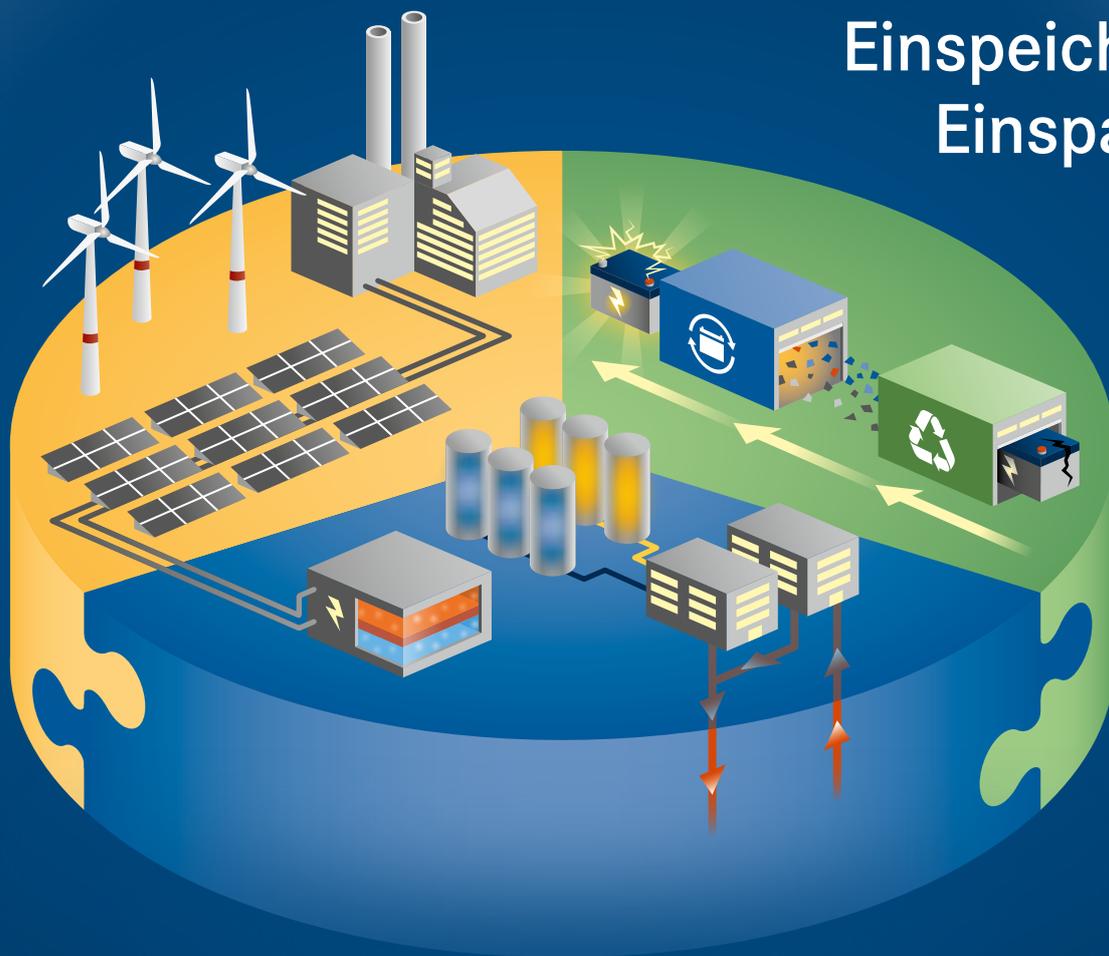


Energie³

Erzeugen
Einspeichern
Einsparen



Der Arzt und die Wissenschaftlerin

Ein Forschungsstandem gegen Blutkrebs

Magnetfelder für die Neurologie

Hoffnung für ALS-Erkrankte?

Forschung für die nächsten Generationen

Interview mit dem HZDR-Vorstand Sebastian M. Schmidt

Wie speichern wir in Zukunft Strom?

Eine der großen Fragen der Energiewende ist, wie sich Strom aus schwankenden regenerativen Energiequellen sinnvoll zwischenspeichern lässt. Setzt man auf Wasserstoff als Haupt-Energiespeicher, müsste für eine flächendeckende Versorgung ein komplett neues Wasserstoffnetz neben dem Stromnetz aufgebaut werden. Alternativ könnte in Methan umgewandelter Wasserstoff problemlos im bereits vorhandenen Erdgasnetz gespeichert werden; die spätere Methan-Verbrennung belastet die Umwelt jedoch durch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid (CO₂).

Im Rahmen der Helmholtz-Klimainitiative haben Dresdner Ingenieure gemeinsam mit Potsdamer Geoforscherinnen eine CO₂-neutrale Vision entwickelt: ein Speicherkraftwerk, das die Wasserstoffproduktion mit CO₂ aus industriellen Prozessen, dem vorhandenen Erdgasnetz, methanbetriebenen Turbinen und einem unterirdischen, geothermischen Kreislauf kombiniert. Solch ein großtechnisches Speicherkraftwerk könnte Strom und Wärme zentral, bedarfsgerecht und CO₂-neutral bereitstellen, ohne dass der Bau neuer Speichernetze erforderlich wird.

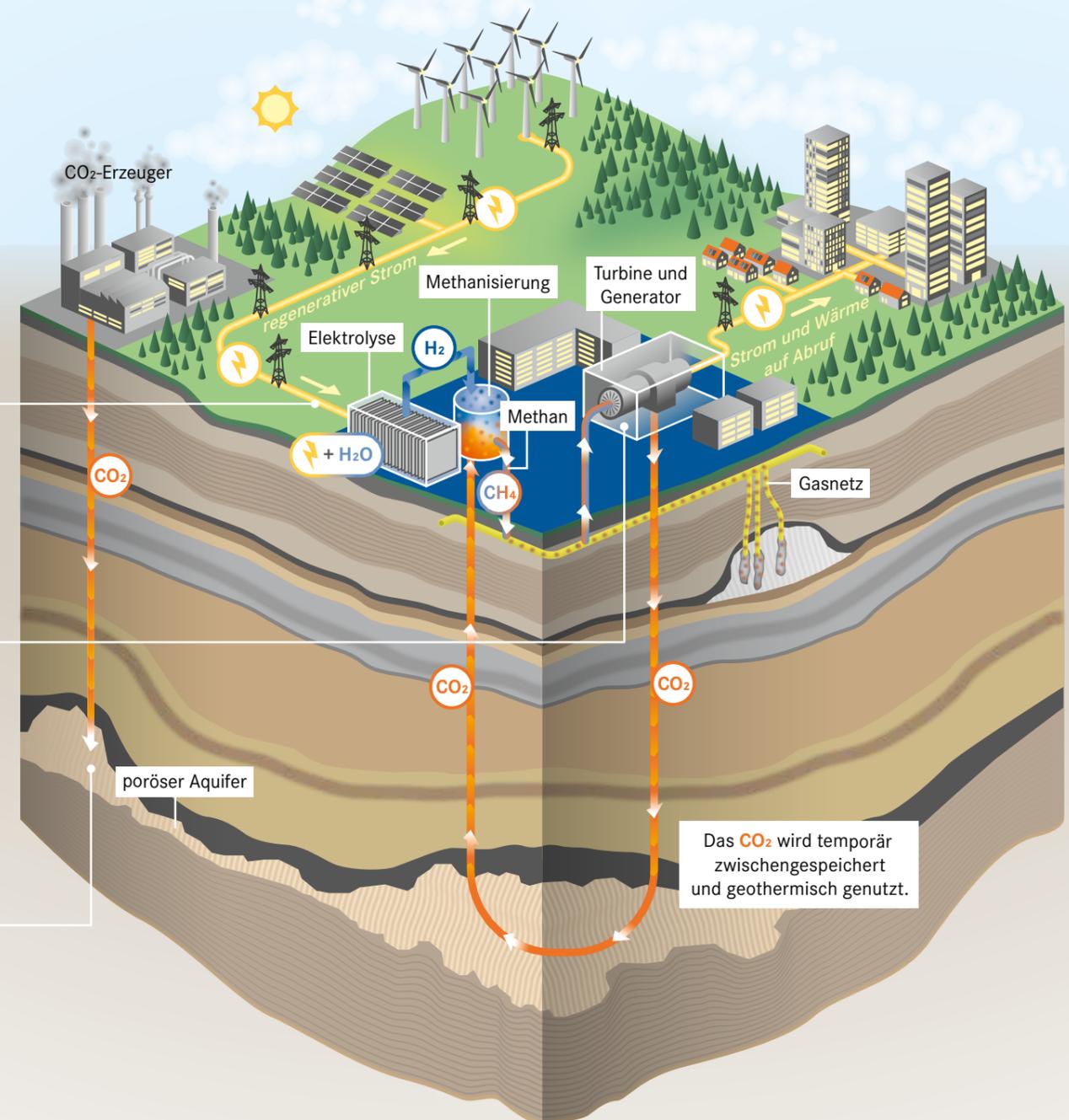
Die Kopplung von Geothermie und temporärer CO₂-Speicherung hat gleich mehrere Vorteile: Sie vermeidet CO₂-Emissionen und das CO₂ verursacht weniger Spannungen im Gestein als die geothermische Wärmeengewinnung mit Wasser. Dadurch sinkt die Gefahr induzierter Erdbeben und längere unterirdische Fließwege erlauben eine größere Wärmeausbeute. Neueste Technologien der Hochtemperatur-Wasserelektrolyse und mit superkritischem CO₂ angetriebene Turbinen (siehe CARBOSOLA-Projekt auf Seite 12) erzielen Kreislaufwirkungsgrade des Gesamtsystems von rund 54 Prozent – dreizehn Prozentpunkte mehr als bei konventionellen Kraftwerksprozessen mit CO₂-Abscheidung.

Liegt das Angebot von regenerativem Strom im Stromnetz über dem aktuellen Verbrauch, produziert das Speicherkraftwerk mithilfe von Elektrolyseuren Wasserstoff. Der Wasserstoff wird anschließend in Reaktoren mit Kohlenstoffdioxid in Methan (CH₄) umgewandelt und in das unter-irdische Erdgasnetz eingespeist.

Sinkt das Angebot an regenerativer Energie im Netz, können Strom und Wärme über methanbetriebene CO₂-Turbinen erzeugt werden.

Freigesetztes Kohlenstoffdioxid wird in unterirdische Gesteinsformationen gepresst und damit in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Im Erdreich wird es erwärmt, was die nachfolgende Rückverwandlung in Methan energetisch deutlich effizienter macht. Der größte Teil des CO₂ wird temporär zwischengespeichert. Teile des CO₂ können durch Trapping und Mineralisierung permanent aus dem Kreislauf entfernt werden.

Effiziente Energieumwandlung:
Geothermie gekoppelt mit temporärer CO₂-Speicherung



Das CO₂ wird temporär zwischengespeichert und geothermisch genutzt.

Kontakt

_Institut für Fluidynamik am HZDR
_Professur für Bildgebende Messverfahren an der TU Dresden
Prof. Uwe Hampel
u.hampel@hzdr.de

_Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Dr. Cornelia Schmidt-Hattenberger
cornelia.schmidt-hattenberger@gfz-potsdam.de



Liebe Leserinnen und Leser,

wie soll die Energiewende in Deutschland gelingen, wenn Kohle und Kernenergie künftig ausfallen und Öl ebenso wie Erdgas nicht zuletzt durch eine hohe Besteuerung immer teurer werden? Wir alle wissen: Die gesteckten Klimaziele werden langfristig nur durch erneuerbare Energien zu erreichen sein – bei gleichzeitigen Anstrengungen, unseren Energie- und Ressourcenverbrauch erheblich zu drosseln. Werden wir so aber den hohen Energiebedarf einer modernen Industriegesellschaft decken können? Und wie können wir die mittelfristig entstehende Energielücke schließen?

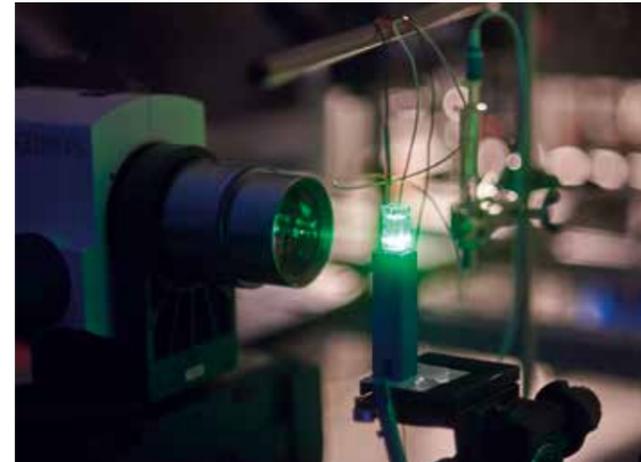
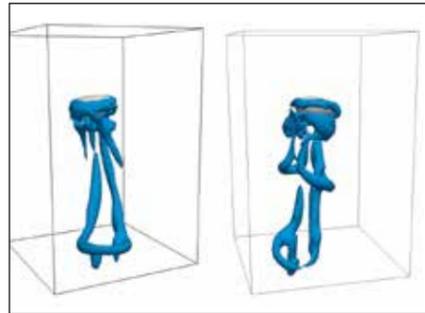
Derartig komplexe Fragen verlangen nach gänzlich neuen Konzepten und Lösungen. Forschung muss deshalb an vielerlei Problemstellungen ansetzen und dabei sowohl die Klimaziele als auch die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Anforderungen im Blick behalten.

Als multiprogrammatisch aufgestelltes Zentrum verbindet das HZDR die Energie- mit der Ressourcen- und der Materialforschung. So entwickeln Wissenschaftlerinnen und Ingenieure neuartige Flüssigmetall-Batterien, die als große stationäre Speicher für Wind- und Sonnenstrom zum Einsatz kommen sollen. Physikerinnen optimieren Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff, dem Energieträger der Zukunft. Ziel ihrer Grundlagenforschung sind Anlagen, die gleichermaßen wirtschaftlich und umweltschonend arbeiten können.

Diese und weitere Themen finden Sie in der aktuellen Ausgabe unseres Forschungsmagazins. Auf Ihre Kommentare und Anregungen freue ich mich und wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Lektüre.

Christine Bohnet
Abteilung Kommunikation und Medien im HZDR

Inhalt



Porträt

26 „Mehr Anwendungen, als sich erahnen lassen“
Als Spezialist für Strömungen arbeitet Fabian Schlegel an der Schnittstelle von Ingenieurskunst, Modellierung und Softwareentwicklung.



Forschung

28 Der Arzt und die Wissenschaftlerin
Claudia Arndt und Frederick Fasslrunner eint das Ziel, eine neue Form der Immuntherapie gegen Blutkrebs zu verbessern.

32 Mit gepulsten Magnetfeldern gegen neurodegenerative Erkrankungen
Aus der Vision könnte Wirklichkeit werden: Hilfe für Patientinnen mit ALS (Amyotrophe Lateralsklerose)

36 Unser Auftrag: Forschung für die nächsten Generationen
Interview mit Sebastian M. Schmidt, dem Wissenschaftlichen Direktor des HZDR



Titelbild: Gemeinsam mit Industriepartnern erforschen und entwickeln die Wissenschaftler des HZDR neuartige oder optimierte Verfahren,

-  um Strom oder auch Wasserstoff als Energieträger nachhaltig und kostengünstig zu erzeugen,
-  um Strom zwischenspeichern
-  und um Energie einzusparen.

Auch das Recycling von gebrauchten Autobatterien leistet einen wichtigen Beitrag, wenn es um den Ressourcen- und damit auch Energieverbrauch geht.

Titel

Energie³: Erzeugen, Einspeichern, Einsparen

08 Die Wasserstoff-Optimierer
Um Wasserstoff als Energieträger kostengünstig und nachhaltig produzieren zu können, sind noch viele grundlegende Fragen zu lösen.

12 Kraftkreislauf für emissionsfreie Turbinen
Die hohe Energiedichte von superkritischem Kohlenstoffdioxid ermöglicht eine neue Generation von Turbinen: klein, effizient und umweltverträglich.

14 Riesenakkus, Blubberbäder und eine Sandwich-Elektrode
Rund um das Thema Batterie sind innovative Lösungen für das Zwischenspeichern von Strom ebenso gefragt wie für das Recycling von gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien oder den Ersatz von Lithium.

20 Energiesparen im Trüben
Klärwerke sind Stromfresser. Gemeinsam mit dem Industriepartner Air Liquide arbeitet das CLEWATEC-Team an neuen Konzepten.

Rubriken

- 02 Warum wir forschen
- 04 Editorial
- 06 Woran wir forschen
- 39 Nachrichten
- 40 Impressum
- 42 Die Welt von Morgen

KLIMAFORSCHUNG

Ältester Permafrostboden Sibiriens

Ein internationales Expertenteam, an dem auch Wissenschaftlerinnen des HZDR beteiligt waren, hat das Alter des bislang ältesten, bekannten Permafrostbodens in Sibirien bestimmt. Der Boden in der Nähe der ostsibirischen Gemeinde Batagai ist seit rund 650.000 Jahren gefroren – ein Rekord! Diese Erkenntnis ist von aktueller Bedeutung, weil sie zeigt, dass Permafrostböden selbst in wärmeren Zeiten nicht gänzlich abtauen müssen. Tauen sie jedoch auf, werden Bakterien aktiv, die die uralte Biomasse abbauen und durch ihren Stoffwechsel die Klimagase Kohlenstoffdioxid und Methan freisetzen. Der

650.000 Jahre alte Permafrostboden liegt an einem Berghang eigentlich in rund 50 Metern Tiefe, ein Teil des Hangs war jedoch Mitte des 20. Jahrhunderts entwaldet und außerdem mit schweren Kettenfahrzeugen befahren worden. In der Folge taute der jüngere Permafrost an der Oberfläche im Sommer auf, geriet ins Rutschen und legte so den alten Permafrost frei.

Publikation: J.B. Murton et al., in Quaternary Research, 2022 (DOI: 10.1017/qua.2021.27)

RADIOONKOLOGIE

Kombination verspricht optimale Krebsbestrahlung

Der Einsatz von geladenen Teilchen bietet für die Krebstherapie erhebliche Vorteile: Tumore lassen sich mit Protonen zielsicher behandeln, während gleichzeitig das gesunde Gewebe besser geschont wird als bei der konventionellen Behandlung mit harter Röntgenstrahlung. Doch bisher fehlt es an der Technik, den Weg der Teilchen im Körper live und in hoher Auflösung zu verfolgen. Deshalb könnte bei Tumoren, die etwa aufgrund der Atmung oder der Verdauung ständig in Bewegung sind, gesundes Gewebe zu stark und das Tumorgewebe selbst zu wenig bestrahlt werden.

Dem wollen Wissenschaftlerinnen des HZDR im Nationalen Zentrum für Strahlenforschung in der Onkologie – OncoRay begegnen, indem sie einen drehbaren, offenen Magnetreso-

nanz-Tomografen (MRT) mit einem Protonenstrahl klinischer Qualität kombinieren. Eine große technische Herausforderung konnten sie zuvor schon aus dem Weg räumen. So wird ein Protonenstrahl in einem magnetischen Kreisbeschleuniger erzeugt und mit Magnetfeldern zum Patienten gelenkt. Diese aber stören die präzise definierten Magnetfelder von MRT-Geräten. Die Arbeitsgruppe des Medizinphysikers Aswin Hoffmann demonstrierte zum weltweit ersten Mal, dass eine Kombination beider Systeme technisch generell möglich ist.

