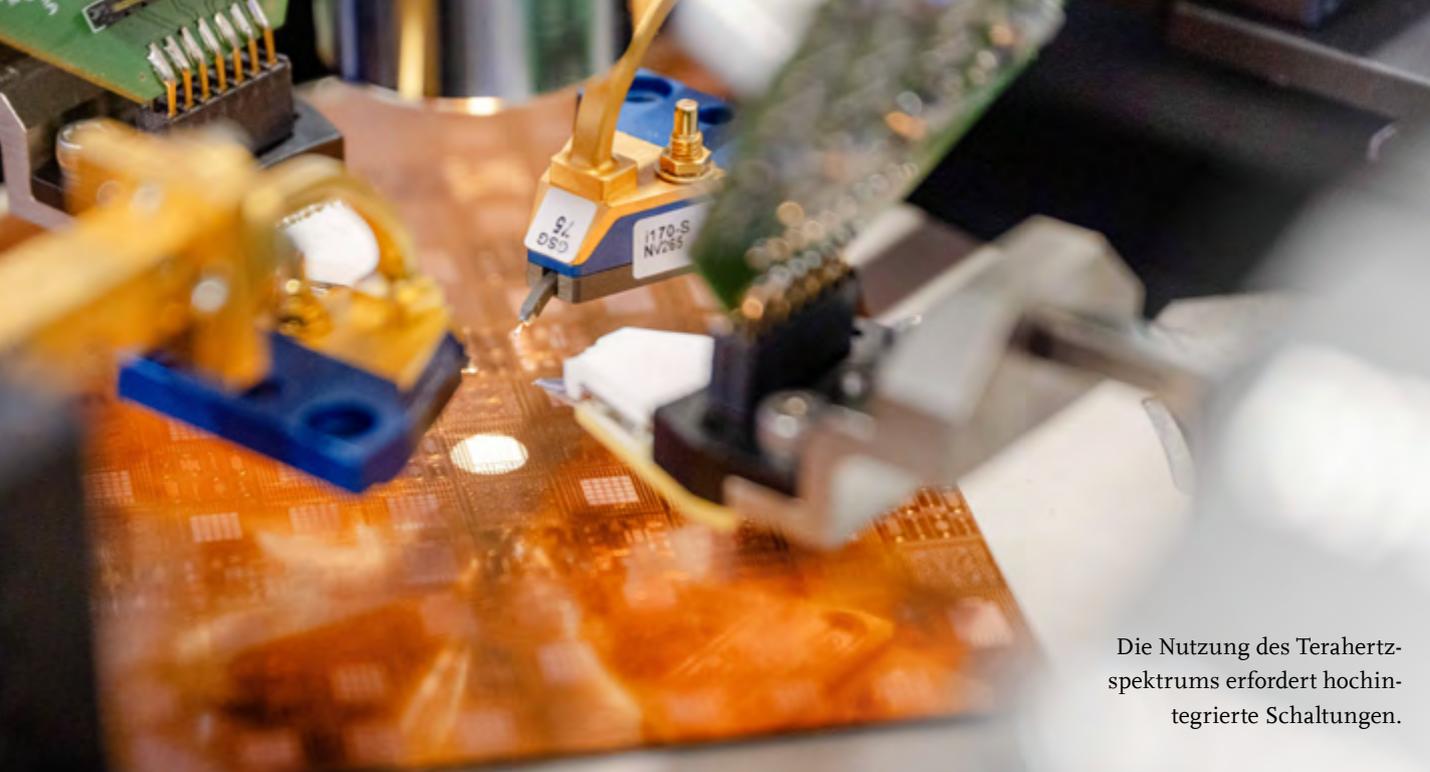
Was sind die größten Herausforderungen in der Nutzung des Terahertzspektrums?

Rolfes: Wir betreten mit dem Terahertzbereich technologisches Neuland. Die Erschließung dieses Frequenzbereichs bedeutet den nächsten Schritt in der Nutzung des elektromagnetischen Spektrums. Die aktuelle Mobilfunktechnologie nutzt den Gigahertzbereich – wir gehen jetzt weiter.

Pohl: Zunächst einmal müssen wir die Technik entwickeln, um die Wellen zu erzeugen, zu empfangen und zu interpretieren. Dafür brauchen wir hochintegrierte Schaltungen, die sehr schnelle Schaltvorgänge ermöglichen. Wir betreiben Grundlagenforschung und ermitteln erst einmal: Was geht überhaupt?

Wir nähern uns dem Terahertzbereich von der längeren Wellenlänge her an. Einiges ist schon möglich, hat bisher aber große Laboraufbauten notwendig gemacht, die für die praktische Anwendung nicht infrage kämen. Neueste Fortschritte in der Halbleitertechnik führen jetzt zu immer kleineren und damit schnelleren Transistoren. Neue Ansätze in der Mikrosystemtechnik erlauben eine höhere Integration, sodass selbst für hochkomplexe Systeme kompakte Lösungen gefunden werden können.

Rolfes: Die Miniaturisierung ist der Schlüssel zur Anwendung und irgendwann für den Massenmarkt. Wir arbeiten da sehr eng mit der Halbleiterindustrie zusammen.



Die Nutzung des Terahertzspektrums erfordert hochintegrierte Schaltungen.

Was macht das terahertz.NRW-Netzwerk so besonders?

Rolfes: In unserem Netzwerk arbeiten außergewöhnlich viele Disziplinen im Team zusammen, im Kern aus der Elektrotechnik und Informationstechnik, ergänzt um Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Biologie, Chemie und Medizin. So haben wir beispielsweise das Umweltmonitoring mit Terahertztechnologie ins Auge gefasst. Und wir möchten die Technik etwa zur Beobachtung des Pflanzenwachstums im Kontext kontaminierter Böden einsetzen. Das Netzwerk terahertz.NRW vereint Grundlagenforschende mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die sich um die Anwendung kümmern.

Pohl: Es wurden bereits mehrere Spin-offs aus dem Netzwerk gegründet: Beispielsweise eine Firma, die die Kunststoffdicke von Rohren mit Terahertzwellen während der Herstellung messen kann. Das war bis dahin so nicht möglich.

Text: md, Fotos: RUB, Marquard



Ilona Rolfes (links) und Nils Pohl nähern sich den Terahertzwellen in einem großen Netzwerk an.

i NETZWERK TERAHERTZ.NRW

Das Netzwerk terahertz.NRW unter Koordination des Fraunhofer-Instituts für Hochfrequenzphysik und Radartechnik in Wachtberg wird seit 2022 gefördert. Neben der Ruhr-Universität Bochum sind das Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme sowie die Universitäten Duisburg-Essen und Wuppertal beteiligt und werden mit 18 Millionen Euro vom Land unterstützt. Den Kristallisationspunkt des Netzwerkes bilden der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Sonderforschungsbereich MARIE sowie die bisherige Zusammenarbeit in einem der vier 6G-Forschungs-Hubs, mit denen die Bundesregierung anwendungsnahe Forschung im Bereich der 6G-Technologie fördert.



Bodenkunde

DER **SCHATZ** IM ACKER

Wie fruchtbar sind die Acker- und Grünflächen Nordrhein-Westfalens? Forschende der Ruhr-Universität bestimmen und modellieren ihre organischen Kohlenstoffvorräte und treffen so Voraussagen für die Zukunft.

Smog riecht, flirrende Hitze spürt man, verdorrte Landschaften, Starkregen und Müllteppiche sieht man. Doch wenn es dem Boden unter unseren Füßen schlecht geht, bleibt das unseren Sinnen verborgen. Dabei sind die Böden für unser (Über-)Leben so wichtig wie Wasser und Luft. Ein gesunder, fruchtbarer Acker zeichnet sich vor allem durch viel organischen Kohlenstoff aus. Wie viel davon in den Flächen Nordrhein-Westfalens vorrätig ist, bestimmen Forschende des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst NRW und dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV).

„Das Humusmonitoring-Programm läuft schon seit fast 15 Jahren. Aus den gesammelten Daten generieren wir aktuell ein Modell, welches uns den organischen Kohlenstoffgehalt für Gesamt-NRW vorhersagt“, so Dr. Michael Herre, der an der Ruhr-Universität Bochum das Projekt unterstützt. Mit dem Modell möchte man langfristig Veränderungen, die durch die landwirtschaftliche Nutzung entstehen, verfolgen

und Voraussagen für die künftige Beschaffenheit der Flächen treffen können.

„Wenn man aktiv Landwirtschaft betreibt, dann entzieht man dem Boden potenziell auch Kohlenstoff“, erklärt Michael Herre. „Bei der Ernte nimmt man häufig die Ernterückstände vom Feld, und der Boden verliert dort an organischen Stoffen, an Humus. Der Verlust wird dann in der Regel durch Dünger, etwa durch Gülle, kompensiert.“ Wie steht es genau um den Kohlenstoffvorrat nach der Ernte? Wie viel oder wie wenig Gülle braucht es? Das will man für Nordrhein-Westfalens Äcker ganz konkret erfassen. „Wir wollen den Ist-Zustand modellieren, um Aussagen zum Könnte-Zustand treffen zu können“, fasst Herre zusammen.

Für das Modell berücksichtigt der Geograf eine Reihe von Faktoren: Wie sieht etwa das geologische Ausgangsgestein in einer bestimmten Region aus? Welche klimatischen Einflüsse müssen mitbedacht werden? Welche Bodentypen gibt es in der Region? Ist der Boden zum Beispiel eher sandig oder enthält er viel Ton? Dafür verschneidet Herre bestehendes ►



Die Proben werden
im Labor auf ihre
Nährstoffe, den
Wasser-, den Hu-
mus- sowie Sand-,
Schluff- und Tonge-
halt untersucht.



Von der rheinischen
Bucht bis ins Sauerland
wurden bereits Proben
aus dem Oberboden
entnommen.

” DIE
VITALITÄT
DES BODENS
IST ÜBER-
LEBENS-
WICHTIG.

“

Michael Herre



Ein gesunder,
fruchtbarer Boden
zeichnet sich vor
allem durch viel
organischen Koh-
lenstoff aus.



PROBEN VON ÜBER **2.000** MESSPUNKTEN AUS DEM OBERBODEN GEHEN IN DIE ANALYSE EIN.

Der Geograf Dr. Michael Herre modelliert im Projekt Humusmonitoring den organischen Kohlenstoffgehalt für Gesamt-NRW.

Kartenmaterial – Klimadaten, Bodenkarten und geologische Karten – und lässt diese in das Modell mit einfließen. Vor allem aber ist er auf Bodenproben angewiesen.

Von der rheinischen Bucht bis ins Sauerland: An über 2.000 Messpunkten wurden bereits Proben aus dem sogenannten Oberboden entnommen. Ganz konkret wird dazu mit einem Bohrstock etwa 30 Zentimeter tief ins Erdreich gebohrt. Anschließend werden diese Proben im Labor auf ihre Nährstoffe, etwa den Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt, den pH-Wert, den Wassergehalt, den Humusgehalt sowie Sand-, Schluff- und Tongehalt untersucht.

Erste Schlüsse möglich

Die Auswertung und die Übertragung der Punktdaten in das mathematische Flächenmodell sind noch nicht abgeschlossen. Erste Schlüsse sind aber möglich. „Wir können deutlich erkennen, in welchen Regionen NRWs Flächen liegen, die gesättigt sind, also wo der Boden reich an organischem Kohlenstoff ist. Die Nutzung ließe sich hier dementsprechend anpassen“, so Herre. Das sei zum Beispiel in Teilen des Sauerlands und der Niederrheinischen Bucht der Fall. „Wir haben aber auch schon Bereiche identifiziert, wo man durch mehr

Humus bis zu 100 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar aufbauen könnte“, erklärt Herre. Hier könnte es sich um Ackerflächen handeln, auf denen ausschließlich und über mehrere Jahre hintereinander nur eine Nutzpflanzenart angebaut wurde. „Das Modell offenbart dieses Verbesserungspotenzial“, schließt Herre.

Potenziale erkennen und nutzen – dazu soll das Humusmonitoring-Programm langfristig beitragen. Anhand des komplexen Modells möchte man künftig Landwirte gezielt beraten: Wäre eine andere Art der Bewirtschaftung besser für meinen Acker? Sollte mein Betrieb nach der Ernte mehr oder weniger Gülle einarbeiten?

Land, Kommunen und Betriebe sind bereits jetzt sehr interessiert an den Forschungsergebnissen. Den Wissenschaftler freut, dass sein Forschungsgebiet so auch insgesamt mehr ins öffentliche Bewusstsein rückt. „Mehr und mehr Menschen begreifen, dass die Vitalität des Bodens – Feuchtigkeit, Temperatur, die Nährstoffe – überlebenswichtig für Mikroorganismen, das Pflanzenwachstum und schlussendlich uns Menschen sind.“

Text: lb, Fotos: RUB, Kramer

Medizin

WENN KILLER- ZELLEN AUF ABWEGE GERATEN

Immunzellen erkennen infizierte Zellen und räumen sie normalerweise aus dem Weg. Doch einige von ihnen stehen in Verdacht, chronische Atemwegserkrankungen zu begünstigen.