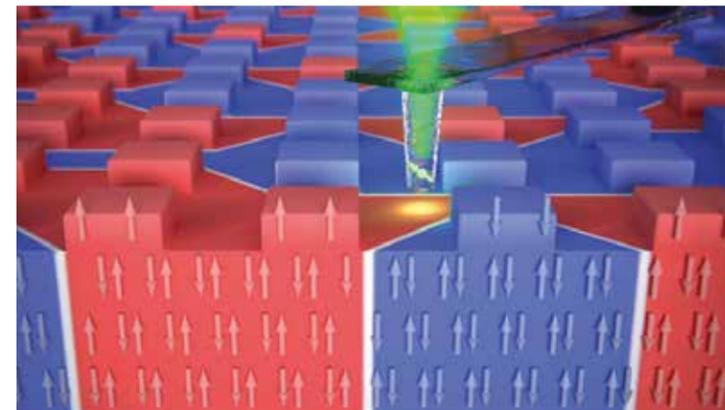
Publikation: A. Hoffmann et al., in Radiation Oncology, 2020 (DOI: 10.1186/s13014-020-01571-x)

ASTROPHYSIK

Kosmos im Labor

Ein spezielles Setup für die Untersuchung astrophysikalischer Prozesse könnte Bedingungen herstellen, wie sie ähnlich in der Umgebung von Neutronensternen herrschen. Die Idee: Ein winziger Block aus Kunststoff, durchzogen von mikrometerfeinen Kanälen, wird von den ultrastarken Pulsen zweier Hochintensitäts-Laser von rechts und links regelrecht in die Zange genommen. Die entstehenden Elektronenwolken rasen mit voller Wucht aufeinander zu und wechselwirken mit dem ihnen entgegenkommenden Laserpuls. Beim Zusammenprall entstehen extrem viele Gamma-Quanten – Lichtteilchen mit einer Energie, höher als die von Röntgenstrahlung. Die schiere Menge an Gamma-Quanten lässt die Teilchen miteinander kollidieren, sodass sich ihre Energie laut Einsteins berühmter Formel $E=mc^2$ in Materie verwandelt. Durch die am Vorgang beteiligten starken Magnetfelder wird daraus ein Antimaterie-Jet erzeugt und sehr effizient beschleunigt. Für die Astro- wie auch für die Kernphysik könnte das von einem Physikteam unter Beteiligung des HZDR vorgeschlagene, neue Verfahren überaus brauchbar sein. Denn auch manche Extremprozesse im All dürften Unmengen von Gamma-Quanten produzieren, die sich dann flugs wieder zu hochenergetischen Teilchen materialisieren, etwa in der Magnetosphäre von Pulsaren, also von schnell rotierenden Neutronensternen.

Publikation: Y. He et al., in Communications Physics, 2021 (DOI: 10.1038/s42005-021-00636-x)



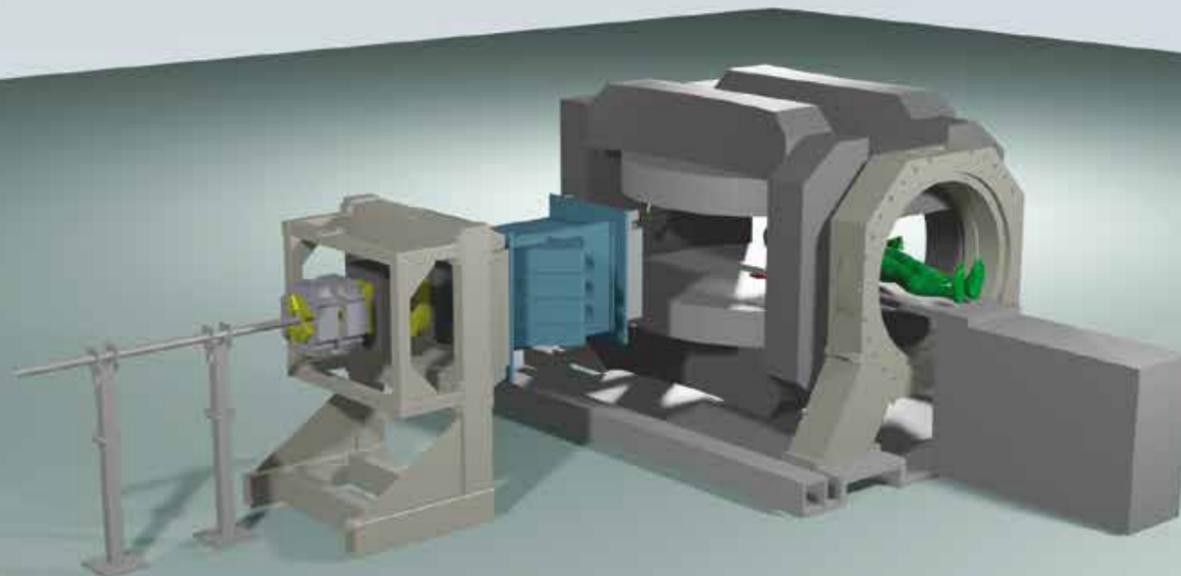
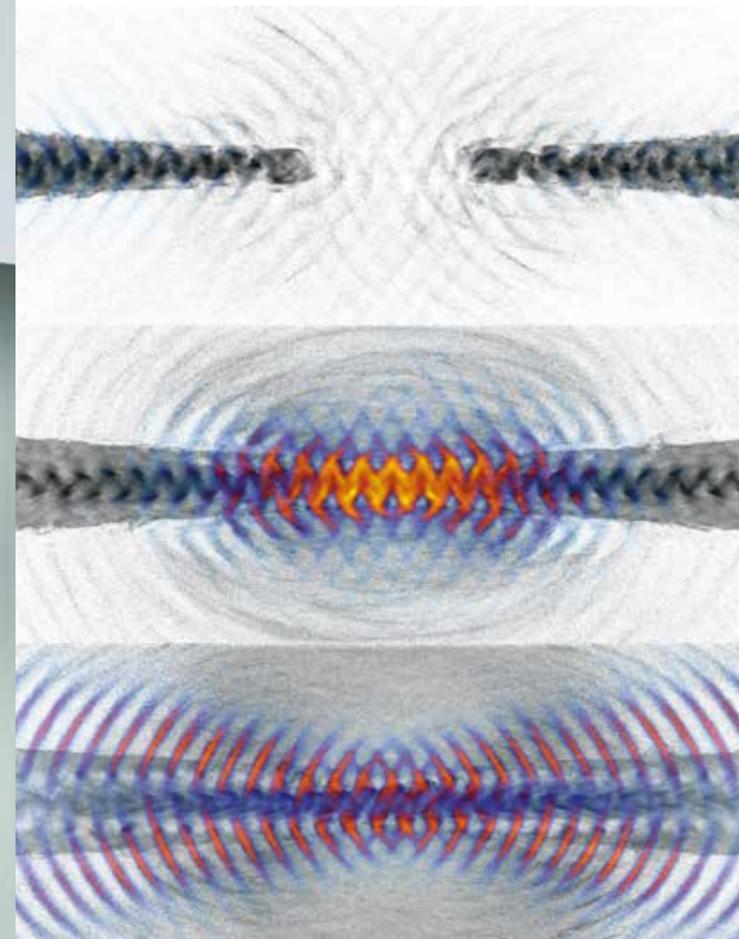
INFORMATIONSVERRARBEITUNG

Konzept für neues Speichermedium entwickelt

Antiferromagnete versprechen spannende Anwendungen in der Informationsverarbeitung, da sich die Ausrichtung ihres magnetischen Moments – im Gegensatz zu Ferromagneten in konventionellen Speichermedien – nicht versehentlich durch magnetische Felder überschreiben lässt. Mit hochsensitiven Quantensensoren konnten Schweizer Physiker die Wand zwischen zwei zuvor geschaffenen, magnetischen Bereichen in einem Einkristall erstmals experimentell untersuchen. Die Domänenwand verhält sich elastisch wie eine Seifenblase, wobei sich ihr Verlauf präzise voraussagen lässt – wie auch Simulationen von Forscherinnen aus dem HZDR ergaben.

In einem nächsten Schritt erhielt die Oberfläche des Einkristalls quadratische Nano-Erhebungen. Abhängig davon, wie die Quadrate angeordnet sind, können die Physiker die Domänenwand so dirigieren, dass diese entweder auf der einen oder auf der anderen Seite einer Erhebung verläuft – zwei Zustände, die für eine 1 beziehungsweise eine 0 stehen könnten. Durch lokales Erhitzen über einen Laser lässt sich die Wand zudem immer wieder verschieben. Damit könnte die Grundlage für ein wiederverwendbares Speichermedium gelegt sein, das schneller als herkömmliche Systeme sein und noch dazu deutlich weniger Energie verbrauchen dürfte.

Publikation: N. Hedrich et al., in Nature Physics, 2021 (DOI: 10.1038/s41567-020-01157-0)



Die Wasserstoff-Optimierer

Wasserstofftechnologien sollen einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende leisten. Damit sich Wasserstoff als Energieträger auf dem Markt behaupten kann, sind aber noch technologische Innovationen notwendig. Ein Team von HZDR-Forscherinnen setzt neue Impulse für die elektrochemische Wasserspaltung in Elektrolyseuren.

— Text: Gabriele Schönherr



Gasblasen verstehen: Doktorand Aleksandr Bashkatov bei der Vorbereitung eines Elektrolyse-Experiments.

Wenn Kerstin Eckert über Wasserstoff spricht, wird die Faszination und Bedeutung von Grundlagenforschung förmlich greifbar. Mit ihrer Forschung will sie viel bewegen, in der Wissenschaft, aber vor allem auch in der Anwendung. Eckerts Arbeitsgruppe erforscht zusammen mit dem Theoretiker Gerd Mutschke seit über einem Jahrzehnt das komplexe Verhalten von Wasserstoff: im Labor, mit theoretischen Modellen und Computersimulationen – und mitunter sogar schwerelos an Bord eines Parabelflugs. Die Physikerin ist fasziniert von der Mehrdimensionalität des Problems, die Praktikerin von seinem enormen Anwendungspotenzial.

Nicht nur in Deutschland, auch weltweit boomt die Forschung zu Wasserstoff. Das Gas zeichnet sich durch seinen besonders hohen spezifischen Energiegehalt aus und verspricht saubere Lösungen als Energiespeicher und -lieferant. Wasserstoff soll die schwankenden Erträge aus Solar- und Windkraft zwischenspeichern und so für eine stabile Stromversorgung aus den neuen Energiequellen sorgen.

In Kombination mit der Brennstoffzelle könnten mit Wasserstoff nachhaltige Lösungen für die Mobilität entstehen. Denn anders als Kohle, Öl und Erdgas hinterlässt Wasserstoff beim Verbrennen praktisch keine Abgase. Zudem sind wasserstoffbetriebene Elektrofahrzeuge immer schnell verfügbar, während rein batteriebetriebene Elektrofahrzeuge während langer Ladezeiten nicht genutzt werden können. Bislang scheitern die großen Wasserstoff-Visionen jedoch noch daran, dass ausreichend energieeffiziente, umweltfreundliche und wirtschaftlich konkurrenzfähige Lösungen für die Wasserstoffproduktion fehlen.

Mit besseren Elektrolyseuren zu grünem Wasserstoff

Im Fokus von Eckerts Arbeitsgruppe steht eine Schlüsseltechnologie auf dem Weg zu grünem Wasserstoff: die Elektrolyse, also die Wasserspaltung mithilfe elektrischer Energie. Bei diesem Verfahren wird Wasser in speziellen Vorrichtungen, den Elektrolyseuren, durch ein elektrisches Feld in seine molekularen Bestandteile, Wasserstoff und Sauerstoff, aufgespalten.

„Wir forschen hier an Problemstellungen mit einem echten Anwendungshorizont.“

— Kerstin Eckert, HZDR

Das entstehende Wasserstoffgas wird separiert, verdichtet und gespeichert. Von grünem Wasserstoff spricht man dann, wenn der für die Elektrolyse aufgewendete Strom zu hundert Prozent aus regenerativen Quellen stammt, also die auf den Wasserstoff übertragene Energie zu hundert Prozent umweltverträglich produziert wurde.

Grün bedeutet momentan allerdings auch teuer. Der deutlich billigere „graue“ Wasserstoff wird aus Erdgas gewonnen und belastet die Umwelt mit Kohlenstoffdioxid (CO₂). Damit grüner Wasserstoff eine konkurrenzfähige Alternative bieten kann, müssen neue Technologien her: „Mit der sich abzeichnenden Serienfertigung der Elektrolyseure werden die Investitionskosten und mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien die Energiekosten der Elektrolyse sinken“, prognostiziert Eckert. Als weiteren Kostentreiber sieht sie die Beschichtung der Elektroden, für die vielfach teure Platingruppenmetalle eingesetzt werden. Schließlich gehen bei heutigen Elektrolyseuren bis zu vierzig Prozent der elektrischen Energie noch durch Wärmeverluste und während der elektrochemischen Reaktion an den Elektroden verloren. Weltweit wird intensiv daran geforscht, ressourcenschonende und preiswerte Lösungen zu entwickeln und die Effizienz von Elektrolyseuren zu erhöhen. Eckerts Team verfolgt gleich mehrere Ansätze.

Ingenieurtechnische Herausforderung

Die Dresdner Forscher untersuchen grundlegende Herausforderungen der unterschiedlichen Elektrolyse-Technologien: Wie lassen sich langzeitstabile Elektrokatalysatoren entwickeln, mit denen die Wasserspaltung bereits bei kleinsten Überspannungen möglich wird? Wie können die aus der Wasserspaltung resultierenden Zweiphasen-Strömungen aus Flüssigkeit und Gas bei hohen Gasgehalten gemeistert werden? Die ingenieurtechnische Herausforderung ist enorm, das Innenleben der Elektrolyseure entsprechend komplex. „Die Elektroden müssen kontinuierlich mit Wasser oder mit Kalilauge versorgt werden und gleichzeitig müssen die entstehenden Gasblasen möglichst schnell aus dem System herausgeleitet werden. Die Blasen sind elektrisch nicht leitfähig und können sowohl die aktiven Zentren am Elektrokatalysator als auch die Wasserzufuhr in den porösen Elektroden blockieren“, erläutert Eckert.

Langfristiges Ziel der Wissenschaftlerin ist es, diese Dynamik bereits durch das Systemdesign zu steuern. „Das Engineering für die ‚Produktionsorte‘ der Gasblasen ist eine Schlüsselfrage für alle Elektrolyseure“, erklärt Eckert. Idealerweise bilden sich die Gasblasen erst außerhalb der porösen Elektroden an den Rohrleitungen, wo sich das Gas gut abtrennen lässt. Darauf hinwirken könnte eine passende Kombination von wasserabweisenden und wasserfreundlichen Oberflächen: „Das Gas ist zunächst molekular gelöst, wie bei einer Mineralwasserflasche. Erst wenn ich die Flasche öffne, also das Medium entspanne, sehe ich Blasen, die am Flaschenrand nukleieren. Für den Elektrolyseur bedeutet das, sowohl die Oberflächenenergien der Elektrodenmaterialien als auch der herrschende Druck spielen für die Blasenbildung eine große Rolle“, erläutert Eckert. Für die Tests sollen weltweit einzigartige Messtechniken für Zweiphasen-Strömungen, die am HZDR-Institut für Fluidynamik entwickelt wurden, nun erstmalig in Elektrolyseuren zum Einsatz kommen. >



„Thirty...Forty...Injection!“. Bei einem Anstellwinkel von 47 Grad drosselt der Pilot die Triebwerke. Nun herrscht Schwerelosigkeit, bis der Pilot die Maschine aus dem Sturzflug wieder abfängt.

Tanz mit den Blasen: schwerelos im Parabelflug

Das Forschungsteam hat auf dem Weg zu leistungsfähigeren Elektrolyseuren einen wichtigen Meilenstein erreicht: In Laborexperimenten entdeckten sie einen wichtigen Ansatzpunkt, um die Blasendynamik in herkömmlichen Elektrolyseuren zu verbessern. Dort entstehen die Wasserstoffblasen nahe der Elektrode und verweilen an dieser teils erstaunlich lange. Aufnahmen mit einer Hochgeschwindigkeitskamera verriet, dass die Blasen nicht etwa reglos an der Elektrode verharren, sondern in sehr schnelle Schwingungen geraten und bis zu hundertmal zurück zur Elektrode gezogen werden können, bevor sie sich von ihr ablösen.

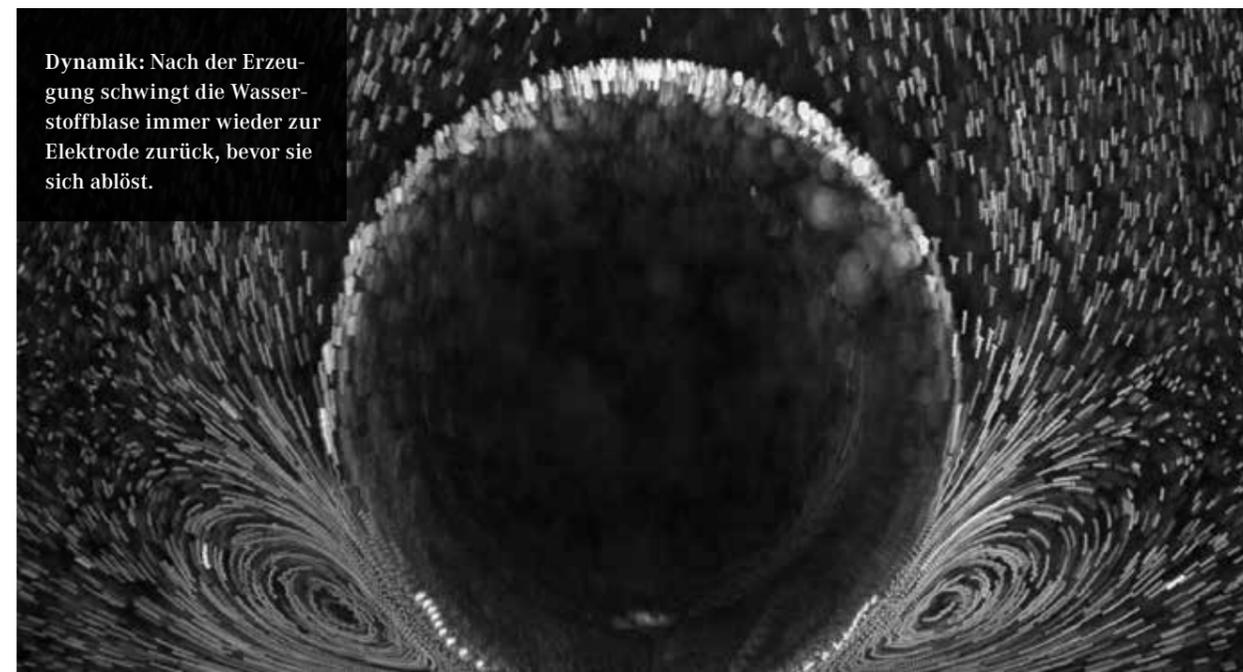
Auf der Suche nach einer physikalischen Erklärung für dieses Phänomen startete das Team aufwändige Messserien. Die Versuche deuteten auf eine bis dato nicht beachtete, elektrische Kraft als Ursache für die Schwingungen hin. Experimente an Bord eines Parabelflugzeugs bestätigten diesen Verdacht

und brachten weitere Einblicke. Denn im Steil- und Sturzflug ändert sich die wirkende Schwerkraft und damit ein kritischer Parameter, der sich im Labor nicht beeinflussen lässt. Im Verlauf der Parabeln war zu beobachten, wie Veränderungen der Auftriebskraft die Dynamik der Gasblasen beeinflussen.

2020 wurden Eckert und ihr Team für ihre Erkenntnisse zur Blasendynamik mit dem Innovationspreis der deutschen Gaswirtschaft für zukunftsweisende Energiekonzepte, die sich in besonderer Weise mit Klimaschutz und Ressourcenschonung beschäftigen, ausgezeichnet. Darauf folgten zahlreiche Drittmittelprojekte bis hin zu der Beteiligung an H2Giga, einem der drei Leitprojekte der Bundesregierung, das integrierte Elektrolysesysteme reif für die Serienproduktion und Industrialisierung machen soll. Im Verbund mit der Industrie arbeiten die Forscherinnen zusammen mit Kollegen aus zwei weiteren HZDR-Abteilungen und der TU Dresden an der Gasabtrennung bei den neuen Hochleistungselektrolyseuren.

Neue Ideen aus dem Wasserstoff-Lab

Ein völlig andersartiges Konzept steht zurzeit im Fokus des neuen Wasserstoff-Labs: ein membranfreier Elektrolyseur. Angesiedelt an den Bereich der Ingenieurwissenschaften der TU Dresden laufen im Wasserstoff-Lab seit Juli 2021 die Wasserstoff-Aktivitäten des HZDR und der Universität zusammen. Das schafft Raum für neue Ideen: „In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, das die Elektroden herstellt, entwickeln wir ein neues Elektrolyseurkonzept, dessen Erforschung international noch ganz am Anfang steht“, sagt Eckert. Wasser im Elektrolyseur gelangt hier durch verschiedene Strömungsführungen zwischen die Elektroden. Der Clou: Der Verzicht auf eine Membran macht den Elektrolyseur sehr preiswert in der Herstellung. Die Crux: Ohne trennende Membran, die verhindert, dass Wasserstoff und Sauerstoff sich wieder mischen, benötigen die Elektroden einen deutlich größeren Abstand als in herkömmlichen Elektrolyseuren, wodurch sich der Spannungsabfall erhöht und der Wirkungsgrad verschlechtert.



Dynamik: Nach der Erzeugung schwingt die Wasserstoffblase immer wieder zur Elektrode zurück, bevor sie sich ablöst.

„Ausreichend grünen Wasserstoff können wir nur in Ländern mit viel Sonne produzieren. Für diese benötigen wir preiswerte Technologien.“

— Kerstin Eckert, HZDR

„Für den Standort Deutschland sind membranfreie Elektrolyseure eher nicht interessant. Aber in Entwicklungsländern könnte diese preiswerte Technik viel leisten, wenn sie den Sprung zur Praxisreife schafft“, erläutert Eckert die Überlegungen hinter dem neuen Konzept. Auch sind erneuerbare Energien volatil. Elektrolyseure müssen daher mit Lastwechseln umgehen können. Bei Flaute müssen sie hinunter- und anschließend wieder hochgefahren werden, das heißt, die Elektrolyseure sind vielfach nicht in Betrieb. Umso wichtiger ist eine preiswerte Fertigung. Wie bei allen alkalischen Elektrolyseuren wird im Gegensatz zu den effizienteren PEM-Elektrolyseuren (siehe Infobox) zudem kein Platin oder Iridium benötigt. Das macht die Idee ressourcenschonend und kostensparend.

Der membranfreie Elektrolyseur böte den Dresdner Forscherinnen außerdem eine ideale Plattform für die weitere Messtechnik-Entwicklung und Grundlagenforschung. Ohne die störende Membran könnten sie die Vorgänge im Inneren mit bildgebenden Verfahren analysieren – und so die Kopplung zwischen der Elektrolyt-Gasströmung und der Elektrochemie an den Elektroden noch besser verstehen. Im nächsten Schritt soll in Zusammenarbeit mit lokalen Anlagebauer-Firmen ein skalierbarer Prototyp entstehen.

„Das Thema Wasserstoff hat eine irre Dynamik. Gerade die Kopplung von elektrochemischer Reaktion und Strömungsmechanik ist aber noch immer zu wenig verstanden. Hier können wir Beiträge leisten, die essenziell für zukünftige Technologieentwicklungen sind“, führt Eckert aus. Vom Erfolg solcher Entwicklungen wird schließlich auch abhängen, ob grüner Wasserstoff sich durchsetzen kann oder der Traum vom nachhaltigen Energieträger platzt. Kerstin Eckert sieht eine grüne Zukunft für das Gas.

Publikationen:

A. Bashkatov et al.: Dynamics of single hydrogen bubbles at Pt microelectrodes in microgravity. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2021 (DOI: 10.1039/D1CP00978H)

A. Bashkatov et al.: Oscillating hydrogen bubbles at Pt microelectrodes. *Physical Review Letters*, 2019 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.123.214503)

X. Yang et al.: Marangoni convection at electrogenerated hydrogen bubbles. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2018 (DOI: 10.1039/C8CP01050A) ↴

Elektrolyseure: Status Quo und weitere Entwicklung

Zurzeit wird im Wesentlichen an drei Typen von Elektrolyseuren geforscht: Alkalische Elektrolyseure (AEL), Proton Exchange Membrane (PEM) Elektrolyseure und Hochtemperatur-Elektrolyseure. Allen gemein ist das Grundprinzip von zwei mit Elektrokatalysatoren beschichteten Elektroden und einem Elektrolyt, also einer Substanz, die bewegliche Ionen enthält und elektrisch leitfähig ist. Wichtige Unterschiede liegen in der Energiebilanz, der möglichen Produktionsrate und den Investitionskosten der Elektrolyseure. Je höher der Wirkungsgrad, desto besser wird die aufgewendete Energie in die Wasserspaltung umgesetzt. Je höher die erreichbare Stromdichte, desto mehr Wasserstoff kann in einem bestimmten Zeitraum produziert werden.

- AEL-Elektrolyseure nutzen die am längsten bekannte Alkalische Elektrolyse-Technologie. Sie sind relativ günstig, erreichen aber nur relativ geringe Stromdichten und können nicht gut mit dem fluktuierenden Angebot erneuerbarer Energien umgehen.
- PEM-Elektrolyseure arbeiten bei deutlich höheren Stromdichten und sind aufgrund kurzer Startzeiten besser in der Lage, Fluktuationen aufzufangen. Außerdem sind sie sehr kompakt und weisen mit circa 80 Prozent einen deutlich höheren Wirkungsgrad auf als die AEL (derzeit etwa 60 bis 65 %). Allerdings sind PEM-Elektrolyseure teuer in der Herstellung, unter anderem wegen des Bedarfs an Edelmetallen für die Beschichtung der Elektroden und einer hohen Fertigungspräzision.
- Hochtemperatur-Elektrolyseure haben den besten Wirkungsgrad und eignen sich besonders gut, wenn gleichzeitig Abwärme recycelt werden soll.

Zukünftige Entwicklungen sollen die saubere und CO₂-freie Wasserstoffproduktion entlang der gesamten Produktionskette unterstützen. Damit die Umwelt- und Klimabilanz stimmt, müssen dafür auch alle Materialien im Elektrolyseur inklusive der Elektrodenbeschichtung möglichst umweltverträglich sein. Der Einsatz knapper Rohstoffe wie Platin und Iridium, die meist als Beschichtung der Elektroden für PEM-Elektrolyseure dienen, muss reduziert werden.

Kontakt

— Institut für Fluidodynamik am HZDR
 — Professur für Transportprozesse an Grenzflächen an der TU Dresden
 Prof. Kerstin Eckert
 k.eckert@hzdr.de
 Dr. Gerd Mutschke
 g.mutschke@hzdr.de

Kraftkreislauf für emissionsfreie Turbinen

Eine nachhaltige Energiewirtschaft erfordert neuartige Konzepte für den Betrieb von Turbinen unabhängig von fossilen Wärmequellen. Ein innovativer Ansatz, den die TU Dresden, das HZDR, die Siemens Energy Global GmbH und das DLR gemeinsam im Verbundprojekt CARBOSOLA weiterentwickeln, nutzt einen besonderen Zustand von Kohlenstoffdioxid: superkritisches CO₂ (sCO₂). Dessen spezielle Eigenschaften machen den Bau und Betrieb einer neuen Generation von Turbinen möglich, die extrem effizient, kompakt sowie umweltverträglich sind und ortsungebunden Strom aus Solar- und Abwärme liefern können.



Nachhaltiger Strom aus Solar- und Abwärme

Der Einstieg in die sCO₂-Technologie könnte den globalen CO₂-Ausstoß erheblich senken. Die sehr kompakten sCO₂-Turbinen erlauben eine nachhaltige Stromerzeugung vor Ort, beispielsweise durch die Rückverstromung der Abwärme aus industriellen Prozessen. Weil sie sich schnell hoch- und herunterfahren lassen, können sCO₂-Turbinen auch schwankende Wärme aus Solarkraftwerken optimal verstromen.

Text: Gabriele Schönherr

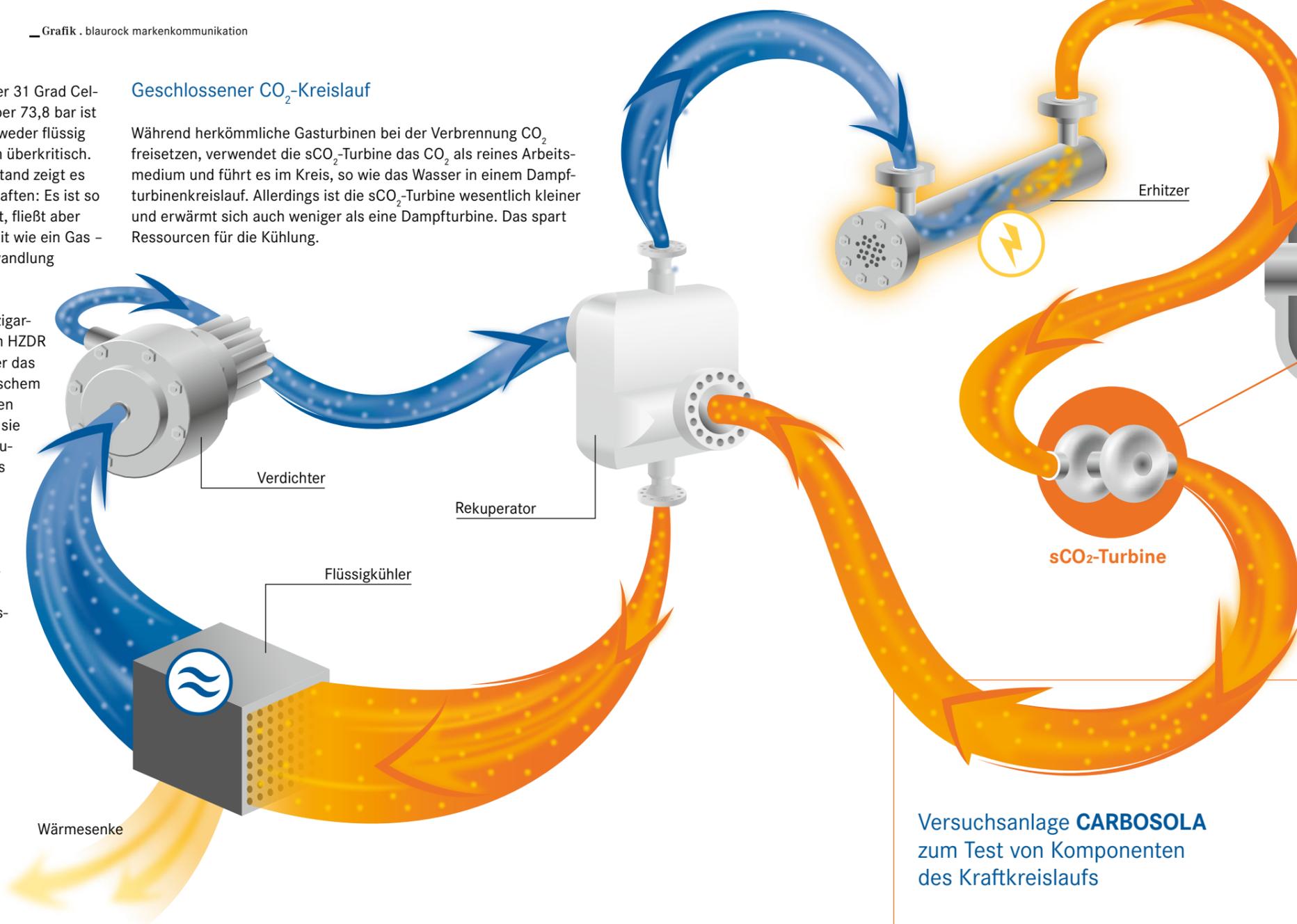
Grafik: blaurock markenkommunikation

Bei Temperaturen über 31 Grad Celsius und Drücken über 73,8 bar ist Kohlenstoffdioxid (CO₂) weder flüssig noch gasförmig, sondern überkritisch. In diesem speziellen Zustand zeigt es ungewöhnliche Eigenschaften: Es ist so dicht wie eine Flüssigkeit, fließt aber mit derselben Leichtigkeit wie ein Gas – ideal für die Energieumwandlung in einer Turbine.

Geschlossener CO₂-Kreislauf

Während herkömmliche Gasturbinen bei der Verbrennung CO₂ freisetzen, verwendet die sCO₂-Turbine das CO₂ als reines Arbeitsmedium und führt es im Kreis, so wie das Wasser in einem Dampfturbinenkreislauf. Allerdings ist die sCO₂-Turbine wesentlich kleiner und erwärmt sich auch weniger als eine Dampfturbine. Das spart Ressourcen für die Kühlung.

An einer europaweit einzigartigen Versuchsanlage am HZDR untersuchen die Forscher das Verhalten von superkritischem CO₂ in energietechnischen Prozessen. Dafür heizen sie das CO₂ bis zu Temperaturen von 650 Grad Celsius bei Drücken von 300 bar auf, analysieren das Strömungsverhalten, die Wärmeübertragung, verschiedene Komponenten des Kraftkreislaufs sowie effektive Regelungsstrategien.



Zehnmal kleiner als eine Dampfturbine

Prototypen der sCO₂-Turbinen erzielen im Verhältnis zu konventionellen Dampfturbinen die gleiche Leistung bei nur einem Zehntel des Bauvolumens. Hauptgrund ist die hohe Energiedichte des superkritischen Kohlendioxids. Wasserdampf dagegen benötigt etwa große Turbinenschaufeln im Niederdruckteil, weil sich der Wasserdampf stark ausdehnt, während er durch die Turbine hindurchströmt.

Versuchsanlage **CARBOSOLA** zum Test von Komponenten des Kraftkreislaufs

Kontakt

_Institut für Fluidodynamik am HZDR
_Professur für Bildgebende Messverfahren an der TU Dresden
Prof. Uwe Hampel
u.hampel@hzdr.de



Geschichtet: Im Inneren der Batterie-Zelle, an der Projektleiter Tom Weier (rechts) und Praktikantin Jeonghyun Rhee arbeiten, befinden sich zwei Flüssigmetalle.

Riesenakkus, Blubberbäder und eine Sandwich-Elektrode

Batterien zählen zu den Schlüsseltechnologien der Energiewende. Sie treiben Autos an, gleichen Netzschwankungen aus und speichern den Überschuss-Strom aus Windrädern und Solarzellen. Forschungsgruppen am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf entwickeln die Technik gleich in mehrfacher Hinsicht weiter. Sie tüfteln an neuartigen Hochtemperatur-Akkus für die Werkhallen der Industrie, entwerfen innovative Konzepte für das Recycling und präsentieren eine überraschende Idee, wie sich Lithium künftig durch ein sehr viel günstigeres Material ersetzen ließe.

__Text . Frank Grotelüschen

Die Industriehalle ist riesig, in ihr stehen, einer hinter dem anderen, Dutzende von Spezialöfen. In den Öfen ist es 950 Grad heiß, es fließt ein starker Strom, er wandelt ein weißes Pulver in reines Aluminium um. Aluminiumhütten laufen rund um die Uhr und sind wahre Energiefresser – sie verbrauchen mehr als drei Prozent der weltweiten Stromproduktion. Doch für die Energiewende bieten sie eine Chance: „Nachts scheint die Sonne nicht. Und der Wind weht auch nicht immer“, sagt HZDR-Forscher Tom Weier. „Deshalb braucht es Techniken, die das schwankende Angebot der erneuerbaren Energien ausgleichen.“ Mit dem Ausbau der Erneuerbaren und dem Abschalten fossiler Kraftwerke wird der Bedarf an effizienten Speichertechniken in Zukunft deutlich steigen.

Hier können Aluminiumhütten einen Beitrag leisten: Herrscht Flaute bei Wind- und Sonnenenergie, können sie ihre Öfen zeitweilig vom Netz nehmen, ohne dass die Aluproduktion zum Erliegen kommt – und dadurch das Stromnetz deutlich entlasten. Allerdings lässt sich dieses Vom-Netz-Gehen bislang nicht länger als zwei Stunden durchhalten: Danach würde die Schmelze in den Öfen erstarren, die Anlagen wären ruiniert. Doch Weier und seine Leute arbeiten an einer Idee, wie sich dieses Konzept verbessern ließe: Im EU-Projekt SOLSTICE – auf deutsch Sonnenwende – entwickeln sie eine Batterie, die die Öfen mit Strom versorgt und dadurch die Zeitspanne, in der die Aluminiumhütte vom Netz gehen kann, verlängert.

Basis ist ein ungewöhnlicher Batterietyp – ein Akku, der bei Temperaturen um 600 Grad Celsius mit flüssigem Natrium und Zink funktioniert. „Flüssige Elektroden besitzen keine feste Gestalt und erneuern sich bei jedem Laden und Entladen“,

„Das verspricht eine hohe Anzahl von Ladezyklen und damit eine lange Lebensdauer.“

— Tom Weier, HZDR

erklärt der Projektleiter. „Das verspricht eine hohe Anzahl von Ladezyklen und damit eine lange Lebensdauer.“ Weitere Vorteile: Zink und Natrium sind günstige, weltweit gut verfügbare Materialien. Zudem sollte sich der Batterietyp in großer, leistungsstarker Form bauen lassen – die Voraussetzung für den Einsatz in einem Aluminiumwerk.

Auf dem Weg zur Riesenbatterie

Kleinere Prototypen wurden bereits gebaut – bei SOLSTICE geht es nun darum, größere Exemplare zu entwickeln und unter realitätsnahen Bedingungen zu testen. Mit seiner Infrastruktur für den neuen Teststand DRESDYN bietet das HZDR dafür beste Voraussetzungen: Hier stehen zwölf Kubikmeter Flüssignatrium zur Verfügung. „Die Herausforderungen sind die drohende Korrosion sowie die Frage, wie gut der eingesetzte Keramikschaum das Zink daran hindert, in den oberen Bereich der Batterie zu gelangen und das Natrium zu verunreinigen“, betont Tom Weier. Gelingt es, die Probleme zu lösen, ließen sich eines Tages regelrechte Riesenakkus bauen, mehrere Kubikmeter groß. Sie könnten soviel regenerative Energie speichern, dass sich der Ofen nicht nur wie bislang

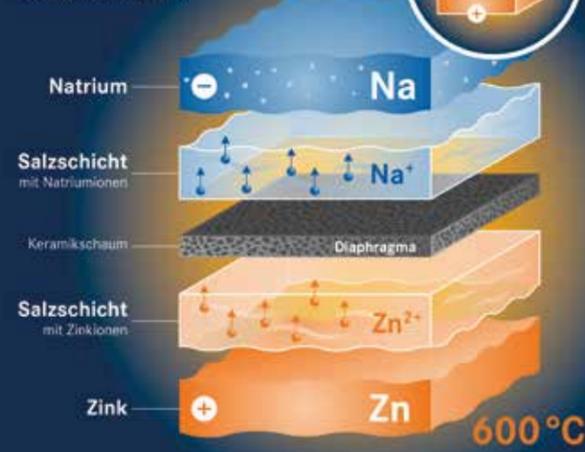
zwei Stunden ohne Netzstrom betreiben ließe, sondern im Idealfall über einen halben Tag. Auch für andere stationäre Großspeicher-Anwendungen dürfte das Konzept künftig taugen. >

Geschützt: Der Materialwissenschaftler Juhan Lee ist geübt im Umgang mit reaktiven Flüssigmetallen und Salzschmelzen, die als Trennschichten fungieren.