Schnupfen- und Grippeviren, Bakterien, Hefepilze, Parasiten: Unentwegt versuchen sie, in unsere Körper einzudringen. In den meisten Fällen scheitern sie am körpereigenen Verteidigungssystem, dem Immunsystem. Die angeborenen Abwehrzellen, die zum Beispiel in der Haut und in den Schleimhäuten der Oberflächen-Organen Lunge oder Darm sitzen, halten die Eindringlinge auf. Gelingt es den Erregern doch, die erste Barriere zu überwinden, greift das erworbene Abwehrsystem, das immunologische Gedächtnis. Zu den Gedächtniszellen zählen auch die T-Lymphozyten, die sich etwa im Gewebe der Lunge ansiedeln. Eine Unterform, die T-Killerzellen, spüren infizierte Zellen auf und vernichten sie mit ihren Zellgiften. Aber nicht immer. So stehen sie auch in Verdacht, chronische Erkrankungen, wie etwa Asthma, zu verschlimmern. Wann das der Fall ist? Das untersuchen die Immunologen Prof. Dr. Ingo Schmitz und Privatdozent Dr. Marcus Peters im Verbundprojekt „Das Immunologische Gedächtnis der Asthmatischen Lunge“ (IGAL) gemeinsam mit ihrer Bochumer Kollegin Prof. Dr. Barbara Sitek sowie Forschenden des Universitätsklinikums Essen, der Medizinischen Fakultät der Universität Duisburg-Essen und der Ruhrlandklinik, die das Projekt federführend leitet.

„Unser Immunsystem ist auf den ganzen Körper verteilt. Die Immunzellen kommen zum Beispiel in den Lymphknoten, der Milz oder den Knochen vor“, erklärt Ingo Schmitz.

Auch in der Lunge befinden sich T-Lymphozyten im Gewebe. Sie entstehen als spezialisierte Gedächtniszellen durch Infektionen. „Trifft also ein bekanntes Virus unsere Lunge, erkennen die dort ansässigen T-Killerzellen den Erreger und beseitigen ihn schnell und effizient“, so Schmitz. Wie genau? „Jede dieser Zellen trägt einen einzigartigen Rezeptor auf der Oberfläche, der bestimmte Antigene, also Bruchstücke eines Erregers, erkennen kann. Wenn eine T-Zelle ein Pathogen identifiziert hat, bindet sie an spezifische Rezeptoren der Zielzelle und setzt dadurch eine spezifische Abwehrkette in



Bei einem Schnupfen läuft unser körpereigenes Verteidigungssystem auf Hochtouren.

Gang“, erklärt Peters. Die T-Killerzellen arbeiteten sehr selektiv und zerstörten nur die infizierten Zellen.

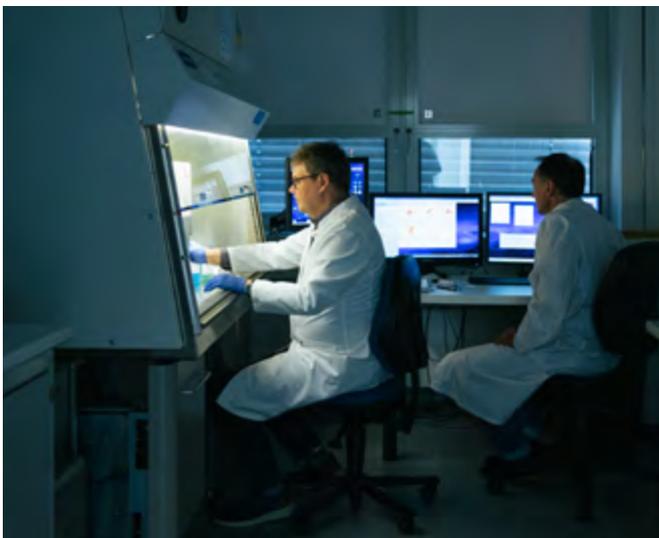
Schmitz und Peters interessieren sich vor allem für die T-Killerzellen in der Lunge und ihre Rolle bei der Entstehung von Asthma, einer der häufigsten chronischen Lungenerkrankungen. Denn manchmal irrt sich das Immunsystem und greift körpereigene Zellen an. „Asthma entsteht, wenn sich unsere Immunzellen gegen eigentlich harmlose Umweltproteine, die als Allergene bezeichnet werden, wehren“, erklärt Schmitz. „Eine sogenannte Überempfindlichkeits-

reaktion kann bei wiederholtem Allergenkontakt eine chronische Entzündung hervorrufen, die unbehandelt zu einer Einschränkung der Lungenfunktion führen kann“, so Peters.

Die in der Lunge ansässigen T-Gedächtniszellen stehen dabei in Verdacht, Asthma-Erkrankungen zu fördern, gar Asthma-Anfälle auszulösen. Die Immunologen möchten wissen: Wie fällt die Immunantwort der T-Zellen bei chronischen Atemwegserkrankungen aus? Wie wirken sich Tabakkonsum, Sauerstoffmangel oder zusätzliche Virus-Infektionen auf ihre Reaktion aus? ▶

Dazu führen die beiden Forscher Experimente mit Mäusen durch. Sie beobachten, wie diese auf Zigarettenrauch und ein spezifisches Virus, das Respiratorische Synzytial Virus (RS-Virus), reagieren. „Das weitverbreitete RS-Virus steht ebenfalls in Verdacht, die Entstehung von Asthma zu befördern“, erklärt Peters. Damit die Forscher genau nachvollziehen können, was die T-Killerzellen in der Lunge treiben, schauen sie sich an, welche Proteine sie bauen, wenn sie mit dem RS-Virus und Tabakqualm in Kontakt kommen. Unterstützung erhalten die Immunologen dabei von ihrer Kollegin aus dem Medical Proteom Center, Barbara Sitek, die das Proteom, also die Gesamtheit aller Proteine der T-Gedächtniszelle mithilfe der Massenspektrometrie aufschlüsselt. „Mit dieser Technik ist es möglich, konkrete Rückschlüsse auf die Aktivität der Zellen zu ziehen“, erläutert Peters.

Um die Aktivitäten der T-Zellen zu untersuchen, wurden die Mäuse nach durchgemachter Erstinfektion wiederholt mit dem RS-Virus infiziert. „Im optimalen Fall spielen die Zellen ihre Rolle als Schutzpolizei: Sie sind selbst in der Lage Virus-infizierte Zellen zu eliminieren, stoßen aber auch die Abwehrreaktion des Körpers an, indem sie den Botenstoff Interferon-gamma ausschütten. Der ruft wiederum Zellen des angeborenen Immunsystems, wie natürliche Killerzellen und Makrophagen auf den Plan, die dann ebenfalls Virus-infizierte Zellen beseitigen.“ erklärt Schmitz. Bei der ersten Aufschlüsselung des Proteoms haben die Forschenden allerdings auch Proteine gefunden, die mit Asthma in Verbindung stehen. So wird von den gewebeansässigen T-Zellen auch Interleukin-13 produziert. Dieser Botenstoff kann allergische Reaktionen und auch Asthmaanfälle auslösen. „Wir wollen herausfinden, wann Interferon-gamma und wann Interleukin-13 ausgeschüttet wird. Unter welchen Bedingungen kommt es zu dem Switch?“, so Peters. Der Zigarettenrauch könne möglicherweise der Faktor sein, der den normalen Prozess, die Aktivierung von Interferon-gamma, unterdrü-



Im Labor untersuchen die Immunologen mithilfe der Durchflusszytometrie infizierte Lymphozyten.



Prof. Dr. Ingo Schmitz und Privatdozent Dr. Marcus Peters (links) erforschen im Zentrum für klinische Forschung der Ruhr-Universität das immunologische Gedächtnis der asthmatischen Lunge.

cke. „Wir gehen davon aus, dass Rauchen und Infektionen die Überreaktion verstärken“, so Schmitz. Mit ersten Ergebnissen rechnen die Bochumer Forscher Ende 2025.

Die Studie soll vor allem dazu beitragen, neue Therapien für Asthmatiker*innen zu entwickeln. Die Ergebnisse sind aber auch, so betonen die Immunologen, für die Weiterentwicklung von Impfstoffen höchstrelevant. Denn auch bei Impfungen bilden sich neue Gedächtniszellen. Wenn sich ein Mensch beispielsweise nach einer Impfung gegen Covid mit dem Virus infiziert, wissen die T-Zellen, wie sie den Erreger vernichten können. Die aktuelle Impfung gegen Sars-CoV-2 erfolgt intramuskulär und aktiviert die zentralen Gedächtniszellen, die vor allem in den Lymphknoten zu finden sind. Die Bochumer Immunologen sind davon überzeugt, dass ein Impfstoff, der etwa in Form eines Inhalationssprays oder in Form von Nasentropfen verabreicht würde, eine sehr wirkungsvolle Ergänzung sein könnte. „Auf diese Weise würden die lokalen Gedächtniszellen, die in den Atemwegen und damit direkt an der Eintrittspforte des Virus sitzen, stimuliert“, erklärt Peters. Das Projekt IGAL soll den Anstoß für Forschungsprojekte in diese und andere Richtungen geben.

Text: lb, Fotos: RUB, Kramer



Mit dem Durchflusszytometer lassen sich Immunzell-Subtypen identifizieren, charakterisieren und isolieren. Hierzu werden die einzelnen Zellen eines Gemisches nacheinander mit Licht bestrahlt. Anhand der Streuung des Lichts und der Fluoreszenz können die Wissenschaftler Informationen über die Größe, Struktur und bestimmte Eigenschaften der Zellen gewinnen.

ABSTRAKTE OBERFLÄCHEN

Beim Anblick von Wellen, die sanft am Strand auflaufen, denken die meisten Leute sicher an Urlaub. Karin Baur auch. Aber manchmal denkt die gebürtige Schweizerin auch an Algebra.



Bei diesem Anblick kommt manch einer Mathematik in den Sinn. (Foto: Elmar Weiler)

Flachwasserwellen bilden an der Oberfläche geometrische Formen, die wie deformierte Vielecke aussehen und Prof. Dr. Karin Baur an ihre Forschungsobjekte erinnern. Sie hat die Professur für Reine Mathematik an der Ruhr-Universität Bochum inne. Die Forscherin beschreibt Flächen mit algebraischen Strukturen.

Oberflächen mathematisch zu beschreiben ist ...

... oft ein spannendes Mittel, abstrakte algebraische Strukturen greifbar zu machen. Und neue Resultate zu beweisen. Wir versuchen, zu einem algebraischen Objekt eine geeignete Figure zu finden (etwa ein Vieleck), so, dass zum Beispiel die Grundbausteine auf der algebraischen Seite Kurven in der Figure entsprechen (etwa den Diagonalen). Wir können dann die Kurven untersuchen: Schneiden sich zwei Kurven, so wissen wir, dass die entsprechenden Objekte auf der algebraischen Seite interagieren.

Etwas anderes als Mathematik zu machen ...

... hätte ich mir auch vorstellen können. Ich habe ab und zu in andere Richtungen geschnuppert, so etwa beim Jobben im Krankenhaus während des Studiums, da mich die Medizin interessierte. Oder beim Unterrichten als Stellvertretung in einem Integrationskurs für fremdsprachliche Jugendliche. Die Mathematik blieb meine erste Priorität.



Karin Baur ist Professorin für Reine Mathematik an der Ruhr-Universität Bochum. (Foto: RUB, Marquard)

Als Kind wollte ich ...

... schon immer gerne irgendetwas mit Mathematik machen. Wobei mir nicht klar war, was für Berufsmöglichkeiten es hier gibt. Ich bin gerne den Dingen auf den Grund gegangen, wollte verstehen, wie etwas funktioniert und habe mich gefreut, Rätsel zu lösen. Neben der Mathematik haben mich auch etwa Medizin, Sprachen und naturwissenschaftliche Fächer interessiert.

Als Frau in der Mathematik ...

... fühle ich mich manchmal in der Minderheit. Jedoch ist mein Forschungsgebiet eher vielfältig und ich achte auch darauf, dazu beizutragen, dass das weiterhin so bleibt. Oft werde ich als Professorin angefragt für wissenschaftliche Gremien, da unbedingt eine Frau gesucht wird. Da ist es nicht immer einfach, eine gute Balance zwischen Akzeptieren und Ablehnen zu finden.

Ein Traum wäre es, ...

... dass die Leute Mathematik genießen können, unabhängig von Hintergrund, Herkunft oder Vorurteilen. Mathematik ist im Alltag für viele Aspekte wichtig, auch wenn das nicht sofort offensichtlich ist. Wenn Kinder Mathematik spielerisch erfahren können, so sollten Aussagen wie „Mathematik konnte ich noch nie“ längerfristig verschwinden.

In einem Müllfeuer brennen Teile sehr verschiedener Größe
aus unterschiedlichen Materialien.
(Foto: MARTIN GmbH für Umwelt- und Energietechnik)

Computersimulation

EFFIZIENT ERWÄRMT

Wie die Wärmeverteilung in riesigen Industrie-Öfen die Produkte darin beeinflusst, wollen Forschende des Sonderforschungsbereichs Bulk Reaction herausfinden. Das soll bei der Energiewende helfen.

i SONDERFORSCHUNGSBEREICH BULK REACTION

Der Sonderforschungsbereich/Transregio SFB 287 „Bulk-Reaction“ ist an der Ruhr-Universität Bochum und der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg beheimatet. 2024 startete seine zweite Förderphase durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Rund 40 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieurwissenschaften, der Informatik und der Physik entwickeln erstmals experimentell abgesicherte Computersimulationsmodelle für schwer kontrollierbare, aber sehr energieintensive industrielle Partikel-Umwandlungsprozesse.