Projekt SOLSTICE

Stromspeicher auf Basis von flüssigem Natrium und flüssigem Zink



So funktioniert die Natrium-Zink-Flüssigbatterie:

In der 600 Grad Celsius heißen Zelle sind mehrere Schmelzen übereinandergeschichtet – unten die mit der größten, oben die mit der niedrigsten Dichte. Unten befindet sich flüssiges Zink, darüber eine Salzschiicht mit Zink-Ionen. Dann folgt eine Salzschiicht mit Natrium-Ionen, ganz oben schwimmt Flüssignatrium. In der Mitte sitzt ein festes Diaphragma – eine Trennschiicht aus einem Keramikschicht, die verhindern soll, dass sich die beiden Salzschiichten vermischen. Beim Aufladen tritt Natrium vom Salz ins Flüssigmetall über und Zink aus der Metallschiicht in die Salzschiicht – beim Entladen ist es genau andersrum.

Die neue Flüssigbatterie wird seit Anfang 2021 vom SOLSTICE-Konsortium entwickelt. An dem über vier Jahre laufenden EU-Projekt sind neun Forschungseinrichtungen und drei Unternehmen beteiligt, neben dem HZDR unter anderem die norwegische SINTEF, die Schweizer Firma FZSoNick und die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa.

SOLSTICE

Näher an der Einsatzreife ist das zweite SOLSTICE-Projekt: eine Natrium-Zink-Batterie, die bei 300 bis 350 Grad Celsius funktioniert. Zwar fungieren auch hier Flüssigmetalle als Elektroden, der Elektrolyt dagegen ist fest, weshalb der Akku bei einer deutlich niedrigeren Temperatur läuft. Vorbild ist ein kommerzielles Produkt: Die Schweizer Firma FZSoNick bietet eine Batterie an, die aus Flüssignatrium und Nickelchlorid besteht und zum Beispiel als Notstromaggregat für Mobilfunkmasten dient. „Wir wollen das Nickelchlorid durch Zinkchlorid ersetzen“, erläutert Weier. „Dadurch könnte der Akku um 20 Prozent günstiger werden.“ Das Ziel: Zum Projektende im Dezember 2024 soll ein seriennaher Prototyp parat stehen. Verwendung finden könnte die neue Batterie etwa in Windparks, um kurzzeitige Lastspitzen abzuf puffern und Abregelungen zu vermeiden.

Werthaltige Wiederverwertung

Ein Punkt, der für Batterien immer bedeutsamer wird, ist das Recycling. Bislang werden die Akkus kaum umfassend wiederverwertet – doch das soll sich künftig ändern. „Die Müllberge an gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien wachsen immer weiter“, erklärt Martin Rudolph, Verfahrenstechniker am Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) des HZDR. „Deswegen steigt der Bedarf nach einem industriellen Recycling.“ Das soll nicht nur die Umwelt schonen und die Recycling-Vorgaben der EU erfüllen, sondern auch die in den Alt-Akkus steckenden Materialien zugänglich machen: Stoffe wie Lithium, Graphit, Nickel und Kobalt haben ihren Wert und dürften künftig knapper und teurer werden. Insofern ist ein funktionierendes Recycling ein wichtiger Baustein der Energiewende.

Doch es gibt manche Herausforderung: Die Wiederverwertung ist nicht ungefährlich, es drohen Brände oder gar Explosionen. Außerdem ist es nicht einfach, möglichst alle Wertstoffe sauber und effizient aus den Akkus herauszuholen. Hier setzt der Kompetenzcluster „Recycling & Grüne Batterie“ (greenBatt) an, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, an dem das HIF in fünf Projekten beteiligt ist.

Eines dieser Vorhaben heißt DIGISORT. Es setzt nach einem frühen Schritt der Wiederverwertung an – dem Schreddern der Gebrauchtbatterien. „Wir versuchen, die geschredderten Teile zu identifizieren, um sie gezielt sortieren zu können“, erläutert HIF-Forscher Richard Gloaguen. „Konkret geht es

darum, aluminiumhaltige von kupferhaltigen Teilen zu trennen.“ Das Prinzip: Ein starker Luftstrom wirkt auf das Gemisch aus millimetergroßen Bruchstückchen ein. Aufgrund ihrer geringeren Dichte werden aluhaltige Teilchen dabei stärker „weggeblasen“ als jene dichteren Teilchen, die überwiegend aus Kupfer bestehen.

Das Neue bei DIGISORT: Diverse Kameras beobachten das Geschehen aus verschiedenen Blickwinkeln. Einige verfolgen die rasanten Bewegungen der einzelnen Bruchstückchen, andere erfassen deren Reflektanz – eine Art optischer Fingerabdruck, der verrät, woraus die Bruchstücke bestehen. Dadurch lassen sich die verschiedenen Sorten identifizieren und Teilchen trennen, die überwiegend Aluminium beziehungsweise Kupfer enthalten. Das Problem: „Der Prozess läuft so schnell, dass er nur mit der Hilfe von Künstlicher Intelligenz funktionieren kann“, sagt Gloaguen. „Gemeinsam mit der TU Bergakademie Freiberg entwickeln wir spezielle Machine-Learning-Algorithmen, mit denen die automatische Sortierung zuverlässig gelingt.“ Erste Vorarbeiten verliefen vielversprechend, zum Projektende im Herbst 2023 soll ein Demonstrator fertig sein, der die Machbarkeit des neuen Verfahrens beweist. „Unsere Algorithmen sollten sich später auch für die Trennung anderer Stoffe eignen, etwa von Lithium“, hofft der Forscher.

Blubberbad als Trennstufe

Dagegen geht es beim greenBatt-Projekt ecoLiga darum, Graphit sowie Metalle wie Nickel und Kobalt aus ausgedienten Akkus herauszuholen. Graphit ist wesentlicher Bestandteil der Batterie-Elektroden, bislang wird er zum Großteil in Bergwerken gewonnen und aufwendig zu Elektrodenmaterial verarbeitet. Bei ecoLiga wird die Batterie zunächst mechanisch aufgebrochen und auf bis zu 600 Grad Celsius erhitzt, wodurch sich Elektrolyt und Bindemittel verflüchtigen. Übrig bleibt eine schwarze Masse aus Graphit und diversen Metallen, im Wesentlichen Nickel, Lithium, Mangan und Kobalt.

Um den Graphit von den Metallen zu trennen, nutzen die Fachleute ein raffiniertes Verfahren namens Flotation: „Mit einer Art überdimensionalem Stabmixer rühren wir die Schwarzmasse in Wasser ein, dadurch entsteht eine Suspension“, beschreibt Martin Rudolph. „In diese Suspension blasen wir dann millimeterfeine Luftbläschen.“ >



Recycling: Technikerin Anja Oestreich untersucht, wie sich Wertstoffe mit dem Verfahren der Flotation anreichern lassen.

„Die Müllberge an gebrauchten Lithium-Ionen-Batterien wachsen immer weiter.“

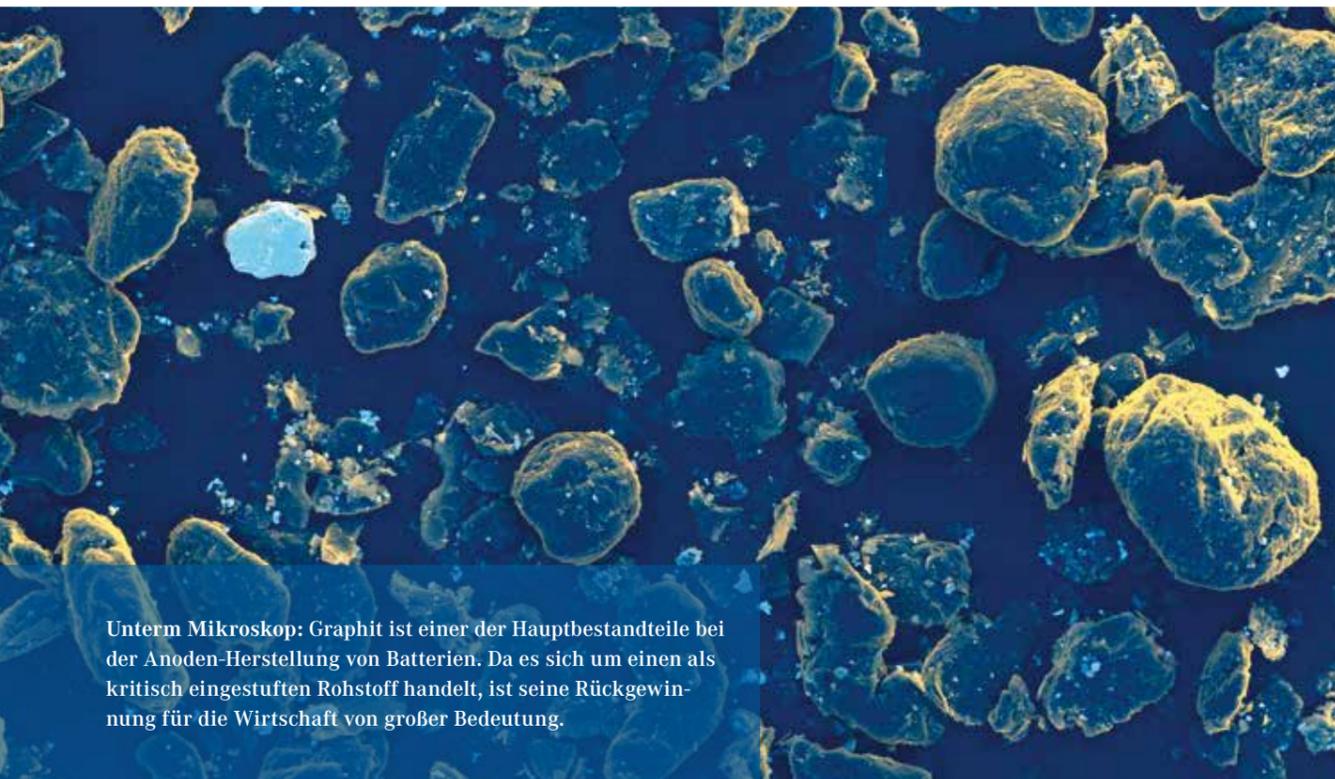
— Martin Rudolph, HZDR



Das Blubberbad zeigt eine verblüffende Wirkung: Die mehl-korngroßen Graphitpartikel sind derart wasserabweisend, dass sie sich an die Luftbläschen haften und mit diesen zur Oberfläche schwimmen. Dort sammeln sie sich als glänzend-schwarzer Schaum und können abgeschöpft werden. „Durch lassen sich mehr als 90 Prozent des Graphits abtrennen“, sagt Rudolph. „Nach einer chemischen Aufbereitung kann er wieder zur Produktion neuer Batterien verwendet werden.“ Projektpartner des Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik IWS in Dresden stellen erste Testbatterien her und prüfen, inwieweit der recycelte Graphit den Anforderungen entspricht. „Die ersten Ergebnisse sehen sehr gut aus“, freut sich der Wissenschaftler.

Auch die zurückbleibende Suspension lässt sich verwerten, schließlich enthält sie beträchtliche Konzentrationen etwa an Nickel, Kobalt und Lithium. Um diese Metallsorten voneinander zu trennen, entwickeln Projektpartner der RWTH Aachen einen speziellen nasschemischen Prozess. ecoLiga läuft bis Herbst 2023, dann soll eine Pilotanlage die Machbarkeit beweisen. „Die Entwicklung des industriellen Batterie-Recyclings hat mächtig Fahrt aufgenommen“, betont Martin Rudolph. „So baut die BASF im brandenburgischen Schwarzheide eine Recycling-Anlage auf. Und in die werden ganz sicher auch Ergebnisse unseres Kompetenzclusters einfließen.“

Flotation: Graphit sammelt sich als Schaum an der Oberfläche und kann von dort abgeschöpft werden.



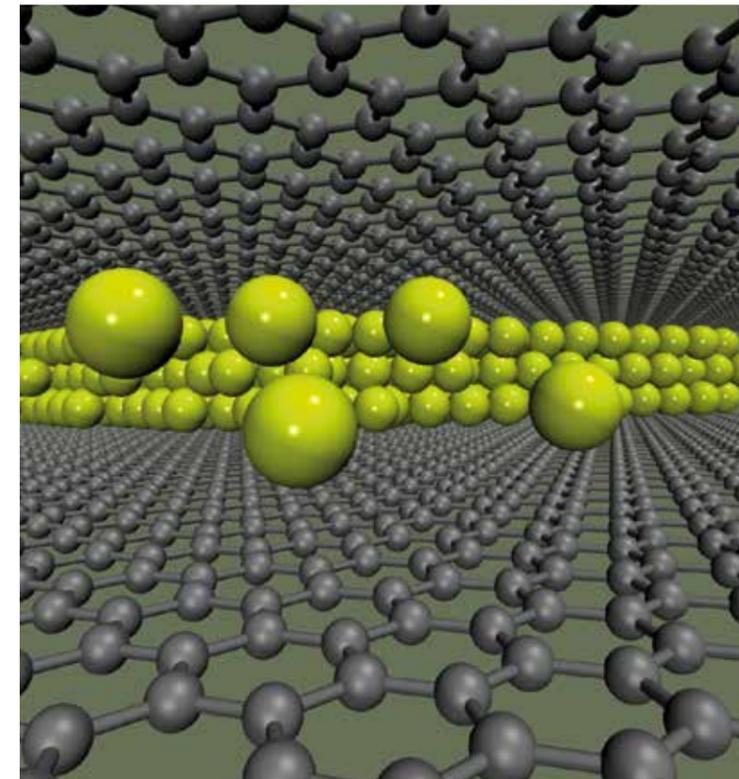
Unterm Mikroskop: Graphit ist einer der Hauptbestandteile bei der Anoden-Herstellung von Batterien. Da es sich um einen als kritisch eingestuften Rohstoff handelt, ist seine Rückgewinnung für die Wirtschaft von großer Bedeutung.

Sandwich-Struktur lockt Natrium an

Dennoch: Lithium könnte in Zukunft durchaus zu einer knappen und damit teuren Ressource werden. Deshalb fahndet die Fachwelt nach Alternativen. Eine Möglichkeit wäre, Lithium durch preiswertes Natrium zu ersetzen, einem der beiden Hauptbestandteile von Kochsalz. Doch noch sind manche Hindernisse zu bewältigen. So nimmt bei den heutigen Exemplaren die Batterie-Anode noch zu wenig Natrium auf. Abhilfe verspricht ein Projekt, an dem HZDR-Physiker Arkady Krashennikov beteiligt ist: Es setzt auf hauchdünne Schichten aus Graphen – das ist zweidimensionaler Kohlenstoff – sowie aus Molybdädisulfid. Zu einem sandwichartigen Stapel geschichtet könnten beide deutlich mehr Natrium-Atome einlagern als es bislang möglich ist – und damit ein interessantes Elektrodenmaterial abgeben.

Bereits 2018 gelang es in einem Experiment, überraschend viele Lithium-Atome zwischen zwei dünne Graphen-Lagen unterzubringen. Zwei Jahre später konnte das Team um Krashennikov mit aufwendigen Computersimulationen zeigen, dass Natrium ein ähnliches Verhalten zeigen sollte. „Allerdings dürfte es relativ viel Energie brauchen, um das Natrium zwischen die Graphen-Schichten zu zwängen“, schränkt der Physiker ein. „Deshalb haben wir nun eine andere Idee ausprobiert.“ Der Trick: Statt nur Graphen zu schichten, griffen die Fachleute zu einem weiteren, extrem flachen Material namens Molybdädisulfid.

Dicht gepackt: Mehrere Lagen von Lithium (grün) bilden mit zwei dünnen Graphen-Lagen einen sandwichartigen Stapel.



„Setzt man abwechselnd immer eine Schicht Graphen und eine Schicht Molybdädisulfid zusammen, sollte das Natrium gemäß unseren Berechnungen deutlich leichter aufgenommen werden als von einem reinen Graphen-Stapel“, beschreibt Krashennikov. Derzeit prüfen seine Kooperationspartner, ein Team um Jurgen Smet vom Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart, wie gut die Idee im Labor funktioniert. „Die ersten Ergebnisse“, freut sich der Physiker, „sind durchaus vielversprechend.“ Für Batteriehersteller könnte das eine gute Nachricht bedeuten: Sie hätten einen neuen Ansatzpunkt, um bessere und effektivere Natriumakkus zu entwickeln. Allerdings gibt es noch manche Herausforderung zu meistern. So ist es bislang alles andere als einfach, die aus Graphen und Molybdädisulfid zusammengesetzten Schichtstapel herzustellen. „Aber wie ein chinesisches Sprichwort sagt: Eine Reise von tausend Meilen beginnt mit einem einzigen Schritt“, meint Arkady Krashennikov. „Und der erste Schritt ist getan.“

Publikationen:

K. Mushtaq et al.: Self-discharge mitigation in a liquid metal displacement battery. *Journal of Energy Chemistry*, 2022 (DOI: 10.1016/j.jechem.2021.08.015)

N. Weber et al.: Numerical simulation of mass transfer enhancement in liquid metal batteries by means of electrovortex flow. *Journal of Power Sources Advances*, 2020 (DOI: 10.1016/j.powera.2020.100004)

W. Herreman et al.: Solubility and electrovortex flow in liquid metal batteries. *Physical Review Fluids*, 2020 (DOI: 10.1103/PhysRevFluids.5.074501)

A. Vanderbruggen et al.: Automated mineralogy as a novel approach for the compositional and textural characterization of spent lithium-ion batteries. *Minerals Engineering*, 2021 (DOI: 10.1016/j.mineng.2021.106924)

A. Vanderbruggen et al.: A contribution to understanding the flotation behavior of lithium metal oxides and spheroidized graphite for lithium-ion battery recycling. *Colloids and Surfaces A*, 2021 (DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.127111)

I.V. Chepkasov et al.: Alkali metals inside bi-layer graphene and MoS₂: insights from first-principles calculations. *Nano Energy*, 2020 (DOI: 10.1016/j.nanoen.2020.104927)

M. Kühne et al.: Reversible superdense ordering of lithium between two graphene sheets. *Nature*, 2018 (DOI: 10.1038/s41586-018-0754-2) 

Kontakt

_Institut für Fluidodynamik am HZDR
Dr. Tom Weier
t.weier@hzdr.de

_Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie am HZDR
Dr. Richard Gloaguen | Dr. Martin Rudolph
r.gloaguen@hzdr.de | m.rudolph@hzdr.de

_Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung am HZDR
Dr. Arkady Krashennikov
a.krashennikov@hzdr.de



Energiesparen im Trüben

Das Clean Water Technology Lab CLEWATEC am HZDR optimiert gemeinsam mit dem Industriepartner Air Liquide den Sauerstoff-Verbrauch von Klärschlamm-Becken. Dadurch können die Betreiber von Klärwerken, also Städte und Gemeinden, aber auch die Industrie, eine Menge Energie einsparen auf dem Weg zu sauberem Wasser.