Tabletten, Kaffeebohnen, Kalkstein, Holzschnitzel, Abfall: Viele Produkte, mit denen wir im Alltag zu tun haben, durchlaufen eine sogenannte thermische Behandlung. Das heißt, sie werden in Öfen erwärmt, um getrocknet, chemisch verändert, geröstet oder verbrannt zu werden. Diese Öfen können riesige Ausmaße haben. Ihr Inneres ist meist eine Blackbox: Die oft sehr hohen Temperaturen, dichte Schüttungen und teils aggressive Atmosphären machen den Einsatz von Messtechnik im Inneren zu einer großen Herausforderung.

„Man konnte auf die Erfahrung der vergangenen Jahrzehnte bauen“, sagt Prof. Dr. Martin Schiemann vom Lehrstuhl für Energieanlagen und Energieprozesstechnik der Ruhr-Universität Bochum. Wenn die Produktqualität stimmte und der Preis ok war, konnte der Prozess so bleiben, wie er immer war. Doch diese Zeiten sind vorbei: Energie ist knapp und teuer, und man will weg von fossilen Brennstoffen wie Erdgas. Deswegen wird jetzt interessant, was im Ofen wo los ist und wie man ihn möglichst effizient und eventuell mit Wasserstoff oder elektrisch beheizen kann.

Martin Schiemann und Doktorand Matthias Tyslik arbeiten im Sonderforschungsbereich Bulk Reaction daran, die Vorgänge in solchen Öfen zu simulieren. Ihre Hauptfrage ist die nach der Verteilung der Wärme, ihr Beispiel ein Kalkofen, mehrere zig Meter hoch. Mehr als 100 Tonnen Kalkstein passen hinein, die grob zerkleinert von oben hineingeschüttet und unten wieder entnommen werden. Mehr als einen Tag verbringt dabei jeder Stein im Ofen. Eine seitliche Gasflamme erhitzt den Ofen und breitet sich nach oben aus. Direkt an der Flamme werden Temperaturen von rund 1.400 Grad Celsius erreicht. Auf der gegenüberliegenden Seite des Ofens müssen es mindestens 850 Grad sein. Denn die thermische Behandlung soll dazu führen, dass im Kalkstein eine chemische Reaktion stattfindet: Kalziumcarbonat soll in Kalziumoxid umgewandelt werden, wobei das im Stein enthaltene CO_2 entfernt wird. Ziel ist es, dass sämtliche Steine, die nach ▶



Martin Schiemann (links) und Matthias Tyslik wollen simulieren, wie sich die Wärme in industriellen Öfen verteilt. (Foto: dg)

Holzpellets gehören zu den vielen Produkten, die in Öfen eine thermische Behandlung durchlaufen. Je nach Produkt kann die erforderliche Temperatur verschieden sein. (Foto: dg)

ihrer Passage des Ofens unten wieder entnommen werden, komplett durchreagiert sind.

„Wir wollen deswegen genau wissen, wie sich die Wärme im Ofen ausbreitet“, erklärt Matthias Tyslik. Sie wird unter anderem als Strahlungswärme von der Oberfläche des einen Steins zum nächsten weitergegeben. Dabei kommt es auch auf die örtlichen Verhältnisse an: Die Weitergabe geht nur bei Sichtkontakt, nicht über Hindernisse hinweg. Außerdem spielt der Temperaturunterschied zwischen den einzelnen Steinen eine Rolle.

Berechnungen in akzeptabler Zeit

Um die Details dieser Wärmeübertragung zu analysieren, haben die Forscher in ihrem Labor verschiedene Experimente aufgebaut. In einem beobachtet eine Wärmebildkamera eine künstliche, vereinfachte Schüttung aus Edelstahl- oder Magnesiumstäben, von denen sich einer erwärmt. Die Stäbe sind dabei geometrisch viel einfacher zu handhaben als das bei echten, gebrochenen Steinen oder faserigen Holzpellets der Fall wäre. Mit diesem geometrisch einfachen Aufbau können einige Fragen geklärt werden: Wird Wärme reflektiert? Welcher Stab erwärmt sich wie stark als erster? Welchen Einfluss hat das Material? In anderen Experimenten geht es darum, wie sich der Prozess der Wärmeübertragung verändert, wenn das Schüttgut dabei bewegt wird.

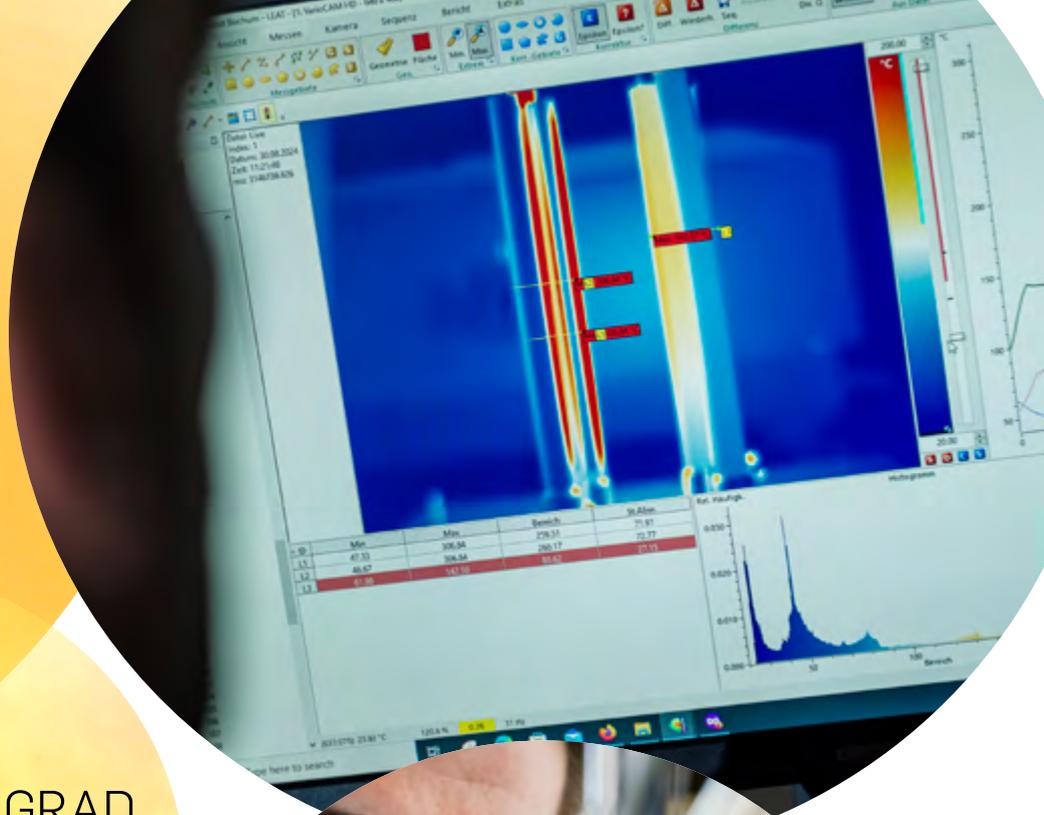
„Wenn man alle Einflussgrößen kennt, kann man solche Dinge theoretisch durchaus schon berechnen – auch für die Millionen Steine in einem Kalkofen“, sagt Martin Schiemann. „Aber man bräuchte dafür so viel Zeit und Rechenkapazität,



dass das praktisch unmöglich ist.“ Deswegen ist es auch ein Ziel, die Simulation schließlich so weit zu vereinfachen, dass sie in akzeptabler Zeit durchführbar ist, ohne dabei an Genauigkeit zu verlieren.

Dann könnte man zum Beispiel berechnen, wie die thermische Behandlung der Kalksteine abgeändert werden muss, falls man als Brennstoff statt Erdgas – wie heute üblich – Wasserstoff einsetzen würde. „Das kann man nicht einfach so machen, weil Wasserstoff ganz anders verbrennt“, erklärt Martin Schiemann. „Die Flamme wäre vermutlich kürzer, und es würden andere Schadstoffe entstehen, mit denen man umgehen müsste.“ Neben Wasserstoff käme für Kalköfen noch Ammoniak als Brennstoff infrage. „Eine elektrische Beheizung ist für die nötigen Temperaturen über 1.000 Grad in solchen Dimensionen bislang nur sehr schwer möglich“, so der Forscher. Für andere Prozesse könne man darüber aber durchaus nachdenken. Tabletten werden zum Beispiel bei höchstens 100 Grad Celsius getrocknet, Kaffeebohnen bei bis

Wie sich die Wärme verteilt, lässt sich im Experiment visualisieren. Rote Bereiche sind besonders heiß. (Foto: dg)



RUND **1.400** GRAD
CELSIUS WERDEN
DIREKT AN DER
FLAMME ERREICHT.

Eine wärmeempfindliche Kamera zeichnet genau auf, wie sich die Temperatur verteilt. Auf diesen Daten können die Forschenden dann ihre Simulation aufbauen. (Foto: dg)



zu 300 Grad Celsius geröstet. Auch hier ist die Verteilung der Wärme im Ofen entscheidend. „Wenn auch nur eine Handvoll Bohnen zu heiß geworden ist, kann man die ganze Charge nicht mehr gebrauchen“, sagt Matthias Tyslik.

Wieder andere Prozesse bringen wieder andere Herausforderungen mit sich. Bei der Müllverbrennung zum Beispiel sind die einzelnen Teile des Schüttguts sich nicht so ähnlich wie im Kalkofen. „Da sind dann auch mal Matratzen drin, oder PET-Flaschen, die bei Hitze zu kleinen Klumpen schmelzen“, erzählt Martin Schiemann. Ziel des Sonderforschungsbereichs ist es, eine Simulationsmöglichkeit zu entwickeln, die sich auf alle diese Prozesse anpassen lässt. Andere Teilprojekte widmen sich zum Beispiel dem Weg, den einzelne Partikel in einem Ofen nehmen, dem Gasfluss im Ofen oder der Wärmeübertragung durch direkten Kontakt zwischen einzelnen Partikeln.

”
WIR WOLLEN
GENAU WISSEN,
WIE SICH DIE
WÄRME IM OFEN
AUSBREITET.

“ Matthias Tyslik

SCHIFFSRÜMPFE MIT BESCHRÄNKTER HAFTUNG

*Wie hindert man Meeresorganismen daran, auf
einem Tanker zu siedeln?*

*Diese Frage erfordert kreative Antworten, unter
anderem aus der Chemie.*

Was juckt es einen Tanker, wenn sich Seepocken auf ihm ansiedeln? Angesichts der gigantischen Größe dieser Schiffe sollte man meinen: gar nicht. „Die Besiedlung von Schiffsoberflächen mit Meeresorganismen ist aber ein Riesenproblem“, sagt Prof. Dr. Axel Rosenhahn. „Berechnungen haben ergeben, dass sie den Strömungswiderstand so sehr vergrößern, dass der Treibstoffverbrauch des Schiffs dadurch um bis zu 60 Prozent steigt.“ Vom CO₂-Ausstoß ganz zu schweigen. Der Leiter der Arbeitsgruppe Biointerfaces an der Fakultät für Chemie und Biochemie der Ruhr-Universität Bochum will es der Lebensgemeinschaft auf dem Schiffsrumpf deswegen so ungemütlich wie möglich machen.

Diese Idee ist natürlich nicht neu. Algen, Bakterien, Muscheln und Seepocken begleiten Schiffe seit Menschengedenken. „Früher hat man sie sich mit giftigen Anstrichen vom Leib gehalten“, erzählt Axel Rosenhahn. Vor allem der Wirkstoff Tributylzinn war beliebt, ein Breitbandbiozid, das bei langsamer Freisetzung allem, was sich auf der Schiffsoberfläche ansiedeln wollte, den Garaus machte. Dann stellte sich aber heraus, dass der Wirkstoff hormonähnliche Wirkung hat und sich in Fischen anreichert, womit er in die Nahrungskette gelangt. „Anfang der 2000er-Jahre verschwand Tributylzinn daher vom Markt“, so Axel Rosenhahn. „Dann versuchte man, weniger giftige Methoden zu finden, um die Besiedlung von Schiffen, das sogenannte Fouling, zu verhindern.“ Zwar gibt es nach wie vor Anstriche, die giftige Stoffe freisetzen, etwa Kupfer, das auch in der Natur vorkommt. Aber die strenge Regulierung in vielen Häfen führt dazu, dass auch die Verwendung solcher Anstriche zurückgeht.

Alternativen sind gefragt – und bei ihrer Erfindung sind der Fantasie keine Grenzen gesetzt. Rosenhahns Arbeitsgruppe setzt auf die Fouling-Release-Technologie. Dabei geht es nicht so sehr darum zu verhindern, dass Lebewesen über-

haupt am Schiff anhaften, sondern darum, dass ihre Haftung weniger stark ist. Dann werden sie nämlich durch das bei der Fahrt des Schiffs vorbeiströmende Wasser einfach abgespült.

„Schwierig wird die Angelegenheit dadurch, dass es nicht nur eine Art ist, die am Schiff haftet, sondern eine ganze Gemeinschaft unterschiedlicher Organismen, die verschiedene Spezialisierungen haben“, erklärt Axel Rosenhahn. Unter den Aspiranten sind zum Beispiel verschiedene Bakterien und Kieselalgen. Beide bilden Biofilme, hinter denen sie sich verschanzen. Algen, Seepocken und Muscheln sind die größten Vertreter, die auf Schiffsrümpfen eine Bleibe finden. „Eine Zeitlang dachte man, zuerst kämen die einen und bereiteten den anderen den Boden“, so Axel Rosenhahn, „aber so ist es nicht. Jede Art kommt für sich allein und haftet auf die ihr ganz eigene Art an.“

Jeder haftet auf seine eigene Weise

Viele Bakterien und Algen scheiden eine gelartige Matrix aus, die in der Lage ist, den Untergrund erst einmal auszutrocknen und dann darauf anzuhafte. „Eine faszinierende Technik, die sich da im Laufe der Evolution herausgebildet hat“, findet Rosenhahn, „wenn man bedenkt, wie schwierig es ist, unter Wasser etwas anzukleben.“

Größere Meeresbewohner wie Seepocken sind im Larvenstadium unterwegs auf der Suche nach einem Ort, an dem sie bleiben können. Erst nach ihrer Anhaftung beginnt ihre Metamorphose. „Die ist nicht mehr rückgängig zu machen, wenn sie einmal begonnen hat – es ist also durchaus ein Risiko mit der Wahl des richtigen Ortes verbunden“, erklärt Rosenhahn. „Man kann beobachten, dass die Seepockenlarven den Ort ihrer Wahl deswegen auch zuerst prüfen, indem sie über die Oberfläche laufen und dabei die Haftung testen. Sie laufen dabei auf zwei Beinen, Antennen genannt, die mit klei- ▶



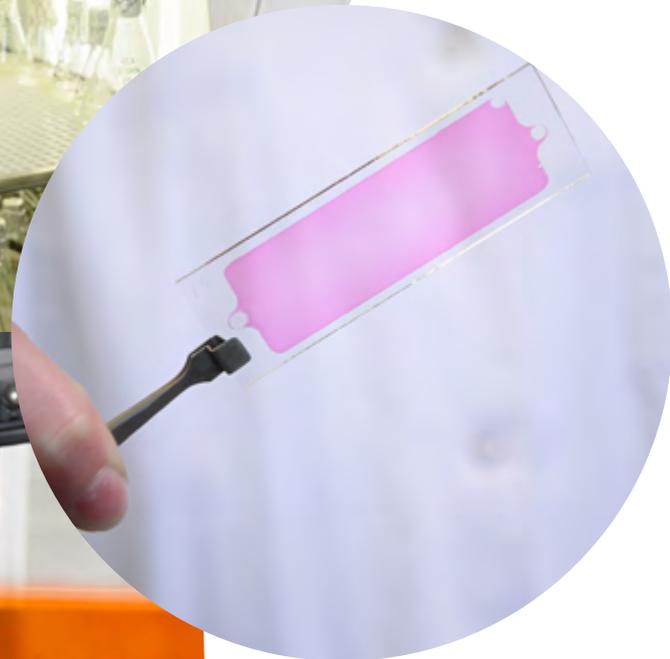
Muscheln und Seepocken siedeln neben Bakterien und Algen gern auf Schiffsrümpfen. Sie erhöhen den Strömungswiderstand erheblich.

Ungefähr alle sieben Jahre muss der Anstrich von Schiffen erneuert werden. Er besteht normalerweise aus drei Schichten: einer Grundierung, einem Haftvermittler und der Oberfläche.





Lejla Jusufagic und Regina Kopecz (rechts) kümmern sich im Labor um die Pflege der Algen und Bakterien, die als Modellorganismen dienen.



Auf Objektträger bringen die Forschenden verschiedene Beschichtungen auf, die es Organismen erschweren sollen anzuhaften.



Nach einiger Zeit kann man unter dem Mikroskop sehen, wie viele Organismen an der Oberfläche haften geblieben sind. So lassen sich mögliche Beschichtungen vergleichen.

nen Härchen, ähnlich wie bei einem Gecko dekoriert sind. Je nachdem, wie ein Untergrund beschaffen ist, lassen sich die Füße schneller oder langsamer davon lösen, was sie auch ausprobieren und so über die Anhaftung entscheiden.“

Um diesen Klebespezialisten das Leben möglichst schwer zu machen, setzt Rosenhahns Team auf Polymere in verschiedensten Dicken, Formen und Zusammensetzungen. „Man möchte die Oberfläche möglichst glitschig haben“, sagt er. „Am liebsten etwas fluffig – aber natürlich nicht zu dick.“ Tests mit Hydrogelen wie denen in Babywindeln scheiterten daran, dass feine Sandpartikel aus dem Meerwasser alles verklumpen. Überhaupt darf eine Dicke von etwa 130 Mikrometern für einen Schiffsanstrich nicht überschritten werden: Sonst würde der Anstrich schlicht zu teuer.

Stickstoffmonoxid schreckt Bakterien ab

Besonders interessant findet der Forscher derzeit Hybridpolymere aus natürlichen Zuckerverbindungen und sogenannten Silanen als quervernetzenden Einheiten. Sie sind kompakt und bilden dünne Schichten, sind selbst sehr reaktionsträge und gut zu reinigen. Man kann sie auch zusätzlich so mit Aminofunktionalitäten ausstatten, dass sie Stickstoffmonoxid – kurz NO – freisetzen. NO ist ein natürlich vorkommendes Molekül, das unter anderem von Bakterien freigesetzt wird, wenn ihr Lebensraum ihren Bedürfnissen nicht optimal entspricht, sodass sie unter Stress geraten und sich der Biofilm auflöst. „So wirkt NO wie eine Art Botenstoff für Bakterien, sich hier nicht niederzulassen“, erklärt Axel Rosenhahn.

Eine andere Strategie setzt darauf, Moleküle mit zwei simultanen Ladungen – sogenannte Zwitterionen – in die Beschichtung einzubauen. Sie binden Wasser besonders gut und erschweren die Austrocknung der Oberfläche, die es Organismen erleichtert, sich festzukleben.

In den Laboren seiner Arbeitsgruppe laufen Tests mit verschiedenen so zusammengesetzten Beschichtungen und eigens angezüchteten Bakterien und Kieselalgen. Um möglichst Bedingungen wie im Meer nachzuahmen, werden die potenziellen Besiedler immer in bewegtem Wasser auf die beschichteten Oberflächen und zum Vergleich auch auf unbeschichtete Oberflächen losgelassen. Nach einer festgelegten Zeit zählen die Forschenden unter dem Mikroskop aus, wie viele Bakterien oder Algen auf den Proben haften. Sind es bei einer Beschichtung deutlich weniger als bei der Kontrolle, bewährt sie sich also im Labor, folgen Tests auf rotierenden Scheiben im Meer.

„Unser Ziel ist es, dass eine solche Beschichtung ihre Funktionalität für etwa sieben Jahre behält, bevor sie erneuert werden muss“, sagt Axel Rosenhahn. „Häufigere Trocken-dockzeiten wären zu teuer.“

Text: md, Foto Tanker: Pixabay/Jan Marczuk, restliche Fotos: rs



„ DIE BESIEDLUNG VON SCHIFFS- OBERFLÄCHEN MIT MEERES- ORGANISMEN IST ABER EIN RIESENPROBLEM. “

Axel Rosenhahn



Chemiker Axel Rosenhahn ist fasziniert davon, was die Evolution an Strategien hervorgebracht hat, um unter Wasser etwas anzukleben.

VIRTUELLER FLAUSCH

Im virtuellen Raum bilden sich Communities mit eigenen Flausch-Ausdrücken.

Will man dazugehören, muss man lernen, welche Worte, Phrasen, Hashtags und Emojis die Community ausmachen.

Was auf den ersten Blick oberflächlich erscheint, erfüllt durchaus seinen Zweck: Ausdrücke wie „Du bist der Hammer. Weiter so! Herz-Emoji“ können einen Menschen wohligh-warm einhüllen – wie in eine flauschige Decke. Als „virtuellen Flausch“ bezeichnen darum die Bochumer Forscherinnen Prof. Dr. Tatjana Scheffler und Yulia Clausen Worte und Phrasen, die in Online-Foren und Kommentarspalten unterschiedlicher Social-Media-Plattformen zu finden sind und wohlige Gefühle erzeugen. Im Unterschied zur Hassrede wurde dem Phänomen des virtuellen Flauschs bisher so gut wie keine wissenschaftliche Aufmerksamkeit geschenkt. Das wollen die Linguistinnen der Ruhr-Universität Bochum ändern. In einem Teilprojekt des Sonderforschungsbereichs Virtuelle Lebenswelten untersuchen sie, welche sprachlichen Flausch-Mittel in den Sozialen Medien Gruppenzugehörigkeit fördern.

Welche Worte, Sätze und Metaphern werden häufig verwendet? Welche Hashtags sind beliebt? Welche Emojis werden zur Beziehungspflege eingesetzt? „Im virtuellen Raum konstituieren sich Gemeinschaften, etwa Fan-Communities, allein über die Sprache, weil es wenig andere Darstellungsmöglichkeiten gibt. Diese Prozesse wollen wir nachvollzie-

Kuschelig wie eine Decke: Flausch-Ausdrücke erzeugen nicht nur in der virtuellen Welt wohlige Gefühle.

(Foto: Cécile Fedier)

W e i t e i t

hen“, erklärt Tatjana Scheffler das Projektziel. „Wir möchten mit unserer Forschung präsen-ter machen, dass es ein Gegenstück zur Hassrede gibt, nämlich virtuellen Flausch“, ergänzt ihre Mitarbeiterin Yulia Clausen.

Der Begriff „Flausch“ tauchte erstmals um die 2010er-Jahre in Online-Communities auf und verfestigte sich dort schnell, erzählen die Forscherinnen. „Der Begriff leitet sich ab von etwas Flauschigem, etwa einem Teddybären, und umfasst nette, liebevolle Ausdrücke, die andere ermutigen, aufmuntern, unterstützen und bestärken sollen“, erklärt Clausen. Clausen und Scheffler wollen ihn auch in der Wissenschaftscommunity etablieren.

In ihrem Forschungsprojekt untersuchen sie insgesamt circa 83.000 Kommentare unter YouTube-Videos nach Flausch-Ausdrücken. „Der umfangreiche Datensatz stammt von Louis Cotgrove und umfasst den Zeitraum von 2008 bis 2018. Die Videos sind dem Bereich Jugendkultur zuzuordnen; es sind Videos mit Bezug zu Mode, Sport oder Musik“, erzählt Scheffler.

Mithilfe von computerlinguistischen Methoden haben die Forscherinnen bisher eine Reihe wiederkehrender Interaktionen und Sprachmuster identifiziert. „Die sieben Typen ▶

i ENTSTEHUNGSGESCHICHTE DES FLAUSCH-BEGRIFFS

Anfang der 2000er-Jahre bezog sich der Begriff „Flausch“ noch wortwörtlich auf flauschige Katzenbilder, die zum Beispiel gepostet wurden, um die Stimmung zu heben. 2009 tauchte er dann im reichweitenstarken Watchblog des Journalisten Stefan Niggemeier auf. 2012 griff die Community der Piraten-Partei den Begriff auf; er fand sogar Einzug in die Netiquette der Partei. Seitdem hat er sich etabliert. Im Englischen haben sich die Ausdrücke candy speech und candystorm durchgesetzt.



von Flausch ausdrücken sind Zustimmung, Zuneigungsbekundung, positives Feedback, Kompliment, Dankbarkeit, Ermutigung und Sympathie“, zählt Clausen auf. Neben dem positiven Feedback, das als Reaktion auf den ursprünglichen Beitrag oder einen Kommentar gepostet wird – „Das Lied ist mega mega cool“ oder „ein sehr gutes Workout für den Bauch“ – beziehen sich die anderen sechs Arten von Flauschäußerungen auf die Nutzer*innen selbst.

„Sie drücken etwa Bewunderung, Liebe und Zuneigung gegenüber Autor*innen und anderen aus der Community aus. Kommentare wie ‚Lieb Euch ❤️ Ihr seid einfach der Hammer !!!! Ihr süßen ❤️‘ sind besonders häufig“, erzählt Clausen. Man mache sich untereinander Komplimente, wähle freundliche Worte und drücke Zustimmung aus. Darüber hinaus hat die Linguistin Ausdrücke von spontan geäußelter, aufrichtiger Dankbarkeit gefunden, und solche, die zum Weitermachen ermutigen. „Äußerungen, die Mitgefühl und Verständnis ausdrücken, gibt es auch. Dabei handelt es sich meist um Reaktionen auf negative oder betrübliche Mitteilungen anderer Nutzer*innen. Es geht nicht um die Abwertung von Hater*innen“, betont Clausen.

Die Forscherin hat auch beobachtet, dass häufig ganz spezifische Emojis benutzt werden, um Gruppenzugehörigkeit zu markieren. „In einer Fancommunity wurde immer wieder das Einhorn-Emoji verwendet, wie eine Art Marken-

i VIRTUELLE LEBENSWELTEN ERFORSCHEN

Das Virtuelle wird zunehmend zum Normalen. Im Sonderforschungsbereich (SFB) 1567 untersuchen über 50 Forschende, was das Virtuelle bedeutet und welche Folgen es für unsere Lebenswelten hat.

Das Forschungsprojekt von Scheffler und Clausen ist dem Projektbereich D zugeordnet, das sich mit der Frage befasst, inwiefern Medien Interaktivität formen, ordnen und zur Darstellung bringen.