Text: Roland Knauer | Fotos: Tobias Ritz



Erfolgreiches Duo: Markus Meier von Air Liquide (links) und Sebastian Reinecke, CLEWATEC-Koordinator am HZDR.

Erforscht: Die Größe der Sauerstoff-Blasen spielt eine wichtige Rolle für die optimale Belüftung. So lautet eines der Ergebnisse aus dem HZDR-Labor.

Reinigungsarbeit: Da in der Lebensmittelindustrie besonders viele organische Verbindungen anfallen, benötigen die Bakterien dort wesentlich mehr Sauerstoff als in kommunalen Betrieben.

Das wimmelnde Leben in einem Klärschlamm-Becken sieht das menschliche Auge erst durch ein Mikroskop: Ein ganzer Mikrokosmos von Bakterien, Pilzen und anderen winzigen Organismen wartet dort mit einem Riesenhungers auf die organischen Reste, die menschliche Verdauungssysteme oder industrielle Prozesse übriggelassen haben und die am Ende in einem Klärwerk landen. Diese Winzlinge „verbrennen“ ähnlich wie Tiere ihr Futter in einem biochemischen Prozess und gewinnen so ihre Lebensenergie. Und genau wie Fische holen sich auch die Mikroorganismen den für diesen Vorgang benötigten Sauerstoff aus dem Wasser.

Da viele dieser Bakterien ziemlich gierig sind und gerne auf Hochtouren laufen, verbrauchen sie reichlich Sauerstoff – und der droht knapp zu werden. Um das zu verhindern und die Mikroorganismen zu unterstützen, drücken Klärwerke der Kommunen oder Industrieanlagen gerne Luft beziehungsweise reinen Sauerstoff in den Klärschlamm. Diesen Prozess

wiederum optimiert zurzeit CLEWATEC, das als „Helmholtz Innovation Lab“ am HZDR durch die Helmholtz-Gemeinschaft gefördert wird, gemeinsam mit seinem Partner Air Liquide, einem der führenden Hersteller technischer Gase.

Energie-Schluckspecht Klärwerk

„Air Liquide will seinen Kunden nicht nur Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid, Stickstoff, Wasserstoff und andere Gase anbieten, sondern auch Problemlösungen“, erläutert Markus Meier, der als leitender Forschungsingenieur bei Air Liquide in Frankfurt am Main für Prozesse wie das Einleiten von Gas in Flüssigkeiten und damit auch ins Abwasser zuständig ist. Derzeit aber brennt den Klärwerken wie auch vielen anderen Branchen ein Problem auf den Nägeln: In Zeiten des Klimawandels sollten sie ihren Energieverbrauch rasch und stark senken. Benötigen doch allein die Klärwerke der deutschen Kommunen zusammen ungefähr so viel Energie, wie sie ein großes Steinkohlekraftwerk liefert.

Dazu kommen noch die Anlagen von mittelständischen und großen Unternehmen. Dort schluckt, genau wie in den Klärwerken der Städte und Gemeinden, die Luft- und Sauerstoff-Versorgung der hungrigen Bakterien in den Belebtschlamm-Becken die meiste Energie. Würde der Sauerstoff besser an die Bakterien verteilt, könnte ein Teil davon eingespart werden. So erhalten die Mikroorganismen derzeit an einigen Stellen gar nicht genug Sauerstoff, um auf Hochtouren die im Abwasser gelösten Bioabfälle zu verdauen. Gleichzeitig gelangt, abhängig von der Blasengröße, nur ein Teil des am Boden der Becken eingebrachten Sauerstoffs überhaupt in den Schlamm, während der Rest nutzlos verpufft. Energiesparmöglichkeiten gibt es also durchaus. „Um dieses Potenzial auszuschöpfen, brauchen wir die hochmodernen Versuchsanlagen des Instituts für Fluidodynamik am HZDR und deren große Erfahrung zum Beispiel in der Simulation von Strömungen“, betont Markus Meier. Erst mit der gebündelten Forschungskapazität des HZDR kann das CLEWATEC-Team um

Sebastian Reinecke Konzepte entwickeln, um den Sauerstoff-Hunger der Mikroorganismen im Klärschlamm möglichst gut zu stillen.

Fleißige Bakterien

Dort wartet eine ganze Familie von Bakterien auf ihr Grundnahrungsmittel, das aus biologischen Kohlenstoff- und Stickstoff-Verbindungen besteht. Diese wiederum stecken in großen Mengen sowohl in industriellen Abwässern wie auch in den Exkrementen, die beim Menschen aus Ballaststoffen, unverdauten Resten von Speisen und deren Bestandteilen, abgestoßenen Zellen des Darms und vielen Mikroorganismen der Darmflora besteht. Diese Mischung ist mit großen Mengen weiterer Abwässer aus Waschbecken, Duschen, Waschmaschinen und sonstigen Quellen kräftig verdünnt. Daraus werden in der Kläranlage zunächst feste Bestandteile wie mitgerissener Sand und Stücke von Hygieneartikeln entfernt. >



Auf Augenhöhe: Markus Meier, leitender Forschungsingenieur bei Air Liquide (links), und Sebastian Reinecke.



Lösungsorientiert: Intensive Diskussionen wie hier vor Ort im HZDR-Labor bringen die Zusammenarbeit voran.

Markus Meier (Mitte) und Kollegin Mareike Kolkmann (rechts) treffen auf die HZDR-Expertinnen Ehsan Mohseni, Susann Riedel, Alejandro Parra und Florian Ristau (von links).



Vision: Der Forscher Sebastian Reinecke und sein Team wollen das CLEWATEC in wenigen Jahren erfolgreich am Markt platzieren.

Der Rest landet in der biologischen Stufe der Kläranlage, deren Herzstück oft das Belebtschlamm-Becken ist. Dort stürzen sich die in Flocken aneinanderhängenden Mikroorganismen gierig auf die Biomoleküle im Abwasser, verbrennen diese und gewinnen so ihre Lebensenergie. „Eine zentrale Rolle spielen dabei kugelige Bakterien, die eifrig hin- und herflitzen und emsig fressen“, erklärt HZDR-Forscher Sebastian Reinecke. Dabei zerlegen sie die im Abwasser schwimmenden Kohlenstoff-Ketten in ihre Einzelteile und verbrennen die darin steckenden Kohlenstoff-Atome zu Kohlenstoffdioxid, das am Ende aus dem Klärschlamm in die Luft gelangt. Andere Mikroorganismen verputzen die zum Beispiel aus den Resten von Proteinen stammenden Amine und verbrennen sie zu Nitraten, die im Wasser gelöst bleiben. Würde man größere Mengen dieses Nitrats in Gewässer einleiten, droht Überdüngung. In

modernen Anlagen wird das Nitrat daher von anderen Mikroorganismen, die ohne Sauerstoff auskommen, zu Stickstoff umgebaut. Dieser blubbert anschließend in die Luft, die ohnehin zu 78 Prozent aus diesem Gas besteht.

Belüftung

Die anderen Reaktionen benötigen reichlich Sauerstoff, der in der Luft allerdings nur rund 20 Prozent ausmacht und so relativ rasch knapp wird. „Gibt es zu wenig Sauerstoff, werden die quirligen runden von langgestreckten Bakterien abgelöst, die erheblich langsamer arbeiten“, meint Sebastian Reinecke. Diese Mikroorganismen aber bringen gleich zwei gravierende Nachteile: Zum einen bräuchten die Klärwerke für sie erheblich größere und damit auch teurere Belebtschlamm-Becken

für die biologische Reinigung der gleichen Abwassermenge. Zum anderen sollen die Bakterien nach Erledigen ihres Jobs in einem zweiten Becken langsam als Schlamm zu Boden sinken, von dem ein Teil erneut Abwasser klären soll, während der Rest in Faultürmen zu Biogas und Kompost vergären kann. Anders als die kugeligen Bakterien schweben die langgestreckten Mikroorganismen gern als Schaum auf der Oberfläche und sinken daher nicht ab. Dieser Schaum würde mit dem eigentlich gereinigten Wasser an der Oberfläche abgeleitet und dann die Umwelt verunreinigen.

Die Klärwerksbetreiber haben also triftige Gründe, das Umstellen auf diese langgestreckten Bakterien zu verhindern und die kugelförmigen Mikroorganismen mit einer guten Sauerstoff-Zufuhr bei Laune zu halten. Also werden die Klärschlamm-

Becken der Kommunen mit zusätzlicher Luft versorgt, während Industrie-Klärwerke oft sogar reinen Sauerstoff einleiten. Schließlich enthalten zum Beispiel die Abwässer aus der Lebensmittelindustrie überreichlich organische Verbindungen, und die Bakterien benötigen dort noch mehr Sauerstoff.

Schläuche und Gummi-Teller

In den Klärwerken der Kommunen arbeiten häufig große Kompressoren, die durch dicke Leitungen die Luft von unten an große Gummi-Scheiben am Boden der Belebtschlamm-Becken pressen. Der Überdruck wölbt diese Gummi-Teller zu kleinen Kuppeln auf. Dabei öffnen sich in jeder Gummi-Membran mehrere Tausend winzige Schlitze ein klein wenig, wodurch die Luftbläschen aufsteigen können. >

„Industrie-Klärwerke verlegen stattdessen oft Schläuche in großen Mäandern am Grund der Becken“, erläutert Markus Meier von Air Liquide. Durch winzige Schlitzte, die nur wenige Tausendstel Millimeter breit sind, blubbert dann der mit einem Druck von rund zwei bar durch diese Schläuche strömende Sauerstoff in das Belebungsbecken. Daneben gibt es für das Zuführen von Gasen noch weitere Methoden wie zum Beispiel Systeme, die sehr viel Sauerstoff in den Belebtschlamm pressen, der anschließend mit hohem Druck wieder in das Belebungsbecken eingeschossen wird.

Die Physik der Bläschen

Alle diese Methoden haben derzeit eines gemeinsam: Die Bakterien können den mit einigem Energie-Aufwand zugeführten Sauerstoff oft nur zum Teil verwerten. Wie effektiv das funktioniert, hängt stark von der Größe der im Klärschlamm aufsteigenden Bläschen ab, die das Team in den CLEWATEC-Blasensäulen beobachten kann, deren Höhe den Dimensionen eines vier bis fünf Meter tiefen Belebtschlamm-Beckens entsprechen.

„Optimal sind nach unseren bisherigen Untersuchungen Bläschen mit einem Durchmesser von einem knappen Millimeter“, nennt Sebastian Reinecke ein wichtiges Ergebnis. „Kleinere Bläschen sind dagegen oft schon nach zwei Metern Aufstieg verbraucht und die Bakterien in den darüber liegenden Schichten gehen leer aus.“ Aus den größeren und damit schneller aufsteigenden Bläschen wird dagegen nur ein geringer Teil des Sauerstoffs genutzt, bevor diese die Oberfläche erreichen und ihr Inhalt nutzlos in der Luft verpufft. Die knapp einen Millimeter großen Bläschen können bei ihrem Aufstieg dagegen 90 Prozent ihres Sauerstoffs an den Klärschlamm abgeben und nutzen so die aufgewendete Energie optimal.

Nachteil der Luft

Das gilt eher für Sauerstoff-Bläschen, die meist aus den mäandrierenden Schläuchen in industriellen Belebtschlamm-Becken blubbern. Für die in vielen kommunalen Anlagen verwendete normale Luft sieht die Energiebilanz dagegen viel schlechter aus. „Aus den Luftbläschen diffundiert praktisch ja nur der Sauerstoff, nicht der Stickstoff“, erklärt Markus Meier. Da Luft aber zu rund 78 Prozent aus Stickstoff besteht, werden die Bläschen kaum kleiner und haben an der Oberfläche nur einen Bruchteil des enthaltenen Sauerstoffs abgegeben. Die Mikroorganismen im Belebtschlamm können ihren Appetit daher mit reinem Sauerstoff viel besser stillen.

Diesen Sauerstoff wiederum können Firmen wie Air Liquide zentral herstellen und dann an Klärwerke verkaufen. „In Zukunft wollen wir Elektrolyse-Anlagen anbieten, die Wasserstoff und Sauerstoff vor Ort produzieren“, schildert Markus Meier weitergehende Überlegungen für eine günstige Doppelverwendung. Diese Anlagen spalten mit grünem Strom Wasser und erzeugen so Wasserstoff, mit dem eine Kommune dann zum Beispiel ihre Flotte von Stadtbussen und Müllfahrzeugen betreiben kann. Der zusätzlich entstehende Sauerstoff wurde bisher als Abfall einfach in die Luft abgegeben – zukünftig könnte er zum Belüften von kommunalen Kläranlagen verwendet werden. Werden solche Anlagen auch noch dank

„Um dieses Potenzial auszuschöpfen, brauchen wir die hochmodernen Versuchsanlagen des HZDR und die große Erfahrung in der Simulation von Strömungen.“

— Markus Meier, Air Liquide

einfacher, im Computer aktuell berechneter Strömungsmodelle gesteuert, kann der gesamte Prozess laufend optimiert werden. So will das CLEWATEC-Team mit Hilfe solcher seit vielen Jahren am HZDR-Institut für Fluidodynamik optimierten, sehr komplizierten Strömungsmodelle zukünftig Kläranlagen vorausschauend steuern und dabei auch äußere Einflüsse wie das Wetter und die Energiepreise berücksichtigen. Auf diese Weise erhalten dann Klärwerke mit möglichst wenig Energie sauberes Wasser.

Publikationen:

R. Herrmann-Heber et al.: Experimental oxygen mass transfer study of micro-perforated diffusers. *Energies*, 2021 (DOI: 10.3390/en14217268)

G. Skouteris et al.: Energy flexibility chances for the wastewater treatment plant of the benchmark simulation model 1. *Processes*, 2021 (DOI: 10.3390/pr9101854)

R. Herrmann-Heber et al.: Dynamic aeration for improved oxygen mass transfer in the wastewater treatment process. *Chemical Engineering Journal*, 2020 (DOI: 10.1016/j.cej.2019.122068) ↴



www.clewatec.de

Kontakt

_Institut für Fluidodynamik am HZDR
_Clean Water Technology Lab CLEWATEC
Dr. Sebastian Felix Reinecke
s.reinecke@hzdr.de

Schnittstellen-Management

Alejandro Parra arbeitet seit März 2020 als Business Development Manager für das Helmholtz Innovation Lab CLEWATEC. „entdeckt“ sprach mit ihm darüber, wie Ideen in die industrielle Anwendung gelangen können und was dafür zu tun ist.

— Interview . Roland Knauer



entdeckt: Herr Parra, können Sie uns bitte ein wenig Ihre Aufgabe beschreiben?

Alejandro Parra: Ich suche zum Beispiel Kooperationspartner, mit denen wir gemeinsam erforschen, wie Kläranlagen nachhaltiger und effizienter werden können. Neben unserem Hauptpartner Air Liquide können das Betreiber von Klär- und Biogasanlagen sein, aber auch Elektronik-Spezialisten. CLEWATEC ist dabei die Schnittstelle zwischen Forschung und Industrie. Wir beschleunigen die Umsetzung von Ideen aus der Forschung in kommerzielle Produkte und Verfahren, die nachhaltiger sind und die Ressourcen schonen.

Weshalb machen Ihre Partner diese Forschung denn nicht selbst?

Der Betreiber einer Kläranlage riskiert bei einem neuen Verfahren oder einer starken Veränderung der Abwasserreinigung, dass er die vorgeschriebenen Grenzwerte verletzt. Wir dagegen haben die Infrastruktur, mit der wir solche Prozesse in einem sicheren Umfeld untersuchen können. So nutzen wir zum Beispiel zwei Blasensäulen mit einem Durchmesser von 90 Zentimetern, die mit vier Metern Höhe die typische Tiefe eines Klärschlamm-Beckens haben. Mithilfe installierter Sensoren und Kameras können wir die Vorgänge in den Säulen genau verfolgen und zum Beispiel die Größe der eingeleiteten Sauerstoff-Blasen messen. Ändern wir einzelne Parameter in unserer Anlage, kann das Labor über die Qualität des Abwassers die Auswirkungen dieser Maßnahmen messen. Bald nehmen wir eine Pilotanlage in Betrieb, in der wir untersuchen, wie gut eine Ozon-Behandlung Medikamente wie Ibuprofen oder Pestizide im Abwasser abbauen kann.

Kooperieren Sie auch mit internationalen Partnern außerhalb Europas?

Wir freuen uns darauf, in Zukunft auch Partner außerhalb Deutschlands zu erreichen. Zum Beispiel hatten wir vor Kurzem einen ersten Kontakt mit der Deutschen Auslandshandelskammer für Saudi-Arabien. In den trockenen Regionen Vorderasiens und dort natürlich auch in Israel sind Energie-sparmöglichkeiten und das Schonen von Ressourcen in der Abwasserbehandlung ja besonders wichtig.

Haben Sie neben Ihrer Management-Tätigkeit auch Zeit für Forschung?

Ein wenig. So untersuche ich mit Computer-Modellen, wie sich eine Kläranlage flexibler betreiben lässt. Kann man zum Beispiel die Schwankungen mildern, die beim Umstellen auf eine nachhaltige Stromversorgung zwangsläufig entstehen, indem man in Zeiten mit einem schwachen Angebot das besonders energieintensive Belüften von Klärschlamm-Becken auf vielleicht 70 Prozent reduziert? Oder kann man das in Kläranlagen ohnehin anfallende Biogas als Puffer verwenden, um in Zeiten mit einem geringen Stromangebot selbst Strom zu erzeugen? Damit ließe sich dann die Belüftung betreiben, die der größte Stromverbraucher in der Anlage ist. Ich unterstütze meine Kollegen auch bei der Frage, wie man wichtige Rohstoffe, wie die Pflanzen-Nährstoffe Phosphor und Stickstoff, aus dem Klärschlamm gewinnen kann. Solche Möglichkeiten werden in Zukunft ja immer wichtiger. ↴

Kontakt

_Institut für Fluidodynamik am HZDR
_Clean Water Technology Lab CLEWATEC
Alejandro Parra
m.parra-ramirez@hzdr.de

„Mehr Anwendungen, als sich erahnen lassen“

Wie können Strömungssimulationen dabei helfen, Ressourcen und Energie zu sparen? Welche neuen Erkenntnisse benötigen wir, um Reaktoren sicherer zu machen? Und wie profitieren Wissenschaft, Industrie und Gesellschaft von einer offenen Softwareumgebung? In der HZDR-Abteilung Computational Fluid Dynamics (CFD) arbeitet Nachwuchsgruppenleiter Fabian Schlegel an der Schnittstelle von Ingenieurskunst, Modellierung und Softwareentwicklung, um Antworten auf diese Fragen voranzubringen.

__Interview . Gabriele Schönherr



Maschinenbau-Ingenieure: Gruppenleiter Fabian Schlegel (links) mit Richard Meller.

entdeckt: Herr Schlegel, wieso benötigt die Energieforschung bessere Strömungssoftware?

Fabian Schlegel: Strömungen sind überall. Erst wenn wir solche Prozesse besser verstehen, können wir diese auch energetisch optimieren. Meine Gruppe ist auf Mehrphasen-Strömungen spezialisiert, also Gemische wie beispielsweise Luftblasen in Wasser oder Bier, oder Tropfenströmungen. Solche Strömungen haben einen extrem großen Einsatzbereich – etwa im Automobilbau, bei Klimaanlagen, Wärmetauschersystemen und verschiedensten großtechnischen Anlagen in der Verfahrenstechnik. Unsere Modelle behandeln dabei nicht nur ein einzelnes strömendes Medium, sondern es kommen mehrere zusammen. Das macht die Sache kompliziert, da an den Grenzflächen zwischen den Medien komplexe Prozesse und Interaktionen stattfinden. Unsere Erkenntnisse sind sehr generisch. Wir validieren Simulationsmethoden, die man nutzen kann, um all diese Prozesse zu modellieren. Wir untersuchen: Wie verlässlich sind die Methoden? Wie groß die Fehler?

Sie sind Spezialist für die Software OpenFOAM. Was ist das genau?

OpenFOAM ist ein riesiger Code mit inzwischen anderthalb Millionen Quellcode-Zeilen. Er hat ein unglaubliches Anwendungsportfolio: von Bank- und Finanzanalysen über Flugzeug-Aerodynamik bis hin zu Mehrphasen-Strömungen und komplexen Verbrennungsprozessen. Ich bin 2015 mit dem Auftrag an das HZDR gekommen, die OpenFOAM-Aktivitäten im Bereich der Strömungsdynamik zu stärken und weiterzuentwickeln. Wir haben es geschafft, zu der Software einen Teil beizutragen, der für Mehrphasen-Strömungen relevant ist – und der hat es bis in das letzte Release der OpenFOAM Foundation geschafft.

Für uns ist es sehr spannend, zu beobachten, wie schnell etwas aus OpenFOAM dann in die Anwendung gelangt. Der gesamte Code steht ja unter einer GNU General Public License, kann also frei genutzt werden. Wir sehen, wie Verfahrenstech-

nik-Firmen unseren Code aktiv für Fragestellungen nutzen, an die wir beim Entwickeln überhaupt nicht gedacht haben. Die Anwendungen gehen weit über unser ursprüngliches Forschungsinteresse zu Strömungen mit Blasen hinaus.

Ihre Ergebnisse publizieren Sie Open Source. Immer? Und wer profitiert davon?

Wir wollen beim Open-Source-Gedanken konsequent mit gutem Beispiel vorangehen. Unsere Ergebnisse werden entweder in die OpenFOAM-Software aufgenommen oder wir stellen sie unter einer Open-Source-Lizenz auf der vom HZDR gehosteten Plattform RODARE der Community zur Verfügung. Kommerzielle Software bedeutet oft unglaublich hohe Lizenzgebühren. Freie Entwicklungen wie OpenFOAM helfen der Forschung ebenso wie der Industrie. Dafür müssen wir als Forscher diese Entwicklung aber auch unterstützen – durch eigenes Engagement rund um den Code und auch finanziell. Als Forscher profitieren wir schließlich von einer professionellen Wartung und Pflege, die wir aus einzelnen Projekten heraus nicht leisten könnten. Der enge Austausch mit anderen Entwicklern und Kolleginnen hilft uns, den Code besser zu verstehen und für unsere Forschungszwecke anzupassen. Die Industrie kann die Software wiederum für eine Vielzahl von Anwendungen nutzen, die wir beim Entwickeln oft nicht einmal erahnt haben.

In einigen Projekten ist die Anwendung vorab klar. Ihre Modelle helfen zum Beispiel bei der Reaktorsicherheit.

Viele unserer Themen und Fragestellungen der CFD haben einen Bezug zur Kernkraft, meistens im Sicherheitsbereich. Mit unseren Modellen versuchen wir zum Beispiel vorherzusagen, was im Ernstfall bei einer Störung einer Anlage geschieht. Wie verhält sich die Strömung, wenn man eine Notkühlung machen muss? Gibt es Limitierungen, wieviel kaltes Wasser man in den Reaktor hineinpumpen kann? Welche Rückschlüsse lassen sich daraus für den Störfall ziehen?

Strömungsdynamik-Software in OpenFOAM

Das HZDR hat im Jahr 2017 das Contributors Agreement mit der OpenFOAM Foundation unterzeichnet und trägt damit aktiv zur Entwicklung von OpenFOAM im Bereich Mehrphasen-Strömungen bei. Als Mitglied des OpenFOAM Process Engineering Consortium ist das HZDR dabei eng mit der verfahrenstechnischen Industrie vernetzt und kann seine Entwicklungen entsprechend ausrichten und diese bis zur industriellen Anwendungsreife führen.

<https://rodare.hzdr.de/>

<https://www.hifis.net/>

Aktuell fördert das Bundeswirtschaftsministerium ein Projekt, in dem wir die deutschlandweiten OpenFOAM-Aktivitäten für den Reaktor-Kühlkreislauf koordinieren. Bisher gibt es hier noch zu wenig Synergien. Jeder arbeitet mit einer anderen Version des Codes. Die Ergebnisse von Simulationen können aber nur dann als Verifikation beispielsweise für Abnahmeprozesse von Anlagen dienen, wenn sichergestellt ist, dass der Code langfristig weiterentwickelt und gepflegt wird und zuverlässig ist. Diese Aufgabe können wir als Helmholtz-Einrichtung aus einer neutralen Position heraus übernehmen. Wir arbeiten in unserer Abteilung bereits intensiv mit den zentralen Infrastrukturen für IT-Softwareentwicklung bei Helmholtz im HIFIS-Projekt zusammen, um eine agile Softwareentwicklung zu ermöglichen, wie sie bei Firmen längst gang und gäbe, aber in der Forschung noch viel zu wenig vorhanden ist.

Wie wird man vom Ingenieur zum Software-Spezialisten?

Eigentlich wollte ich immer Flugzeuge bauen, deshalb habe ich mich in meinem Maschinenbaustudium in Dresden auch auf Luft- und Raumfahrttechnik spezialisiert. Meine Diplomarbeit habe ich bei Airbus geschrieben. Für meine Promotion bekam ich dann ein Angebot, an Strömungssimulationen zu meteorologischen Fragestellungen zu arbeiten. Daraus entstand auch mein erster Kontakt mit OpenFOAM. Damals habe ich Strömungen durch Waldgebiete simuliert, atmosphärische Grenzschichten studiert und Kohlenstoffdioxid-Analysen gemacht. Ich bin und bleibe aber bis heute auch bei der Software-Entwicklung immer noch ganz Ingenieur. Das ist auch wichtig. Unser Interesse ist, in die Anwendung zu kommen. Dadurch haben wir einen pragmatischen Blick auf die Dinge und können Simulationsmethoden so weiterentwickeln, dass sie auch für großindustrielle Prozesse anwendbar werden.

Publikationen:

R. Meller et al.: Basic verification of a numerical framework applied to a morphology adaptive multi-field two-fluid model considering bubble motions. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2021 (DOI: 10.1002/flid.4907)

M. Tekavčić et al.: Validation of a morphology adaptive multi-field two-fluid model considering counter-current stratified flow with interfacial turbulence damping. Nuclear Engineering and Design, 2021 (DOI: 10.1016/j.nucengdes.2021.111223)

F. Schlegel et al.: HZDR multiphase addon for OpenFOAM. Software im HZDR-Daten-Repositorium RODARE, 2021 (DOI: 10.14278/rodare.767) ┘

Kontakt

_Institut für Fluidodynamik am HZDR
_Leiter der Nachwuchsgruppe „Advanced Modeling of Multiphase Flows“
Dr. Fabian Schlegel
f.schlegel@hzdr.de



Einzigartige Infrastrukturen: Die Biologin Claudia Arndt und der Mediziner Frederick Fasslrunner können ihre Experimente sowohl in den Laboren des HZDR-Instituts für Radiopharmazeutische Krebsforschung als auch am Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden durchführen.

Der Arzt und die Wissenschaftlerin

Ein Forschungsstandem gegen Blutkrebs

Ein neues Forschungsteam bündelt Grundlagenforschung und medizinisch-klinische Expertise, um die in Dresden entwickelte UniCAR-T-Zelltherapie gegen Blutkrebs weiter zu verbessern. Das Ziel: versteckte Krebszellen aufspüren und mehr Kontrolle erlangen, indem der Krebs im Körper sichtbar gemacht wird.

— Text . Marcus Anhäuser — Fotos . Amac Garbe

Frederick Fasslrunner hat gerade erst wieder erlebt, warum die Forschung mit seiner Kollegin Claudia Arndt so wichtig ist. Der Arzt arbeitet in der Hämatologie der Uniklinik Dresden, hatte Nachtdienst und betreute einen Leukämie-Patienten, der mit der CAR-T-Zelltherapie behandelt worden war. Diese neue Therapieform ist weltweit im Vormarsch und erzielt beeindruckende Erfolge gegen Krebs. Doch der Preis ist für einige Patienten sehr hoch, weil es zu heftigen Nebenwirkungen kommen kann, sodass sie auf der Intensivstation landen: „Ihm ging’s nicht gut. Er hat hohes Fieber bekommen, niedrigen Blutdruck, Luftnot, alles Anzeichen eines Zytokin-Freisetzung-Syndroms als Reaktion auf die Therapie“, sagt Fasslrunner. Das Immunsystem reagiert über und flutet den Körper mit Zytokinen, entzündungsauslösenden Botenstoffen, die den Körper in dieser Menge überfordern können. Ein bekanntes Problem bei der CAR-T-Zelltherapie, die bisher nicht wirklich kontrollierbar ist. Das soll sich künftig ändern. Und daran arbeiten in Dresden zahllose Forscherinnen.

Zwei von ihnen – die Wissenschaftlerin Claudia Arndt und der Arzt Frederick Fasslrunner – leiten gemeinsam seit 2020 eine Nachwuchsforschungsgruppe am Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf. Das Forschungsteam wird durch das Mildred-Scheel-Nachwuchszentrum (MSNZ) der Medizinischen Fakultät des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus Dresden gefördert. Das MSNZ gehört zu einem deutschlandweiten Förderprogramm der Deutschen Krebshilfe im Bereich der Präzisionsonkologie. Unterstützt werden mit dem Programm in Dresden wissenschaftliche Duos, bei dem eine Person aus dem medizinisch-klinischen Bereich kommt und die andere aus der Grundlagenforschung. Die junge Forschungsgruppe um Arndt und Fasslrunner setzt sich aus einem sechsköpfigen Team aus Medizinerinnen, Biologinnen und Chemikern zusammen, die sich auf die T-Zell-basierte Therapie einer Form des Blutkrebses, der akuten myeloischen Leukämie (AML), fokussiert haben.

Die Wissenschaftlerin in diesem Forschungsstandem, Claudia Arndt, arbeitet bereits seit über zehn Jahren daran, dass die CAR-T-Zelltherapie sicherer und effektiver wird. Sie ist Expertin in Tumor-Immunologie und seit sieben Jahren Wissenschaftlerin am HZDR. Hier gehört sie zur Abteilung von Michael Bachmann, dem Erfinder der sogenannten UniCAR-Therapie, an deren Entwicklung auch Arndt in den letzten Jahren beteiligt war. Diese Weiterentwicklung soll die CAR-T-Zelltherapie wesentlich verbessern und wird gerade in einer weltweit ersten klinischen Phase-1-Studie an Leukämie-Patienten getestet – nach Jahrzehnten mühevoller Grundlagenforschung durch Bachmann und seine Kolleginnen.

UniCAR macht CAR-T-Zellen kontrollierbar

CAR steht für Chimeric Antigen Receptor und ist eine neue Form der Immuntherapie gegen Krebs, neben den bekannten Therapieansätzen wie Chemo- oder Strahlentherapie. Dabei werden gezielt die T-Zellen des Immunsystems eines Patienten gentechnologisch aufgerüstet, nachdem sie aus seinem Blut gewonnen wurden. Durch die Bearbeitung präsentieren diese Immunzellen, die landläufig als weiße Blutkörperchen bekannt sind, auf ihrer Oberfläche spezielle Antikörper-Rezeptoren, die an Proteine – den Antigenen – auf der Oberfläche

von Krebszellen binden und die sie dann zerstören können. „Die CAR-T-Zelle, die aber einmal im Körper ist, kann nicht mehr groß von außen beeinflusst werden“, beschreibt Fasslrunner das grundlegende Problem. Genau diesen Umstand löst das schaltbare UniCAR-System. „Anstatt die T-Zellen so zu verändern, dass sie einen passgenauen Rezeptor für Krebszellen präsentieren, ist der Schlüssel des UniCAR-Systems ein austauschbares Bindeglied. Nur über dieses können UniCAR-T-Zellen an Tumorzellen andocken“, erläutert Arndt.

Der Vorteil: Dank dieser Kombination aus UniCAR-T-Zelle und dem Bindeglied, dem sogenannten Targetmodul, können Medizinerinnen die Aktivität von UniCAR-T-Zellen therapeutisch steuern und „das lebendige Medikament“ gegebenenfalls auch ein- und ausschalten, ohne es zu zerstören. Die kurzlebigen Targetmodule werden aus dem Körper ausgeschieden und müssen daher immer wieder neu nachgepumpt werden, einfach über die Infusion, an der die Patientin hängt. Sobald die Pumpe ausgeschaltet wird, weil etwa die Nebenwirkungen zu stark werden, stoppt der Nachschub. „Und so hoffen wir, Patienten auch vor schwerwiegenden Nebenwirkungen auf der Intensivstation bewahren zu können“, erläutert Claudia Arndt.

Kennengelernt haben sich Fasslrunner und Arndt bereits 2017. Damals arbeiteten sie bereits erfolgreich an einem gemeinsamen Forschungsprojekt, das die UniCAR-T-Zelltherapie mit neuen Medikamenten für die Blutkrebsbehandlung kombiniert. Dabei haben die beiden eines während ihrer gemeinsamen Arbeit gelernt: „Um die Brücke zwischen Medizin und Forschung zu schlagen, ist eine gute Kommunikation die Basis“, meint Arndt.

„Nur über ein austauschbares Bindeglied können UniCAR-T-Zellen an Tumorzellen andocken.“

— Claudia Arndt, HZDR

Versteckte Krebszellen aufspüren

„Die Vision unserer Forschungsgruppe ist es, den aktuellen Goldstandard der Therapie der akuten myeloischen Leukämie, die Stammzell-Therapie, mit der UniCAR-T-Zelltherapie zusammenzubringen“, formulieren Arndt und Fasslrunner ihr hochgestecktes Ziel. Denn auch bei der Stammzell-Transplantation kann es immer wieder vorkommen, dass der Krebs nicht vollständig vernichtet wird. Hartnäckige Krebsstammzellen verstecken sich irgendwo im Körper und beginnen, sich nach einer gewissen Zeit erneut auszubreiten. Frederick Fasslrunner hatte gerade in der Nacht zuvor ein Gespräch mit einer Patientin erlebt: „Sie hat gekämpft gegen die Erkrankung, hat all ihre Kraft da reingesteckt und hatte große Hoffnung, und



Durchfluss-Zytometer: Claudia Arndt überprüft, ob die genetische Modifikation von T-Zellen erfolgreich verlaufen ist.



Sicherheitswerkbank: Die Herstellung der UniCAR-T-Zellen findet im Labor statt. Nach nur einer Woche können Frederick Fasslrunner und Claudia Arndt sie für Experimente nutzen.

dann kommt der Krebs nach sieben Monaten wieder. Das ist natürlich sehr frustrierend.“ Und um solche Fälle zu verhindern, könnte die kontrollierte UniCAR-T-Zelltherapie eine Hilfe sein. Denn das System kann ganz gezielt auf die versteckten Tumorzellen angesetzt werden, damit die präparierten Immunzellen die Krebszellen aufspüren und vernichten können.

„Das brachte uns auf die Idee, diese beiden Schritte zu kombinieren und gleichzeitig durchzuführen“, so Arndt. Statt der schwer kontrollierbaren CAR-Technologie setzt die Gruppe logischerweise gleich auf das UniCAR-System, um so die volle Kontrolle zu behalten. „So können wir vielleicht Rückfälle bei Blutkrebskrankungen verhindern, weil wir damit auch die restlichen Stammzellen erwischen, die den Blutkrebs immer wieder kommen lassen“, hofft Frederick Fasslrunner.

Die doppelte Teamleitung aus Kliniker und Wissenschaftlerin bietet dafür einen ganz besonderen Vorteil: eine patientennahe Forschung, die es möglich macht, direkt Erkenntnisse aus der Klinik in die Forschungsarbeit einfließen zu lassen und umgekehrt. Dresden ist zudem Sitz des SAL, dem deutschlandweiten Register Studienallianz Leukämie, einer der größten Studienzentralen für die AML. Diese Nähe erlaubt es der Tandemgruppe, auf Leukämie-Krebszellen aus AML-Patientinnen für ihre Forschung zuzugreifen. „Und wir stellen fest, dass wir mit diesen primären Leukämiezellen wichtige Ergebnisse gewinnen, die wir nicht durch Modellzelllinien bekommen können“, sagt Fasslrunner.

Einer der nächsten Meilensteine des Teams wird der Schritt von der Zelllinie in der Petrischale zum lebenden Organismus

„Forscherinnen und Kliniker müssen noch mehr an einem Strang ziehen, um die neuen Therapien für die Patienten noch schneller zugänglich zu machen.“

— Frederick Fasslrunner, Uniklinik Dresden

sein. Sie wollen ihre Werkzeuge in einem Maus-Modell testen, um dann die Tools auszuwählen, mit denen es in Richtung Patienten gehen kann.

UniCAR-T-Zellen sichtbar machen

„Die Kliniker stehen insbesondere vor dem Problem, dass sie die Therapie im Patienten nicht nachverfolgen können, also wie sich die UniCAR-T-Zellen im Körper verteilen“, erklärt Arndt. Daher wollen die Forscherinnen herausfinden, was während einer UniCAR-Therapie im Körper passiert. „Das wird sehr, sehr spannend, wenn wir dank der am HZDR etablierten In-vivo-Bildgebung endlich in die Blackbox schauen können“, blickt Fasslrunner voraus.

Wenn man wisse, wo sich die Wirkstoff-Moleküle im Körper verteilen, könne man möglicherweise auch Wirkung und Nebenwirkung besser vorhersagen, weil man etwa sehen könne, dass die UniCAR-T-Zellen an einen Ort wandern, an dem sie eigentlich nicht sein sollten. Also noch mehr Kontrolle als bisher. „Dazu wollen wir Tools entwickeln, mit denen man die UniCAR-T-Zellen verfolgen kann“, betont die Forscherin. Und das Team hat noch mehr im Fokus: „Wir wollen natürlich auch die Tumore sichtbar machen, und zugleich könnte man so auch ein Monitoring der Zielantigene – den Rezeptoren auf den Krebszellen – während der Therapie durchführen.“ Da die Tumorzellen der AML bekannt dafür sind, sehr heterogen mit verschiedenen Antigentypen besetzt zu sein, könnte man so die Verteilung der verschiedenen Antigene je Zelle überprüfen. Zugleich bekäme man mit, wenn ein Rezeptor von der Zelle herunterreguliert würde und allmählich verschwindet und damit keine Angriffspunkte mehr bietet.

Technisch können die Forscherinnen das über die UniCAR-Targetmodule lösen: „An unser Targetmodul im UniCAR-System wird ein Chelator angeknüpft, und daran bindet ein Radionuklid, dessen Strahlung dann von einer PET-Kamera aufgenommen werden kann und damit sichtbar wird“, sagt Arndt. Dass dies mit den Targetmodulen funktionieren kann, hat sie erst kürzlich in einem Projekt mit anderen HZDR-Wissenschaftlerinnen um Michael Bachmann belegt. So ähnlich ließe sich auch die Leukämie visualisieren.