Zum Anfassen: Um zu verdeutlichen, was die Ausdrücke bei den Usern und Userinnen auslösen, hat Forscherin Yulia Clausen eine Decke aus Stoffresten und Weichstoff-Ausdrücken zusammengenäht. (Foto: Cécile Fedier)

oder Erkennungszeichen“, berichtet Yulia Clausen. „Andere Communities verwenden das Herz-Emoji in einer ganz bestimmten Farbe, etwa grün für Nachhaltigkeitsthemen“, weiß Tatjana Scheffler. Auf diese Weise entsteht ein Set an Interaktionsregeln, die der Community ganz eigen sind. „Wir sprechen auch von einem common ground, also von einem Wissen um diese Sprachmittel, das innerhalb der Community geteilt wird“, so Yulia Clausen.

„Wir nehmen an, dass es die Flauschhandlungen und das Gemeinschaftsbildende sind, was Menschen dazu bewegt, hier gern und viel Zeit zu verbringen. Sie sind ja auf Plattformen wie YouTube nicht wegen der Hassrede und weil sie sich ständig beschimpfen lassen wollen. Im Gegenteil: Sie holen sich hier vielleicht auch das, was sie in der nicht-virtuellen Welt nicht bekommen“, resümiert Scheffler. Das Forschungs-

FLAUSCHHANDLUNGEN
BEWEGEN MENSCHEN
DAZU, HIER GERN UND
VIEL ZEIT ZU VERBRINGEN.

Tatjana Scheffler



Tatjana Scheffler leitet das Teilprojekt „Virtueller Common Ground: Sprache und virtuelle Identität“ im Sonderforschungsbereich 1567. (Foto: RUB, Marquard)



ES GIBT EIN GEGENSTÜCK ZUR HASSREDE.



Yulia Clausen

projekt dient daher auch dazu, aufzuzeigen, dass in den Sozialen Medien nicht nur Hassrede verbreitet ist.

Noch haben die Linguistinnen den umfangreichen Datensatz nicht vollständig ausgewertet. Ihr langfristiges Ziel ist es, eine Software, zu entwickeln, mit der sich Flausch-Ausdrücke automatisch erkennen lassen. In einem nächsten Schritt wollen sie dazu ihre Erkenntnisse und Daten mit anderen Forscher*innen teilen. Außerdem beabsichtigen sie, den Flausch weiterer Social-Media-Kanäle, etwa Instagram, in ihr Modell miteinfließen zu lassen. Wir sagen: Weiter so! Daumen-hoch-Emoji.

lb



So drücken Userinnen und User beispielsweise ihre Zuneigung in Kommentarspalten unter YouTube-Videos aus ...

... und so ihre Dankbarkeit.

(Fotos: Cécile Fedier)

WO DER BODEN ZUGEFLASTERT IST

Straßen, Wohnbausiedlungen und Industrie versiegeln viele Flächen in NRW. Auf Luftbildern ist das leicht zu sehen – aber dennoch mühsam auszuwerten. Daher haben Bochumer Forschende eine Helferin angelernt.



Andreas Rienow und Jan-Philipp Langenkamp sind Experten für die Auswertung von Fernerkundungsdaten wie Satellitenaufnahmen oder Luftbildern, die mit Flugzeugen aufgenommen werden. (Foto: rs)

Es war ein Bild, das um die Welt ging: das Fußball-EM-Achtelfinale zwischen Deutschland und Dänemark, jäh unterbrochen von einem heftigen Sommergewitter. Aus einer schwarzen Wolkenwand prasseln Regenmassen, die vom Stadionsdach wie ein Wasserfall auf die Tribüne stürzen. Während gut gelaunte dänische Fans eine Dusche nehmen, versuchen Ordner das Wasser mit Schrubbern zu bändigen und in einen Gulli zu schieben. Das Beispiel zeigt in kleinem Maßstab, was in Städten vielerorts zu einem ernsthaften Problem geworden ist: die zunehmende Versiegelung von Flächen. Wo der Boden mit Verkehrswegen und Gebäuden zugespflastert wird, kann Wasser genauso wenig versickern wie auf der Tribüne des Dortmunder Stadions. So können Straßen bei Starkregenereignissen zu reißenden Flüssen werden.

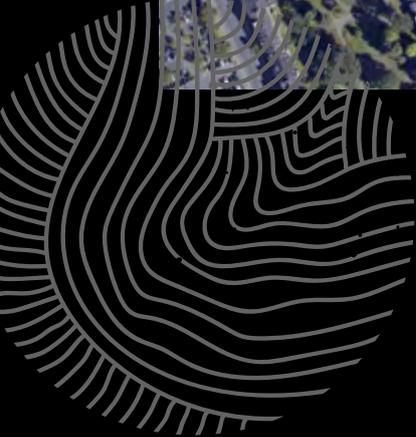
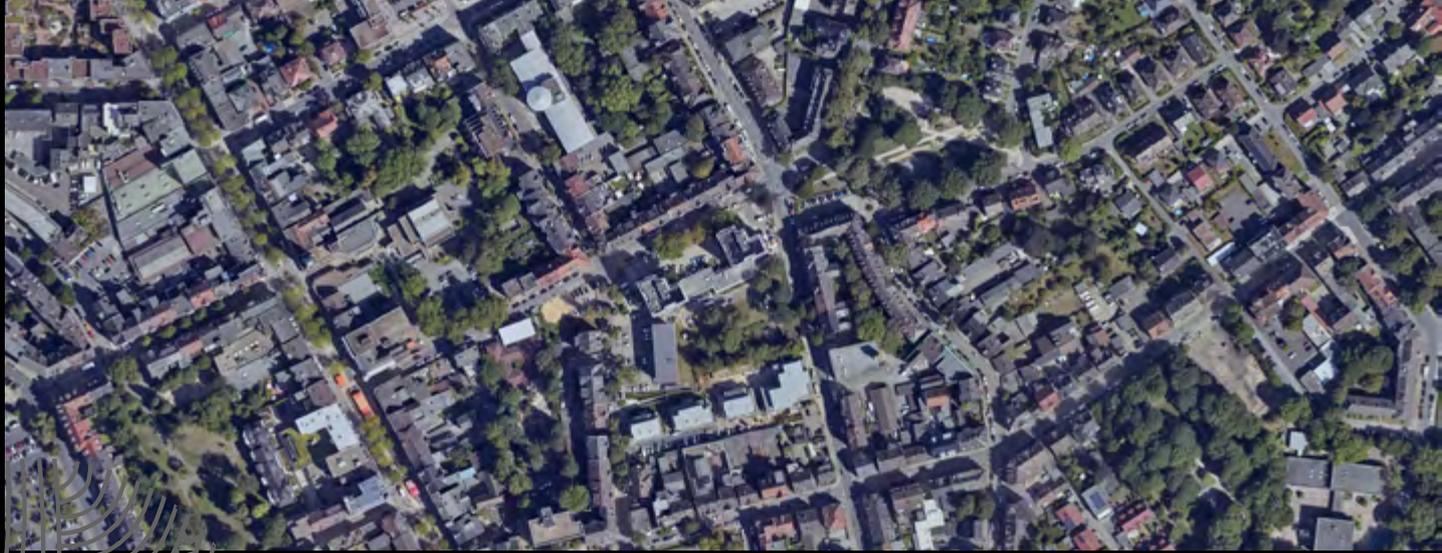
Um das Problem einzudämmen, hat die Bundesregierung im Rahmen der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie beschlossen, die Versiegelung von Flächen zu begrenzen. Zwischen 2017 und 2020 wurden bundesweit jeden Tag rund 54 Hektar Freifläche für den Bau neuer Verkehrswege und Siedlungen in Anspruch genommen. Das Ziel ist, diesen Wert bis 2030 auf unter 30 Hektar pro Tag zu reduzieren. Auch Nordrhein-Westfalen muss dazu seinen Beitrag leisten. Aber wie versiegelt ist das bevölkerungsreichste Bundesland derzeit? Und wie kann man die Versiegelung kontinuierlich erfassen? Diese Fragen können Forscherinnen und Forscher aus der Geowissenschaft der Ruhr-Universität Bochum beantworten.

Finanziert vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW hat Jan-Philipp Langenkamp unter der Leitung von Prof. Dr. Andreas Rienow ein Modell entwickelt, das mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) versiegelte Flächen auf Luftbilddaufnahmen identifizieren kann.

Bislang wurde die Versiegelung in NRW anhand der Liegenschaftskataster der 53 Katasterbehörden ermittelt. Darin ist festgehalten, welche Flächen wie genutzt werden. Allerdings tauchen nicht alle versiegelten Flächen auf: „Kleinere Gebäude wie Gartenhäuser, für die man keine Baugenehmigung braucht, werden zum Beispiel nicht erfasst“, weiß Andreas Rienow. Solche vermeintlich kleinen Abweichungen von der Realität summieren sich auf. Um den Anteil der versiegelten Flächen basierend auf dem Kataster zu bestimmen, gehen Behörden beispielsweise pauschal davon aus, dass Siedlungs- und Verkehrsflächen zu 50 Prozent versiegelt sind. „Mit dieser Methode erhält man eine gute Schätzung, aber mehr auch nicht“, so Rienow.

Im Projekt „Erfassung der landesweit versiegelten Fläche und Ermittlung des Indikators Bodenversiegelung für NRW“, kurz EBOVE, entwickeln die Bochumer Forschenden der Abteilung Interdisziplinäre Geoinformationswissenschaften am Geographischen Institut eine präzisere Methode. Zunächst definierten sie, welche Flächen als versiegelt gelten sollen und welche nicht. Maßgeblich dabei war, ob in der Fläche Regenwasser versickern kann. „Das ist in manchen Fällen gar ▶

Bei Starkregen werden versiegelte Flächen gerade in Städten schnell zu einem Problem. Wenn die Wasser-massen nicht versickern können, können Straßen kurz-fristig zu Flüssen werden. (Foto: rs)



NRW IST IN DEM DATENSATZ IN FORM VON **35.000** BILDKACHELN REPRÄSENTIERT.

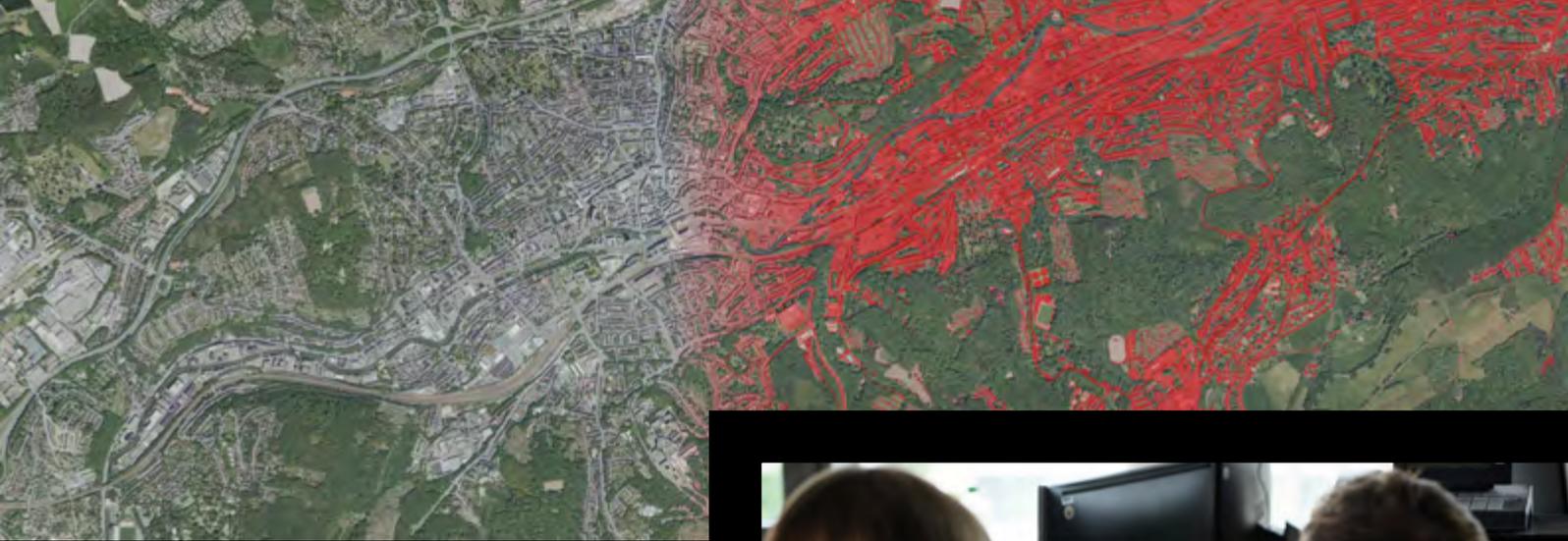
nicht so leicht zu entscheiden“, sagt Andreas Rienow und gibt ein Beispiel: „Wenn jemand einen privaten Pool im Garten errichtet, kann es zwar reinregnen, aber darunter ist der Boden abgedichtet.“ Brücken über Flüssen, unterirdische Bauwerke wie U-Bahnen, Parkhäuser oder Keller, oder Fotovoltaikanlagen auf Wiesen waren ebenfalls Wackelkandidaten. „Im Zweifelsfall haben wir uns auf Basis der Luftbilder entschieden, ob solche Flächen als versiegelt zu betrachten sind“, erklärt Rienow. Was auf dem Bild versiegelt aussah, wurde auch als versiegelt gewertet.