Die Tandemgruppe aus Arndt und Fasslrunner ist beispielhaft für die enge Zusammenarbeit von HZDR, Technischer Universität und Uniklinikum am Standort Dresden. „Forscher und Kliniker

müssen noch mehr an einem Strang ziehen, um die neuen Therapien für die Patienten noch schneller zugänglich zu machen“, betont Fasslrunner. Wenn dann alles passt, wird es hoffentlich erste Tests an Patientinnen geben. „Das wird sicherlich ein überwältigendes Gefühl sein, wenn man dann sagen kann, man hat einen kleinen Beitrag dazu geleistet“, so Claudia Arndt.

Publikationen:

C. Arndt et al.: Adaptor CAR platforms - next generation of T cell-based cancer immunotherapy. *Cancers*, 2020 (DOI: 10.3390/cancers12051302)

F. Fasslrunner et al.: Radioimmunotherapy in combination with reduced-intensity conditioning for allogeneic hematopoietic cell transplantation in patients with advanced multiple myeloma. *Biology of Blood and Marrow Transplantation*, 2020 (DOI: 10.1016/j.bbmt.2019.11.007)

F. Fasslrunner et al.: Midostaurin abrogates CD33-directed UniCAR and CD33-CD3 bispecific antibody therapy in acute myeloid leukaemia. *British Journal of Haematology*, 2019 (DOI: 10.1111/bjh.15975) ┘

Kontakt

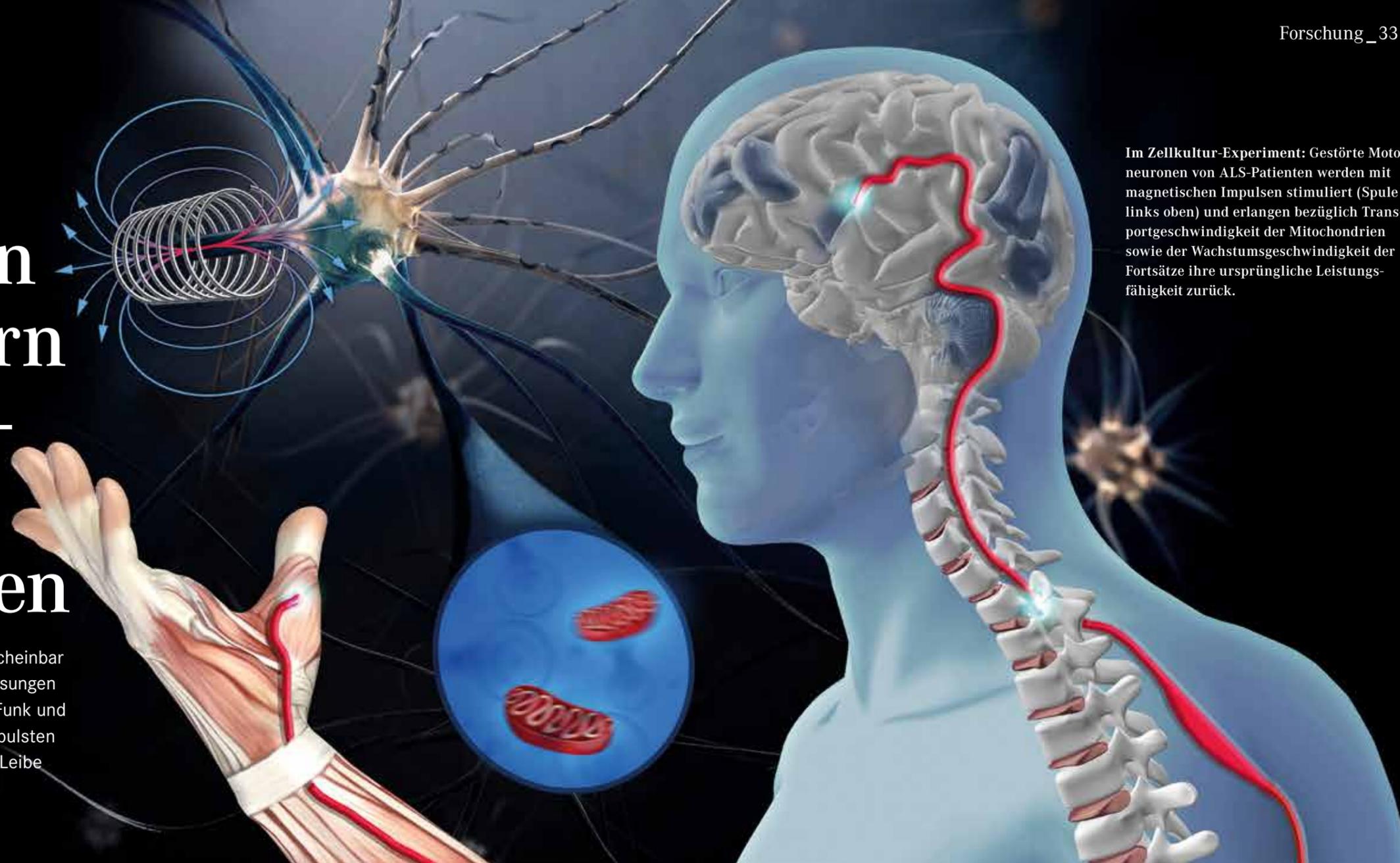
—Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung am HZDR
Dr. Claudia Arndt
c.arndt@hzdr.de

—Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden
Dr. Frederick Fasslrunner
frederick.fasslrunner@uniklinikum-dresden.de

Mit gepulsten Magnetfeldern gegen neurodegenerative Erkrankungen

Manchmal sind es gerade die ungewöhnlichen und scheinbar gewagten Ideen, die zu neuen zukunftsweisenden Lösungen führen. So auch im Beispiel des Mediziners Richard Funk und des Physikers Thomas Herrmannsdörfer, die mit gepulsten Magnetfeldern neurodegenerativen Krankheiten zu Leibe rücken wollen.

Text: Kim-Astrid Magister



Im Zellkultur-Experiment: Gestörte Motoneuronen von ALS-Patienten werden mit magnetischen Impulsen stimuliert (Spule links oben) und erlangen bezüglich Transportgeschwindigkeit der Mitochondrien sowie der Wachstumsgeschwindigkeit der Fortsätze ihre ursprüngliche Leistungsfähigkeit zurück.

Laufen, tanzen, springen, stricken, schreiben - Bewegungsabläufe, die im Normalfall mühelos funktionieren. Wenn allerdings Nervenzellen gestört sind und keine Befehle mehr an die Muskeln leiten, kann das nach und nach zu Lähmungen führen. Die Rede ist von Amyotropher Lateralsklerose (ALS), einer Erkrankung des zentralen und peripheren Nervensystems, die pro Jahr rund ein bis drei von 100.000 Menschen ereilt. Der bekannteste Patient ist sicher der Physiker Stephen Hawking, der schon in seiner Jugend an ALS erkrankte und 2018 im Alter von 76 Jahren verstorben ist.

Bei gesunden Menschen senden sogenannte Motoneuronen - spezielle Nervenzellen in der Hirnrinde, im Hirnstamm und im Rückenmark - Signale an die Skelettmuskulatur, um so Bewegungen auszulösen. Bei ALS sind diese Neuronen stark geschädigt und senden keine Signale mehr aus. Die Folge ist, dass die Muskeln keine Anweisungen bekommen, deshalb nicht mehr arbeiten und allmählich schwinden. Meist sind Probleme mit Armen und Beinen die ersten Symptome, bei einigen Patienten äußert sich die Krankheit auch mit Sprachstörungen oder Schluckbeschwerden.

Bekannt ist ALS seit rund 100 Jahren, trotzdem gab es bisher keine Aussicht auf Heilung. Es existieren lediglich medikamentöse Therapien, mit denen man versucht, die Symptome zu lindern und das Fortschreiten der Krankheit zu verlangsamen.

Neuronen mit Magnetfeldern aktivieren

Doch nun verfolgen die beiden Dresdner Wissenschaftler Richard Funk und Thomas Herrmannsdörfer mit ihren Teams einen anderen, komplett neuen Ansatz. Wie wäre es, wenn man gepulste Magnetfelder nutzen könnte, um geschädigte Motoneuronen und deren Fortsätze - sogenannte Axone, die der Signalweiterleitung dienen - zu therapieren? Gemeint ist tatsächlich, Magnetfelder einzusetzen, um die Motoneuronen zu neuem Leben zu erwecken. Eine Idee, die zunächst ziemlich abwegig klingt, aber bei genauerer Betrachtung durchaus das Potenzial für einen neuen Therapieansatz in der Medizin haben könnte. Der Physiker Thomas Herrmannsdörfer und der Mediziner Richard Funk sind es gewohnt, dass man ihrem Vorhaben mit Erstaunen begegnet. Trotzdem sind sie fest von ihrer Idee überzeugt. „Hätte man uns vor ein paar Jahren von

diesem Ansatz erzählt, hätten wir wahrscheinlich auch gezweifelt. Aber manchmal muss man seiner Intuition folgen und eine Idee einfach ausprobieren“, resümiert Herrmannsdörfer. Und die ersten Forschungsergebnisse aus dem Labor geben ihnen recht und ermutigen sie, ihr Projekt weiterzuverfolgen.

Thomas Herrmannsdörfer arbeitet seit 2001 am HZDR und beschäftigt sich schon seit Mitte der 1980er Jahre mit magnetischen Feldern. Seit 2011 ist er Abteilungsleiter am Institut Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD). Das HLD gilt als eines der leistungsstärksten Magnetlabore der Welt. Normalerweise betreibt Herrmannsdörfer hier moderne Materialforschung in hohen Magnetfeldern bis zu 100 Tesla. Doch aktuell steckt er jede freie Minute in die Entwicklung der magnetfeldbasierten Therapie von ALS. „Das Thema liegt mir so sehr am Herzen, dass ich auch am Wochenende und im Urlaub nicht davon lassen kann.“

Richard Funk leitete viele Jahre das Anatomische Institut der Medizinischen Fakultät der TU Dresden und ist inzwischen an der Dresden International University als Strategic Senior

Advisor für die Fachbereiche Medizin und Gesundheitswesen verantwortlich. Menschliche Zellen mit ihren Eigenarten sind ihm vertraut wie seine Westentasche.

Jede Zelle und auch alle ihre Bestandteile, die Zellorganellen, haben eine elektrische Ladung, ein elektrisches Potenzial. Das ist schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt. Inzwischen ist die Forschung soweit fortgeschritten, dass mittels elektro-sensitiver Farbstoffe Änderungen des Membranpotenzials unter dem Mikroskop visualisiert werden können. Das, was hier so einfach klingt, ist hochkomplex und hat den großen Charme, dass Forschende beobachten können, wie Zellen, aber auch Zellorganellen aufgrund ihrer unterschiedlichen elektrischen Potenziale miteinander kommunizieren. Wenn die elektrischen Felder und damit die Kommunikation gestört sind, kommt es zu Fehlentwicklungen und im schlimmsten Fall eben auch zu Erkrankungen wie ALS. „Weil wir wissen, dass elektrische Ströme fließen, wissen wir auch, dass es möglich sein muss, gezielt einzugreifen beziehungsweise zu steuern“, fasst Richard Funk zusammen. Und so wurde die Idee geboren, hier mit Magnetfeldern einzugreifen. >

Untersuchungen in der Petrischale

Um ihren Ansatz zu testen, haben die beiden Wissenschaftler inzwischen am HZDR ein Team von Zellbiologinnen zusammengestellt, die menschliche Hautzellen zu Motoneuronen umprogrammieren. Dabei nutzen sie sowohl Zellen von Gesunden als auch von ALS-Patienten. Bei den Zellkulturen der ALS-Patientinnen untersuchten sie zudem Zellproben verschiedener Krankheitsstadien.

In Petrischalen wurden die präparierten Zellen unterschiedlichen Magnetfeldern ausgesetzt. Die Ergebnisse sind geradezu umwerfend: „Wir haben in unseren Versuchen tatsächlich zeigen können, dass bestimmte Puls- und Frequenzparameter den bei ALS gestörten Transport in den Nervenfortsätzen verbessern!“, freut sich Herrmannsdörfer. Beobachtet wurde beispielsweise die Stimulation des für die neuronale Funktion zentral wichtigen Transports von Mitochondrien. Sie gelten als Kraftwerke der Zellen und sind für die Energieversorgung des Organismus zuständig. Darüber hinaus konnten die Wissenschaftler auch nachweisen, dass durch die Magnetfelder ein beschleunigtes Auswachsen von Nervenfortsätzen erzielt wird.

Mindestens genauso verblüffend ist das Ergebnis, dass die Leistungsfähigkeit der Zellen von ALS-Patientinnen auf das Niveau der Zellen von Gesunden gesteigert werden kann, während sich die Leistungsfähigkeit der Zellen von Gesunden im Versuch nicht wesentlich verändert. Kurz gesagt: Gesunde Zellen bleiben konstant. Kranke Zellen erleben eine Leistungssteigerung bis zu ihrem ehemaligen Niveau, bevor sie erkrankten.

Für Funk und Herrmannsdörfer waren diese Ergebnisse eine erste Bestätigung ihrer gewagten Idee. Plötzlich scheint ihnen die Therapie einer bisher als unheilbar geltenden Krankheit nicht mehr unmöglich. Zugleich wissen sie natürlich auch um den langen Weg, der noch vor ihnen liegt: „Da muss man schon erstmal tief durchatmen und dann genau überlegen, wie man weiter vorgeht. Wenn diese Aktivierung nicht nur mit Zellen in der Petrischale, sondern auch am lebenden Menschen funktionieren würde, wäre tatsächlich eine Heilung von ALS denkbar. Bis dahin liegt aber noch viel Arbeit vor uns“, schätzt Funk ein.

Bau einer Magnetpuls-Prototyp-Therapieanlage

Genau da sehen die beiden Protagonisten ihre nächste große Herausforderung: „Ermutigt von diesen Ergebnissen wollen wir nun die mit der experimentellen Apparatur und mit den entsprechenden Modellierungsversuchen gefundenen Resultate nutzen, um eine entsprechende Therapieanlage zu entwickeln.“

Gesagt und getan: Nach ihren ersten Erfolgen bei den Laborexperimenten bauen die beiden Wissenschaftler nun am HZDR eine Magnetpuls-Prototyp-Therapieanlage auf, mit der sie die von ihnen entwickelte Methode unter realitätsnahen Bedingungen testen wollen. Geld dafür gab es vom Freistaat Sachsen und von der Europäischen Union, die das Projekt mit rund 1,1 Millionen Euro aus ihrem Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unterstützen. Und ein Arbeitstitel ist auch schon gefunden: NeuroMaX.

Thomas Herrmannsdörfer und das NeuroMaX-Team brüten viele Stunden über Zeichnungen und Computersimulationen, um die Therapieanlage sowohl funktional als auch optisch ansprechend zu entwickeln.

Inzwischen erfährt die Idee von Herrmannsdörfer und Funk breite Unterstützung. An den einzelnen Erfolgen rund um NeuroMaX sind neben mehreren Instituten des HZDR auch die DIU und die TU Dresden beteiligt. Interdisziplinarität und Teamwork, wie sie für den Wissenschaftsstandort Dresden typisch sind.

„Manchmal muss man seiner Intuition folgen und eine Idee einfach ausprobieren.“

— Thomas Herrmannsdörfer, HZDR

Wenn alles wie geplant läuft, könnten die Wissenschaftler ihren Prototyp schon im Jahr 2022 präsentieren. Spannend wird dann die Frage der Zulassung für den Patientenbetrieb, was wiederum umfangreiche Studien voraussetzt. Optimistisch wie die beiden Wissenschaftler sind, hoffen sie darauf, bereits in zwei bis drei Jahren die Zulassung für Studien mit „ihrer“ Therapieanlage zu erhalten und bis dahin auch ein Vermarktungskonzept zu erstellen und einen Hersteller zu finden. Alternativ denken sie über eine Ausgründung nach.

Damit steht nun erstmalig die Möglichkeit im Raum, dass eine Regeneration krankheitsbedingter Nervenschäden beim Menschen möglich werden könnte. Die bisherigen Erkenntnisse lassen hoffen, dass vielleicht auch über ALS hinaus andere neurodegenerative Erkrankungen auf die Therapie mit gepulsten Magnetfeldern ansprechen. Richard Funk: „Wir gehen vor allem davon aus, dass eine Vielzahl von Beschwerden, die mit einer Störung des axonalen Transports in peripheren Nerven einhergehen, durch die Behandlung mit Magnetfeldern geheilt werden könnten.“ Als Beispiel nennt er die diabetische Polyneuropathie. Es klingt nach Zukunftsmusik, aber vielleicht birgt dieser neue Therapieansatz tatsächlich noch viele weitere Einsatzfelder in der Medizin. ┘

Kontakt

—Hochfeld-Magnetlabor Dresden am HZDR
Dr. Thomas Herrmannsdörfer
t.herrmannsdorfer@hzdr.de

—Dresden International University
Prof. Richard Funk
Richard.Funk@di-uni.de



In der Kondensatorbank: Am Hochfeld-Magnetlabor haben Thomas Herrmannsdörfer (links) und Richard Funk ihre Experimente durchgeführt.

Unser Auftrag: Forschung für die nächsten Generationen

Materialien und Technologien der Zukunft, bessere Diagnose- und Therapieverfahren bei Krebserkrankungen sowie innovative Methoden für mehr Ressourcen- und Energieeffizienz – das sind die drei großen Themen, denen sich die Wissenschaftlerinnen des HZDR widmen. Und zwar von der Erforschung der Grundlagen bis zur Überführung in die Anwendung. „entdeckt“ sprach mit dem Wissenschaftlichen Direktor Sebastian M. Schmidt über die strategischen Schwerpunkte für die drei Forschungsbereiche Materie, Gesundheit und Energie im nächsten Jahrzehnt.

— Interview .Till Bayer und Christine Bohnet

entdeckt: Herr Schmidt, das Motto der neuen Zentrumsstrategie lautet: „Moving Research to the Next Level for the Next Generations“. Was steckt hinter diesem Leitspruch?

weniger, um das eigene Ego zu befriedigen. Nein, wir freuen uns vielmehr, dass wir der folgenden Generation Themen übergeben können, auf denen sie aufsetzen kann, um das Leben für alle nachhaltig zu verbessern.

Die Forschungsinfrastrukturen des HZDR werden von Wissenschaftlern aus der ganzen Welt genutzt. Gibt es Ideen und Planungen für Upgrades beziehungsweise für neue Großgeräte?

Die Planung, der Bau und Betrieb von Großgeräten ist ein Alleinstellungsmerkmal für „National Labs“, wie wir eines sind. Exzellente Leute kommen nur zu uns, wenn die Geräte exzellent sind. So werden wir attraktiv für Universitäten und andere Einrichtungen, die nicht über solche Instrumente

SEITE 38 >



Ziele für das Zentrum: Sebastian M. Schmidt, Wissenschaftlicher Vorstand des HZDR.

Roadmap HZDR 2030+ Visionäre Großgeräte



Materie

DALI: Dresden Advanced Light Infrastructure

Terahertz-Pulse geben hier den Takt an. Sie ermöglichen einzigartige Experimente in den Materialwissenschaften, der Physik, Chemie, Biologie und Medizin sowie den Umweltwissenschaften. Das Markenzeichen von DALI: eine Vielzahl von spezialisierten Terahertz-Laboren mit extrem hohen Pulsenergien und Wiederholraten, und das in Kombination mit einem besonderen Vakuum-Ultraviolett-Laser sowie superschnellen Elektronenstrahlen. Eine Positronenquelle soll das Ensemble komplettieren.