In seiner Doktorarbeit nutzt Jan-Philipp Langenkamp frei verfügbare KI-Modelle, welche er für die Bochumer Zwecke adaptierte und trainierte. „Jedes Modell ist nachher nur so gut wie die Daten, mit denen es trainiert wurde“, sagt er – und spricht damit einen besonders zeitaufwendigen Teil des Forschungsprojekts an. Die Bochumer Gruppe trainierte ihren Algorithmus mit Tausenden Ausschnitten aus Luftbildaufnahmen von NRW, für die Studierende der Geografie zuvor definiert hatten, welche Strukturen versiegelte Flächen darstellen und welche nicht. Für manche Landstriche lagen solche Daten bereits vor, etwa von der Stadt Wuppertal oder der Emschergenossenschaft. Aber dieses Material reichte nicht aus. Um genügend gute Trainingsdaten zu erhalten, investierte die Bochumer Gruppe selbst rund 1.000 Arbeitsstunden in die Klassifizierung von Bildern, anhand derer das KI-Modell lernen konnte, versiegelte Flächen von nicht versiegelten zu unterscheiden.

Anders als in früheren Projekten arbeitet Rienows Team im EBOVE-Projekt mit georeferenzierten Luftbildaufnahmen. Diese werden jährlich bei Flügen über NRW aufgenommen und stehen in öffentlichen Datenbanken zur Verfügung. „In Vorgängerprojekten haben wir mit Satellitendaten gearbeitet, aber deren Auflösung ist geringer“, erklärt Andreas Rienow. Während ein Pixel eines Sentinel-2-Satellitenbildes eine Fläche von zehn mal zehn Metern abdeckt, entspricht ein Pixel eines Luftbildes nur einer Fläche von zehn mal zehn Zentimetern. Im Luftbild ist somit weniger Fläche in ein einzelnes Pixel gequetscht, sodass sich Versiegelungsinformationen exakter bestimmen lassen.

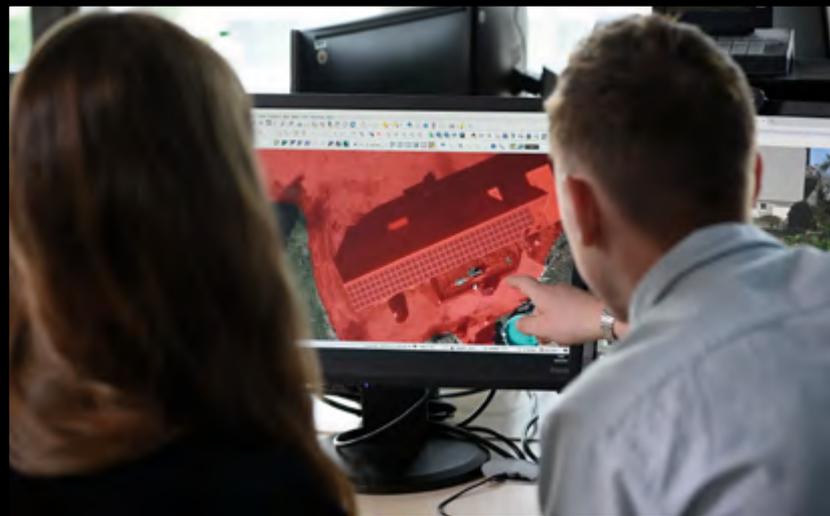
Ganz NRW ist in dem Datensatz in Form von 35.000 Bildkacheln von jeweils einem Quadratkilometer Größe repräsentiert. Um diese Datenmengen in vertretbarer Zeit auswerten zu können, werden die Analysen vom Statistischen Landesamt IT.NRW durchgeführt. Selbst mit den dort verfügbaren Hochleistungsrechnern dauert die Analyse etwa drei Tage.

Der Datensatz bringt noch eine Herausforderung mit sich: „Die Flüge, bei denen die Bilder entstehen, finden im Frühjahr und Sommer statt, sodass wir Kacheln aus unterschiedlichen Jahreszeiten in einem Datensatz haben“, schildert Langenkamp. Ein Baum ohne Blätter ist im Frühling schwerer als Grünfläche zu erkennen als im Sommer. „Dafür kann man, wenn die Bäume kahl sind, besser sehen, ob noch eine Straße zwischen den Ästen durchschimmert“, wägt Andreas Rienow ab. Daten aus unterschiedlichen Jahreszeiten können



Links: Die Stadt Herne in NRW ist besonders dicht besiedelt, und somit ist auch ein Großteil der Böden versiegelt. (Bild: Digitale Orthophotos (2022), GeoBasis NRW 2024)

Rechts: Mit Künstlicher Intelligenz ermittelt das Bochumer Team anhand von Luftbildern automatisiert, wo in NRW versiegelte Flächen sind. In der rechten Bildhälfte sind diese rot gekennzeichnet. (Bild: Jan-Philipp Langenkamp 2023. Quelle: Digitale Orthophotos (2021), GeoBasis NRW 2023)



Welche Flächen als versiegelt gelten sollen, ist nicht immer leicht zu entscheiden. Über einige Zweifelsfälle musste das Bochumer Team zunächst diskutieren. (Foto: rs)

somit auch ein Vorteil sein. „Wir müssen aber sicherstellen, dass wir diese Fälle alle in unseren Trainingsdaten abbilden, sodass die KI bei der Klassifizierung später weiß, wie sie damit umgehen muss“, so Langenkamp.

Entscheidend in der Methodik der Bochumer Forschenden ist, dass das Modell nicht nur die Informationen jedes einzelnen Bildpixels auswertet, sondern auch den Kontext mit einbezieht. „Neben einem Gebäude befindet sich beispielsweise oft eine Straße – das weiß unser Algorithmus“, veranschaulicht Jan-Philipp Langenkamp. Mittlerweile erreicht das KI-Modell gebietsweise Genauigkeiten von rund 90 Prozent; das bedeutet, dass es etwa 90 Prozent der klassifizierten Pixel korrekt als versiegelt oder nicht versiegelt einordnet.

Zudem hat Jan-Philipp Langenkamp die Software so gestaltet, dass sie mit einem einzigen Knopfdruck gestartet werden kann und dabei automatisiert frei verfügbare Geodaten des Landes NRW verarbeitet. „Die Idee ist, dass auch Anwenderinnen und Anwender ohne spezifisches Vorwissen die Analyse laufen lassen können, um sie alle zwei Jahre mit neuen Datensätzen wiederholen zu können“, erklärt er.

Die Ergebnisse liegen am Ende des Prozesses in Form einer binären Maske vor, die über das Luftbild gelegt werden kann und für jede Fläche anzeigt, ob sie versiegelt ist oder nicht. Auch für die Flächen, auf denen die Tribünen des Dortmunder Stadions stehen.

jwe

„ JEDES
MODELL IST
NACHHER NUR
SO GUT WIE DIE
DATEN, MIT
DENEN ES
TRAINIERT
WURDE. “

Jan-Philipp Langenkamp

FLUG IN DIE VERGANGENHEIT

Wer von oben auf die Erde blickt, sieht Dinge, die am Boden nicht erkennbar sind. Manchmal reicht der Blick sogar ein paar Tausend Jahre zurück.

An der Ruhr-Universität Bochum hat vermutlich niemand einen Arbeitsplatz mit einer besseren Aussicht als Dr. Baoquan Song. Der Luftbildarchäologe fliegt seit mehr als 20 Jahren über das Rheinland und Westfalen. Er entdeckt und dokumentiert Spuren historischer Stätten aus der Luft. Das ist möglich, weil alte Gemäuer im Boden das Wachstum von Pflanzen beeinflussen, sodass die unterirdischen Überreste als Muster im Getreide oder Gras sichtbar werden – zumindest für Leute, die ein geschultes Auge haben wie Baoquan Song.

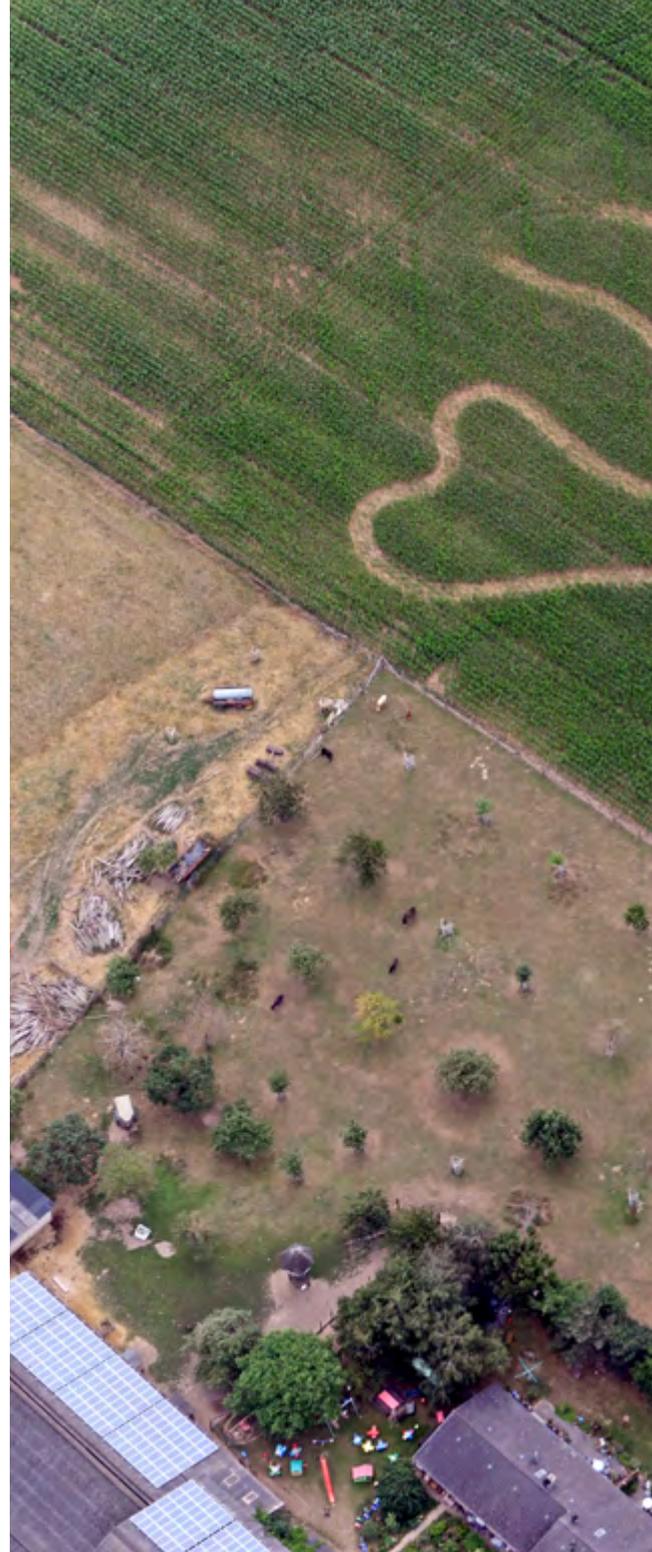
Im Interview erzählt der gebürtige Chinese, welcher Zufall ihn nach Deutschland verschlug, als was sich eine von ihm entdeckte vermeintlich seltene Grabstätte entpuppte und wie der Erste Weltkrieg zur Geburtsstunde der Luftbildarchäologie wurde.

Herr Dr. Song, als Luftbildarchäologe suchen Sie aus dem Flugzeug heraus nach Spuren von historischen Stätten. Erinnern Sie sich noch, was Ihre erste Entdeckung war?

Natürlich! Als ich Ende der 1990er-Jahre das Fliegen gelernt habe, habe ich in der Nähe meines Flugplatzes Marl-Lohmühle einen Doppelkreisgraben entdeckt. Ich war begeistert und bin mit dem Bild ins Gelände gegangen. Es entpuppte sich als Flugplatz für Modellflugzeuge. Mit einem historischen Fund hatte das nichts zu tun. Die Piloten hatten mit Kreide Kreise auf die Wiese gezeichnet, um Ziellandungen zu trainieren. Kalk fördert das Wachstum von Pflanzen, daher wuchs das Gras an diesen Stellen besser. Als ich den Modellfliegern von meiner Beobachtung erzählte, waren sie entzückt, dass ich ihren Platz entdeckt hatte. Daran sieht man, wie wichtig es ist, Spuren am Boden zu überprüfen. Nicht alles ist wirklich eine Entdeckung.

Wird vieles von dem, was Sie finden, später ausgegraben?

Eigentlich nicht. Es ist gar nicht mein Hauptziel, neue Entdeckungen zu machen. Die Funde sind ein Nebenprodukt, über das sich die Denkmalschutzämter freuen, denen ich meine Bilder zu Verfügung stelle. In meiner Forschung entwickle ich hauptsächlich die Methoden der Luftbildarchäologie weiter. Digitalfotografie, Satellitenbilder, Künstliche Intelligenz – es



i WARUM UNTERIRDISCHE ÜBERRESTE AN DER OBERFLÄCHE SICHTBAR WERDEN

Dort, wo sich unter der Erdoberfläche die Überreste alter Gemäuer befinden, können Pflanzen weniger tief wurzeln; sie wachsen somit schlechter. Umgekehrt hat die Vegetation dort, wo früher Gräben waren, mehr Wasser und Nährstoffe zur Verfügung und gedeiht besser als auf dem Rest der Fläche. Diese Unterschiede im Pflanzenwuchs sind aus der Luft sichtbar, zum Beispiel in Getreidefeldern oder Wiesen. Überreste ehemaliger Bauten im Boden können auch für Temperaturunterschiede sorgen; das lässt den Schnee im Winter an einigen Stellen schneller oder langsamer schmelzen als an anderen.



Oberste Maxime für Luftbildarchäologinnen und -archäologen ist, sich nicht ablenken zu lassen. Denn was sie suchen, ist oft nicht das, was sofort ins Auge fällt. Unscheinbar unten rechts in diesem Bild sind Kreisgräben zu erkennen, die auf bronze- oder eisenzeitliche Bestattungen hindeuten. (Foto: Baoquan Song)

hat sich einiges verändert, seit die Disziplin entstanden ist. Ich prüfe, wie wir neue Techniken sinnvoll einsetzen können.

Wo liegen die Ursprünge der Luftbildarchäologie?

Begründet wurde die Luftbildarchäologie von dem englischen Archäologen O.G.S. Crawford. Er wurde im Ersten Weltkrieg für militärische Aufklärungszwecke eingezogen und fuhr mit einem Heißluftballon. Crawfords Ballon wurde über Deutschland abgeschossen und er gefangen genommen. Nach dem Krieg kam er frei und erinnerte sich daran, dass er aus der Luft viele archäologische Spuren gesehen hatte. Er hatte die Weitsicht zu erkennen, dass man vieles aus der Luft besser erforschen kann als vom Boden aus. Aber auch Crawford hat sich ein paar Mal bei vermeintlichen Fundstellen geirrt.

i AUS DER LUFT DURCH DIE BÄUME SCHAUEN

„Früher hat man gesagt, Luftbildarchäologie endet an der Grenze zum Waldgebiet“, sagt Baoquan Song. „Heute können wir auch Wälder gut erforschen.“ Möglich macht das die sogenannte LiDAR-Technik, eine Art Radartechnik, die mit Laserlicht funktioniert und Bodenerhebungen im Zentimeterbereich erfassen kann. Das gelingt selbst in Wäldern, wo mit klassischen Luftbilddaufnahmen in der Regel keine Spuren ausfindig gemacht werden können. Wie diese und weitere moderne Methoden sinnvoll für die Luftbildarchäologie genutzt werden können, erforscht Baoquan Song.



Ein typisches Langhaus der Bandkeramiker, das bis zu 50 Meter lang sein konnte. Die Bandkeramiker-Bauern stammten vom Balkan und kamen etwa 5200 vor Christus nach Westfalen. Auf der Aufnahme kann man die äußere Umrandung des Hauses sowie die Pfosten erkennen. Dort, wo die Pfosten dichter waren, gab es vermutlich eine Etage mehr, die als Speicher diente. (Foto: Baoquan Song)

Ach ja?

Einmal hat er zum Beispiel auffällige Kreise im Gras entdeckt und stellte später fest, dass jemand dort Schafe an einen Pflock angebunden hatte, die rundherum das Gras abgeweidet hatten.

Es braucht vermutlich etwas Zeit, das Auge für die Luftbildarchäologie zu trainieren.

Das stimmt, und es ist normal, dass man sich zwischendurch mal irrt. Das erzähle ich auch den Studierenden in meinen Veranstaltungen immer. Man muss vor allem lernen, sich nicht ablenken zu lassen. Denn archäologische Spuren sind oft unscheinbar. Und natürlich braucht man ein fundiertes archäologisches Wissen, um Spuren richtig interpretieren zu können.

Ist es für Sie mittlerweile zur Routine geworden, neue Spuren zu finden?

Ich bin in meinem Leben schon rund 1.500 Stunden als Luftbildarchäologe geflogen. Jedes Jahr gibt es Dutzende Fundstellen. Aber jede Entdeckung ist spannend. Wenn man allein

in der Luft ist und eine neue Spur sieht, ist das etwas Besonderes. Man ist in dem Moment der erste, der nach einer sehr langen Zeit diese Stätte entdeckt. Die ältesten Fundstellen sind 7.000 Jahre alt!

Im Sommer bin ich oft acht oder neun Stunden am Stück in der Luft. Das ist sehr ermüdend. Nach der Landung bin ich so kaputt, dass ich mit keinem mehr sprechen möchte. Aber die Neugier, ob es nicht doch wieder etwas zu entdecken gibt, ist mein Antrieb.

Haben Sie den Flugschein eigentlich nur für Ihren Beruf gemacht oder konnten Sie vorher schon fliegen?

Ich habe den Flugschein gemacht, um Luftbildarchäologe zu werden. Viele Luftbildarchäologen waren aber zuerst Piloten. Mein Lehrmeister Otto Braasch war beispielsweise Tornadoflieger bei der Luftwaffe, interessierte sich aber auch für Archäologie. Klassischerweise gehört zum Beruf des Luftbildarchäologen, selbst zu fliegen, zu navigieren, zu beobachten und zu fotografieren. Neben mir betreibt es so nur ein anderer Kollege in Deutschland, Klaus Leidorf. Die anderen Kollegen sind mit Piloten unterwegs.

136.669

BILDER HAT
BAOQUAN SONG IN
SEINEM FOTOARCHIV
VERZEICHNET.



Die Luftbildarchäologie ist seine Leidenschaft: Baoquan Song studierte diesen Schwerpunkt in Bochum und ist auch im Alter von 62 Jahren noch mit genauso viel Neugier dabei wie zu Beginn. (Foto: RUB, Marquard)

ALS BAOQUAN SONG KEINE GRÄBER ENTDECKTE

Irrtümer gehören zur Luftbildarchäologie dazu, wie Baoquan Song aus eigenen Erfahrungen weiß. „2010 habe ich geglaubt, in der Nähe der Stadt Haltern eine besondere Art von Gräbern im Getreide gefunden zu haben, die sogenannten Reihengräber“, erzählt der Bochumer Forscher. „Sie sind sehr selten in dieser Region.“ Die Ausmaße der entdeckten Mulden hatten die perfekte Größe für Körperbestattungen und waren von Ost nach West ausgerichtet, parallel zum Lauf der Sonne, wie es für die Art von Gräbern typisch war. „Ich habe einem Archäologieteam aus Münster davon berichtet“, erinnert sich Song. „Sie waren begeistert und haben sofort Leute ins Gelände geschickt. Aber mit Gräbern hatte mein Fund nichts zu tun.“ Wie Song durch eigene Nachforschungen herausfand, waren die Mulden Überbleibsel einer Baumschule.

Nicht immer stecken hinter Irrtümern solche Zufälle, manchmal sind es auch gezielte Täuschungen. „In den 1980er-Jahren gab es eine große mediale Debatte um Kornkreise“, erzählt Baoquan Song. Immer wieder gab es Berichte, dass in Getreidefeldern die Halme in regelmäßigen Mustern umgeknickt waren. Zuerst wurden Kreisformen gefunden, später auch aufwendigere Muster. „Manche glaubten, das seien Botschaften von Außerirdischen“, so Song. „Aber die Kornkreise waren von Menschen angelegt worden, um andere zu veräppeln, später haben sie es zugegeben. Auch heute noch ritzen Bauern alles Mögliche in ihre Grundstücke. Erst vor Kurzem habe ich ein großes Herz in einem Getreidefeld entdeckt.“

Manchmal bereiten den Luftbildarchäologen zudem Strukturen Kopfzerbrechen, die nichts mit menschlichen Einflüssen zu tun haben. Frostspalten aus der Eiszeit können beispielsweise bestimmte Muster an der Erdoberfläche bedingen. Eine Falle stellt zudem ein Pilz, der unterirdisch gedeiht und dessen Fruchtkörper an der Oberfläche kreisförmige Muster in die Wiesen zaubert – auch bekannt als Hexenkreis oder Hexenring.

Wie viele Luftbildarchäologen gibt es denn in Deutschland?

In Deutschland kann man sie an einer Hand abzählen. Europaweit sieht es nicht viel besser aus. Neben der Ruhr-Universität Bochum betreibt noch die Universität Wien Luftbildarchäologie, außerdem gibt es die Disziplin in England. Die Ruhr-Uni ist dabei die einzige Uni in Deutschland, an der Luftbildarchäologie fest im Lehrbetrieb etabliert ist.

Wenn das Fach so exotisch ist, wie sind Sie dann darauf aufmerksam geworden?

Da spielte ein bisschen der Zufall mit hinein. Nach meinem Abitur in China wollte ich eigentlich Dolmetscher auf einem Schiff werden, weil das die einzige Möglichkeit war, ins Ausland zu reisen. Aber meine Eltern wollten das nicht, ich sollte in unserer Heimatstadt studieren. Dort wurde ich von der Fakultät für Geschichtswissenschaft aufgenommen. Später wurde ich ausgesucht für ein Auslandsstudium. ▶

Fliegen gehört für Baoquan Song ebenso zum Job wie archäologisches Wissen. Angst vorm Fliegen hatte er nie. „Man entwickelt ein Verständnis für die Technik und weiß, dass das Flugzeug nicht wie ein Stein zu Boden fallen wird, wenn der Motor ausgeht, sondern dass man langsam runtersegeln kann“, erzählt er. Eine brenzlige Situation in der Luft hat er noch nicht erlebt. Aber sicherheitshalber trainiert er regelmäßig Notlandungen. (Foto: RUB, Marquard)

EIN ATLAS MIT PSEUDO-KOORDINATEN

Da er in China nicht fliegen durfte, forschte Baoquan Song mit Kriegsbildern, die die Japaner zu Aufklärungszwecken in den 1920er-Jahren aufgenommen hatten. Darauf identifizierte er mit Kolleginnen und Kollegen Tausende von Grabhügeln. Die Aufnahmen brachten die Forschenden mit topografischen Karten zusammen, um die Fundstellen genau verzeichnen zu können. „Unser Ziel war es, Bodendenkmäler in China mit der Luftbildarchäologie zu retten“, erinnert er sich. „Wegen der Einschränkungen haben wir das aber nicht ganz geschafft.“ Von der vierstelligen Zahl an Gräbern sind heute noch ein paar Hundert erhalten.

Baoquan Song veröffentlichte die Ergebnisse des Forschungsprojekts in Form eines Atlas. Aber auch das war nicht so einfach möglich. „Die topografischen Aufnahmen waren so wie die Fliegerei reglementiert“, erzählt er. „Damit wir sie veröffentlichen durften, mussten die Vermessungsleute Überstunden machen und ein Pseudo-Koordinatensystem einbauen. Für uns ist das egal, weil wir wissen, wo die Fundstätten sind und die echten Positionen rekonstruieren können.“

Bei seinen Flügen findet Baoquan Song jedes Jahr Dutzende neue Fundstellen. Viele seine Aufnahmen hat er in einem populärwissenschaftlichen Buch veröffentlicht, das auch für Studierende eine nützliche Lektüre ist. Hier sind Spuren des Herrenhauses eines römischen Gutshofs zu sehen. (Foto: Baoquan Song)

Sie wurden ausgesucht?

Das war 1978, als die diplomatischen Beziehungen zwischen China und Deutschland wiederhergestellt wurden und die Menschen auf beiden Seiten sehr vorsichtig waren. Zur Annäherung gab es ein Austauschprogramm zwischen den beiden Ländern. In Deutschland war das Auswärtige Amt dafür verantwortlich. Jedes Jahr haben beide Länder eine Wunschliste aufgestellt, welche von der anderen Seite erfüllt werden sollte. Da das Deutsche Archäologische Institut ein Teil vom Auswärtigen Amt war, hieß es, China möge zwei Studenten für das Fach Archäologie nach Deutschland schicken. Ich war einer davon – und bin heute froh, dass ich kein Dolmetscher geworden bin.

Seit vielen Jahren betreiben Sie nun Luftbildarchäologie in Deutschland. Reizt es sie nicht, auch mal in Ihrer Heimat China tätig zu sein?

In China als Luftbildarchäologe arbeiten zu können, wäre ein Traum. Tatsächlich habe ich nach meinem Studienabschluss 1995 in Bochum acht Jahre in China geforscht. Aber das war sehr mühsam. Die allgemeine Luftfahrt war und ist



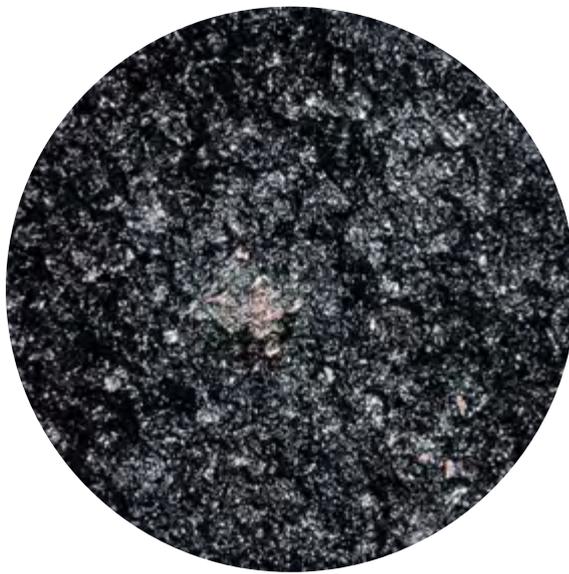
” WENN
MAN ALLEIN IN
DER LUFT IST
UND EINE NEUE
SPUR SIEHT, IST
DAS ETWAS
BESONDERES. “

Baoquan Song

noch nicht so weit entwickelt, man kann dort nicht so frei fliegen wie in Deutschland. Man braucht dazu eine spezielle Genehmigung. Deswegen habe ich neben wenigen archäologischen Prospektionsflügen in einigen ausgewählten Testgebieten überwiegend mit Luftbildern gearbeitet, die nicht für archäologische Zwecke aufgenommen worden waren. Ich hätte in China bleiben und ein wunderschönes Büro in Peking bekommen können, aber ich hätte nicht fliegen dürfen. Das wollte ich nicht.

Als ich erkannt habe, dass ich in China wegen der Reglementierungen nicht fliegen kann, bin ich nach Deutschland zurückgegangen. Dort wollte ich warten, bis der Luftraum in China freigegeben wird. Ich warte bis heute.

jwe



Verkehrswegebau

SCHAUMPARTY FÜR DIE STRASSE

*Deutschland konnte es sich bislang leisten, Asphalt bei hohen Temperaturen herzustellen.
Ein neuer Grenzwert ändert alles.*

Wer in Baden-Württemberg über eine Landstraße fährt, bekommt möglicherweise einen ganz besonderen Asphalt unter die Räder – klimafreundlicher hergestellt als viele andere Fahrbahndecken hierzulande. Bislang gibt es nur wenige Kilometer von diesem Asphalt in Deutschland, nämlich unter anderem dort, wo Doktorand Georg Bus seine Forschung wortwörtlich auf die Straße gebracht hat. Am Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum hat er eine neue Methode zur Asphaltherstellung untersucht. Dazu wanderten viele Kilogramm Sand, Gesteinsmehl und Schotter durch das Bochumer Labor, die in Form von Asphaltplatten wieder herauskamen.

Die alles entscheidende Zutat dabei ist Bitumen, ein Bindemittel, das die übrigen Komponenten zusammenschweißt. „Konventionelles Bitumen ist nur bei hohen Temperaturen verarbeitbar“, erklärt Georg Bus. „Bei Raumtemperatur verhält es sich wie hartes Gummi, aber bei 150 bis 180 Grad Celsius wird es flüssig und kann die Gesteinskörner gut umhüllen.“ Allerdings bringen die hohen Temperaturen im Produktionsprozess Nachteile mit sich. Sie verschlingen viel Energie, und zudem werden Dämpfe und Aerosole freigesetzt, die potenziell gesundheitsschädlich sind.

„Der Ausschuss für Gefahrstoffe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin hat 2020 aus Arbeitsschutzgründen einen neuen Grenzwert für die Freisetzung von Dämpfen und Aerosolen bei der Heißverarbeitung von

Bitumen festgelegt“, sagt Georg Bus. Früher lag dieser bei 10 Milligramm pro Kubikmeter, die neue Zielmarke ist 1,5 Milligramm pro Kubikmeter. Ende 2024 läuft eine Übergangsfrist aus, dann muss der Grenzwert eingehalten werden. Ein Hebel dafür ist, die Temperatur beim Produktionsprozess abzusenken. Weniger Hitze bedeutet weniger Dampf- und Aerosol-Ausstoß. „Durch eine geringere Produktionstemperatur würden wir außerdem viel Energie sparen“, ergänzt Bus.

An der Ruhr-Universität Bochum testete der Doktorand daher ein Produktionsverfahren für Warmasphalt, welcher im Gegensatz zu herkömmlichem Heißasphalt bei 20 bis 30 Grad Celsius niedrigeren Temperaturen hergestellt werden kann. „Damit das Bitumen bei diesen Temperaturen gut verarbeitbar ist, müssen wir Zusätze beimischen“, erklärt Georg Bus. Wachse, mineralische Zusätze, chemische Zusätze oder Wasser kommen infrage.

Das Bochumer Team entschied sich für Wasser, um sogenanntes Schaumbitumen zu erzeugen. Gibt man zwei bis vier Prozent Wasser unter Druck zum heißen Bitumen hinzu, entsteht schlagartig Wasserdampf, der dafür sorgt, dass sich das Bitumen um ein Vielfaches ausdehnt. „Es schäumt wie Seife“, veranschaulicht Georg Bus. „Durch das größere Volumen ist das Bitumen dann leichter verarbeitbar.“

Neu ist diese Technik nicht, es gibt sie schon seit den 70er-Jahren. „In den USA oder den Niederlanden ist die Asphaltherstellung mit Schaumbitumen mehr oder weniger ▶



Unter Druck wird das Bindemittel Bitumen mit Wasser vermischt und dadurch aufgeschäumt.

Standard“, weiß Georg Bus. „In Deutschland wurde sie bislang nicht gebraucht, weil der damals geltende Arbeitsplatzgrenzwert von 10 Milligramm pro Kubikmeter auch mit konventionellem Heißasphalt eingehalten werden konnte.“ Mit dem neuen Grenzwert sei der Bedarf plötzlich da.

Allerdings können die positiven Erfahrungen, die im Ausland mit Schaumbitumen gemacht wurden, nicht automatisch auf Deutschland übertragen werden. „Wir haben andere Asphaltrezepturen, die sich sowohl in der Zusammensetzung der Gesteinskörnungsgemische als auch in der Bindemittelart und Bindemittelmenge von anderen Ländern unterscheiden. Das Bindemittel Bitumen fällt als Rückstand bei der Rohöl-Destillation an. Je nach Herkunft des Rohöls variieren die chemischen Bestandteile im Bitumen, was wiederum Einfluss auf die Schäumbarkeit hat. Nicht alle Bitumen lassen sich daher gleich gut aufschäumen“, erklärt Bus.

Das Bochumer Team besorgte sich eine Anlage für die Schaumbitumen-Produktion, schaffte tonnenweise Gestein in großen Fässern heran und ließ sich hunderte Kilogramm Bitumen liefern. „Für das Projekt haben wir über 1.000 Kilogramm Asphalt hier an der Ruhr-Uni hergestellt“, veranschaulicht Bus die Dimensionen.

Der optimale Wassergehalt

Dabei probierte der Doktorand gemeinsam mit den Laborantinnen und Laboranten mehrere Rezepturen für die Produktion von unterschiedlichen Asphaltarten aus. „Ein Straßenbelag besteht üblicherweise aus drei Schichten, die sich in ihren Zusammensetzungen und Eigenschaften unterscheiden“, erklärt Bus. Die oberste Schicht, die Deckschicht, muss beispielsweise die stärksten Belastungen aushalten. Ein Wassergehalt von 2,7 bis 3 Prozent erwies sich zum Aufschäumen des Bitumens für alle Asphaltarten als die beste Lösung.

Nachdem Georg Bus die optimale Mixtur für die Asphaltproduktion gefunden hatte, stellte die Bochumer Gruppe nach dieser Anleitung Asphaltplatten her. Außerdem produzierte das Team Platten mit herkömmlichem Heißasphalt. „Dann haben wir die Performance des konventionellen Heißasphalts und des Schaumbitumen-Warmasphalts verglichen“, sagt Bus. Dazu bohrten die Forschenden Probekörper aus den Asphaltplatten heraus und untersuchten beispielsweise, wie sie sich bei Kälte und Hitze verhielten. „Die Performance von unserem Warmasphalt war vergleichbar mit der von Heißasphalt“, resümiert Georg Bus.

Aber damit war es immer noch nicht genug der Tests. „Man kann viel im Labor machen, aber man muss auch schauen, ob es in der Praxis funktioniert“, ist der Bochumer Ingenieur überzeugt. In Kooperation mit mehreren Asphaltmischanlagen in Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz ließ Bus daher die Asphalte großtechnisch herstellen. Auf zwei Landstraßen in den beiden Bundesländern wurden diese dann für eine sowieso geplante Sanierung verwendet. „Auf der Hälfte der Streckenabschnitte wurde unser Warmasphalt, auf der anderen Hälfte Heißasphalt eingebaut“, erzählt Georg Bus. „Beides ließ sich gleich gut verarbeiten.“ Erneut bohrten



ÜBER **1.000** KILOGRAMM ASPHALT STELLTE DAS BOCHUMER TEAM FÜR DAS PROJEKT HER.

die Forschenden kleine Proben aus der Fahrbahndecke und wiederholten die Performance-Prüfungen, die sie schon mit dem Laborasphalt durchgeführt hatten. Wieder konnte der Warmasphalt es mit dem Heißasphalt aufnehmen.

Und der Grenzwert? Den Ausstoß von Dämpfen und Aerosolen maß das Projektteam an unterschiedlichen Arbeitsplätzen im Straßenbau. „Relativ viele Dämpfe bekommt der Fertigerfahrer ab, der die Maschine bedient, mit der der Asphalt auf die Straße aufgebracht wird“, erklärt Georg Bus. „Hier haben wir die größte Reduktion feststellen können.“ Mit herkömmlichem Heißasphalt betrug der Dampf- und Aerosol-Wert 6,9 Milligramm pro Kubikmeter beim Fertigerfahrer; mit dem neuen Warmasphalt reduzierte er sich auf durchschnittlich 2,3 Milligramm pro Kubikmeter. „Das liegt zwar immer noch über dem geforderten Grenzwert von 1,5 Milligramm pro Kubikmeter“, so Bus, „aber wir haben den Wert immerhin schon mehr als halbiert.“ Und dabei auch noch Energie und CO₂-Emissionen eingespart.

Text: jwe, Fotos: RUB, Kramer



”
MAN KANN
VIEL IM LABOR
MACHEN, ABER
MAN MUSS
AUCH SCHAUEN,
OB ES IN
DER PRAXIS
FUNKTIONIERT.

Georg Bus

“

In der Werkhalle auf dem Campus der Ruhr-Universität lagern alle Zutaten für die Asphaltherstellung. Dass man daraus Niedrigtemperaturasphalt unter Einsatz von Schaumbitumen herstellen kann, hat Georg Bus in seinem Forschungsprojekt nachgewiesen. Und, dass er in der Praxis funktioniert.



Am Lehrstuhl für Verkehrswegebau lagern unterschiedliche Gesteinskörnungen, die in Deutschland für die Asphaltproduktion verfügbar sind.



Kai Pätzold sorgt in der Produktionshalle für reibungslose Abläufe.

REDAKTIONSSCHLUSS

Wie würde Ihnen dieses Werk an Ihrer Wand zuhause gefallen? Was hier nach moderner Kunst aussieht, ist am Lehrstuhl für Verkehrswegebau entstanden. Es handelt sich zwar nicht um ein Forschungsergebnis, aber zumindest um eine wichtige Zutat für die Projekte der Ingenieurinnen und Ingenieure: Bitumen, das Bindemittel, das die Bestandteile von Asphalt zusammenhält. Das Lehrstuhlteam untersucht unter anderem, wie man Asphalt bei niedrigeren Temperaturen als in Deutschland üblich herstellen kann und was dafür die beste Rezeptur wäre (mehr dazu auf Seite 62). So werden im Lauf eines Jahres einige hundert Liter Bitumen in der Werkhalle verarbeitet. Und was davon nicht im Asphalt landet, wird schon mal für die Produktion von Kunstwerken genutzt, die später die Büros der Ingenieurinnen und Ingenieure zieren.

Foto: RUB, Marquard



IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, v.i.S.d.P.)

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Birgit Apitzsch (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Thomas Bauer (Fakultät für Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Elena Enax-Krumova (Medizin), Prof. Dr. Constantin Goschler (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Günther Meschke (Prorektor für Forschung und Transfer), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Nils Pohl (Elektro- und Informationstechnik), Prof. Dr. Markus Reichert (Sportwissenschaft), Prof. Dr. Tatjana Scheffler (Philologie), Prof. Dr. Gregor Schöner (Informatik), Prof. Dr. Sabine Seehagen (Psychologie), Prof. Dr. Roland Span (Maschinenbau), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Dr. Lisa Bischoff (lb); Raffaella Römer (rr)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Schiefersburger Weg 105, 50739 Köln, Tel.: 0176 / 29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de

COVER: Roberto Schirdewahn / Agentur für Markenkommunikation

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfotos für die Seiten 18, 26 und 52: Roberto Schirdewahn; Seite 22: Anna Schulte; Seite 62: RUB, Kramer

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ: Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum, www.einrichtungen.rub.de/de/agentur-fuer-markenkommunikation

DRUCK: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, Hansaring 118, 48268 Greven, info@ld-medienhaus.de, www.ld-medienhaus.de

ANZEIGEN: Dr. Julia Weiler, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de

AUFLAGE: 3.900

BEZUG: Rubin erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter news.rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de gekündigt werden.

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

Die nächste Ausgabe von RUBIN erscheint am 7. Januar 2025 (Sonderausgabe Extinktionslernen).

RUB



RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

EIN STÜCK RUB BEI MIR

Unishop auf dem Campus im Foyer des HZO (Ebene 0)

Mo. – Fr. 11.00 – 15.00 Uhr

→ unishop.rub.de

RUB 60

BUILT TO CHANGE SINCE 1965.

Seit 1965 ist die **Ruhr-Universität Bochum** ein Motor für Wandel und Aufstieg. Sie hat die Entwicklung des Ruhrgebietes zu einer der dichtesten Wissenschaftsregionen Europas geprägt und mehr Erstakademiker*innen hervorgebracht als jede andere Uni: Menschen, die den Mut zur Veränderung in sich haben. Feiern Sie mit uns die Geschichte und Zukunft einer Institution, die seit ihrer Gründung im Herzen des Wandels steht.

Gemeinsam gestalten wir die nächsten **60 Jahre**.



Feiern Sie mit uns
60 Jahre Ruhr-Universität Bochum.