HIBEF 2.0: Helmholtz International Beamline for Extreme Fields

In dem 2021 eingeweihten Extremelabor am European XFEL soll ein dritter Treiberlaser die Energien der Lichtpulse um das Zehnfache steigern. Forscher können dann mit Druck- und Temperaturbedingungen experimentieren, wie sie beispielsweise in den Kernen von Riesenplaneten oder bei Meteoriteneinschlägen herrschen. Und sie können dabei auch neuartige superharte Materialien entdecken.

ACDC: ACcelerator-Driven multipurpose ion beam Complex

Es rockt im Ionenstrahlzentrum! Zwei neue Beschleunigersysteme sollen Ionenstrahlen mit höchsten Energien und Strahlströmen produzieren, und auch eine umweltfreundliche Neutronenquelle steht auf dem Plan. Profitieren werden davon Nutzer aus der Materialforschung, der Umwelt- und Geoforschung sowie der Astrophysik, aber auch die Industrie, beispielsweise für die Herstellung von verlustarmen Hochleistungs- und Hochspannungs-Bauelementen.



Gesundheit

PT2030: Echtzeit-adaptive Protonentherapie

Das Ziel: die bestmögliche Strahlentherapie mit Protonen. Diese geladenen Teilchen schonen das gesunde Körpergewebe weit besser, als das bei der herkömmlichen Krebstherapie mit harter Röntgenstrahlung der Fall ist. Der Protonenstrahl lässt sich jedoch noch nicht genau genug an anatomische Veränderungen oder Bewegungen von Patienten anpassen. Dresdner Wissenschaftlerinnen wollen deshalb einen geschlossenen, vollautomatischen Rückkopplungskreis aus Bildgebung, Bestrahlungsverifikation und Echtzeit-Adaption entwickeln und für den klinischen Einsatz erproben.



Energie

FlexiPlant: Pilotanlage zur Aufbereitung von Rohstoffen

Eine neue Generation adaptiver, flexibler und digitalisierter Aufbereitungsprozesse ist nötig, um Stoffkreisläufe zu schließen und eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft zu etablieren. Die Herausforderung: Gerade in Hightech-Produkten sind mittlerweile fast alle Elemente des Periodensystems zu finden. Mithilfe der selektiven und effizienten mechanischen Aufbereitung und Sortierung komplexer Rohstoffströme an FlexiPlant unterstützen die Freiburger Forscherinnen nicht zuletzt die digitale Transformation der Rohstoffindustrie und tragen zur drastischen Reduktion des CO₂-Fußabdruckes bei.

CeRI²: Center for Resource process Intensification and Interface studies

Eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft basiert auf intelligenten Ressourcentechnologien. Für diese ist ein besseres Verständnis komplexer Schlüsselprozesse unabdingbar. So werden zur Gewinnung von Wertstoffen oft Gemische aus Flüssigkeiten, Feststoffen und Gasen genutzt. Die dank CeRI² entwickelten Messverfahren sollen zentrale Vorgänge in solchen Mehrphasen-Strömungen, wie das Anhaften von Wertstoff-Partikeln an Blasen bei der sogenannten Flotation, genauer unter die Lupe nehmen. Die damit mögliche Kontrolle von Stoffströmen auf mikroskopischer Ebene eröffnet neue Wege, um die industrielle Wertstoff-Gewinnung zu optimieren.

ZRS: Zentrum für Radioökologie und Strahlenforschung

Das Wissen über die Auswirkungen von Radionukliden auf Mensch und Umwelt basiert zumeist auf statistischen Methoden. Naturwissenschaftliche Grundlagenforschung dagegen kann einen großen Beitrag leisten, um Prozesse auf der Ebene der Moleküle aufzuklären, was wiederum verlässliche Prognosen über das Ausbreitungs- und toxikologische Verhalten von radioaktiven Substanzen erlaubt. Diese können durch Unfälle wie etwa in Fukushima oder durch den Bergbau rund um die Gewinnung von Seltenen Erden oder die Geothermie in die Umwelt freigesetzt werden.

verfügen. Dabei sind die Geräte immer nur Mittel zum Zweck. Natürlich haben wir auch selbst den Anspruch, mit ihnen wissenschaftliche Durchbrüche zu erzielen. Wir müssen deshalb an den bestehenden Infrastrukturen kluge Updates durchführen und gleichzeitig neue Infrastrukturen vorschlagen. Unsere Visionskraft muss groß sein, weil der Bau dieser Geräte Jahre, wenn nicht gar Jahrzehnte dauert. Wird das Zukunftsprojekt in zehn Jahren den Nerv der Zeit treffen? Das ist nicht einfach zu beantworten. Wir haben uns deswegen 2020 einer zentrischen Diskussion gestellt, in deren Verlauf sich sieben Projekte durchsetzen konnten. Ich möchte gerne alle diese Zukunftsprojekte in den nächsten zehn Jahren umsetzen. Die neue Terahertz-Strahlungsquelle DALI und FlexiPlant, eine Pilotanlage zur Rohstoffaufarbeitung, haben davon allerdings die höchste Priorität.

Welche Rolle spielt das neue CASUS, also das Center for Advanced Systems Understanding, für die Digitalisierung am Zentrum?

Zunächst will ich betonen, dass wir die fortschreitende Digitalisierung sehr konsequent vorantreiben. Das geschieht einerseits durch die gezielte Stärkung der IT-Abteilung durch das neue Rechenzentrum. Andererseits stehen Themen wie künstliche Intelligenz, Datenauswertung und Datenanalyse schon seit geraumer Zeit auf der Tagesordnung unserer acht wissenschaftlichen Institute. Das CASUS werden wir demnächst organisatorisch als Institut in das HZDR eingliedern. Es startete vor mehr als zwei Jahren in Görlitz als gemeinsames Projekt von fünf Partnern.

Seit einer Evaluierung im Sommer 2021 steht die Zusage für die institutionelle Förderung bis zum Jahr 2038 durch das Bundesforschungsministerium. Wir begreifen CASUS als große und einmalige Chance: Von der dort vorhandenen Expertise profitieren die Institute des HZDR schon jetzt enorm, aber auch durch die weitere Zusammenarbeit mit den vier exzellenten Partnern TU Dresden, Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ und Universität Wrocław.

Abgesehen von CASUS – wie geht es mit den strategischen Partnerschaften des HZDR weiter?

Die Herausforderungen, vor denen wir heute stehen, sind global. Darum ist es wichtig, dass wir weiterhin Partnerschaften über Kultur- und Staatsgrenzen hinweg bilden. Das beginnt in der Region mit dem Netzwerk DRESDEN-concept, in dem die TU Dresden unser wichtigster Partner ist. Auf nationaler Ebene gibt es zahlreiche Kooperationen innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft, aber auch mit anderen Universitäten und mit der Wirtschaft. International arbeiten wir überall dort mit den Besten zusammen, wo wir in unserem eigenen Forschungsprozess eine Lücke haben. In Zukunft wollen wir besonders mit der Industrie enger zusammengehen, um den Transfergedanken strukturiert umzusetzen. Damit gemeinsame Ideen entstehen können, streben wir Kooperationen auf Augenhöhe an.

Exzellente Forschung braucht kluge Köpfe. Welchen Stellenwert hat die Rekrutierung exzellenter Mitarbeiterinnen für die strategische Ausrichtung des HZDR?

Mir scheint es sich hierbei um den wichtigsten Punkt überhaupt zu handeln, wobei ich allerdings auch die bestehenden Teams in unseren Forschungs- und Infrastrukturabteilungen vor Augen habe. Es geht also darum, Spitztalente weiterzuentwickeln und zu rekrutieren. Als konkrete Maßnahme starten wir eine Berufungsinitiative mit besonderem Blick auf Hochschulen im Dreiländereck Sachsen, Polen und Tschechien. Wir haben unsere Programme für Nachwuchsgruppen und High Potentials erneuert, um damit vielversprechende, junge Wissenschaftler anzusprechen. Und wir planen Vernetzungspromotionen, die es so woanders nicht gibt.

Kluge Köpfe haben aber in aller Regel einen guten Job und ein entsprechendes Umfeld. Sie wechseln nur, wenn sie bei uns attraktivere Arbeitsmöglichkeiten vorfinden. Das können einzigartige Geräte oder exzellente Kollegen sein, mit denen man zusammen etwas aufbauen will. Heutzutage geht es aber nicht mehr nur um die Arbeit. Genauso wichtig ist die Frage, wie die Lebensbedingungen aussehen. Ein wichtiges Ziel der Zentrumsstrategie ist deshalb die Weiterentwicklung unseres Forschungscampus: Er soll zu einem „Place to be“ werden – einem Ort, an dem man sich auch abseits der Arbeit gerne aufhält. ┘



Kontakt

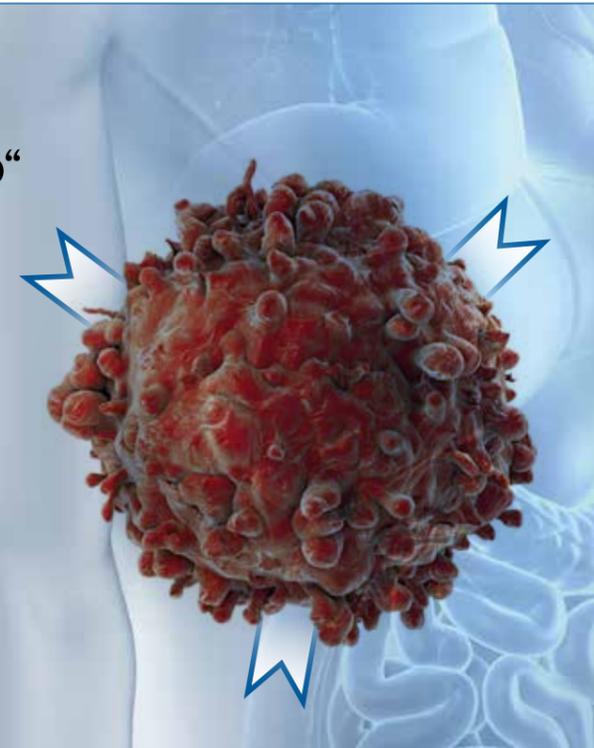
Wissenschaftlicher Direktor des HZDR
Prof. Sebastian M. Schmidt
s.schmidt@hzdr.de

Nachrichten

GEJUBELT

Neues „Helmholtz International Lab“ will Präzisionsmedizin verbessern

Forscherinnen des HZDR und der Monash University in Australien bündeln ihre Kräfte in einem gemeinsamen Labor, um die Behandlung von Krebs- sowie Herz- und Infektionskrankheiten zu optimieren. Im Visier haben sie neue Radioimmuno-Theranostika. Dabei handelt es sich um Medikamente, bei denen immun- und nuklearmedizinische Ansätze für Therapie und Diagnostik (Theranostik) kombiniert werden. Die Monash University steuert ihre Expertise im Bereich der Bildgebung und Behandlung von Herzkrankheiten bei, während die HZDR-Forscher vor allem ihr Know-how zur Immunotheranostik von Tumor- und Infektionserkrankungen einbringen. Die Helmholtz-Gemeinschaft und das HZDR fördern das **Monash-Helmholtz Laboratory for Radio-Immuno-Theranostics (MHELThERA)** in den kommenden fünf Jahren mit drei Millionen Euro.



GEEHRT

Pionier auf dem Gebiet der Partikeltherapie



Die Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP) hat **Wolfgang Enhardt** auf ihrer Jahrestagung am 20. September 2021 mit der Glocker-Medaille ausgezeichnet. Der Physiker wurde damit für seine langjährigen Verdienste um das Fachgebiet der Medizinischen Physik in Wissenschaft und Praxis geehrt. Von 2013

bis 2020 leitete Enhardt die Medizinische Strahlenphysik am OncoRay – Nationales Zentrum für Strahlenforschung in der Onkologie, das gemeinsam durch das Helmholtz-Zentrum, das Universitätsklinikum Carl Gustav Carus und die TU Dresden getragen wird. Mit der Partikeltherapie, bei der Tumore mit hochenergetischen Ionen bestrahlt werden, beschäftigte sich der Physiker schon vor der politischen Wende. So wirkte er maßgeblich bei den Berechnungen für die ersten Patientenbestrahlungen an der GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt mit. Die DGMP verleiht die Glocker-Medaille in Erinnerung an ihr erstes Ehrenmitglied Richard Glocker (1890-1978), dem letzten Doktoranden Wilhelm Conrad Röntgens.

www.dgmp.de

GEWONNEN

Strahlender Sieger dank strahlender Idee

Der erste Platz des Sächsischen Transferpreises geht 2021 an **Jörg Steinbach**, bis Herbst 2018 Direktor am HZDR-Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung, für die modellhafte Transferleistung im Projekt „GMP-Herstellung für Iod-123-markierte Radiopharmaka zur Diagnostik von Parkinson“. Heute bestehen bei einer frühzeitigen Diagnose der Erkrankung gute Therapiemöglichkeiten zur Linderung der Symptome. Ziel des von Steinbach initiierten Transferprojektes war es, die technologischen Voraussetzungen für ein Herstellungsverfahren des Radionuklids Iod-123 – dem Ausgangsstoff für ein Radiopharmakon zur gezielten nuklearmedizinischen Diagnostik von Parkinson – zu entwickeln. Das eigentliche Medikament wird in einem zweiten Schritt in der ROTOP Radiopharmaka GmbH synthetisiert.

<https://www.futuresax.de/transfer>



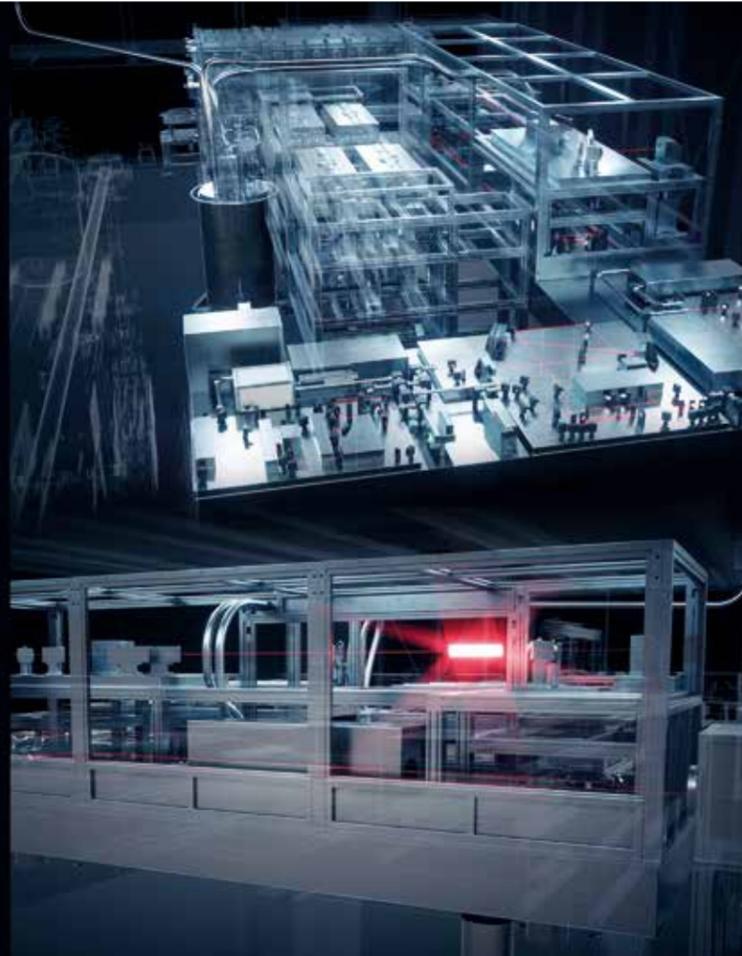
GESTARTET

Extreme Zustände im Labor

Am 31. August 2021 wurde die Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF) am European XFEL, dem weltstärksten Röntgenlaser, eingeweiht. Unter Federführung des HZDR und in Kooperation mit dem DESY, Deutsches Elektronen-Synchrotron, bündelt HIBEF Geräte und Fachwissen verschiedener Forschungseinrichtungen, um diese der internationalen Wissenschaftscommunity zur Verfügung zu stellen. Die Beamline ist Teil der Experimentierstation „High Energy Density“ (HED) des European XFEL. Damit können Forscherinnen beispielsweise Modelle der Planetenentstehung verbessern sowie Vorgänge in Plasmen simulieren und so Innovationen in der Material- und Beschleunigerforschung vorantreiben. Die Gesamtinvestition einschließlich der Betriebskosten für zehn Jahre beträgt knapp 120 Millionen Euro.

Film: Erfahren Sie mehr über die einzigartigen Forschungsmöglichkeiten, die durch die Kombination der beiden HIBEF-Superlaser mit dem Röntgenlaser des European XFEL möglich werden.

www.hzdr.de/hibef
www.xfel.eu



IMPRESSUM

HERAUSGEBER
Prof. Dr. Sebastian M. Schmidt und Dr. Diana Stiller,
Vorstand des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR)

ERSCHEINUNGSDATUM
März 2022
ISSN: 2194-5705 // Ausgabe 01/2022

REDAKTION
Dr. Christine Bohnet (Redaktionsleitung), Kim-Astrid Magister,
Simon Schmitt (V.i.S.d.P.), Kommunikation und Medien am HZDR

Wissenschaftlicher Redaktionsbeirat (nach Forschungsbereichen):
Energie – Dr. Harald Foerstendorf, Dr. Frank Stefani
Gesundheit – Dr. Fabian Lohaus, Dr. Kristof Zarschler
Materie – Dr. Gregor Hlawacek, Dr. Andreas Wagner

AUTOREN DIESER AUSGABE
Markus Anhäuser, Dresden | Till Bayer, HZDR | Frank Grotelüschen,
Hamburg | Roland Knauer, Lehnin | Gabriele Schönherr, Potsdam

BILDNACHWEIS
Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HZDR, soweit nicht anders
angegeben

Titelbild: blaurock markenkommunikation
Rückseite: HZDR Innovation GmbH/Sahnweiß
Innenteil: blaurock markenkommunikation (S. 2-3, S. 12-13, S. 16 oben), André
Wirsig (S. 4 oben links), Amac Garbe (S. 4 Mitte und unten links, S. 14-15,
S. 26-31, S. 35-38), Sahnweiß (S. 4 unten rechts, S. 32-33, S. 42-43), Tobias
Ritz (S. 5 oben, S. 20-25), Stephan Floss (S. 5 unten rechts, S. 8), Bradley
Oborn (S. 6), Departement Physik, Universität Basel (S. 7 oben), DLR/ESA/
CNES/Novespace (S. 10), Frank Schinski (S. 17, S. 18 oben), Rainer Weisflog
(S. 39 Mitte, S. 41 oben), CLIPAREA/Custom media, Kateryna Kon, Helmholtz
(S. 39 oben), Frank Grätz (S. 39 unten), Science Communication Lab (S. 40)

GESTALTUNG
WERKSTATT X . Michael Voigt | www.werkstatt-x.de

DRUCK
Druckerei Mißbach | www.missbach.de

AUFLAGE
4.000 // Gedruckt auf Circlesilk (Umschlag) und Circleoffset (Inhalt),
FSC zertifiziert und mit dem EU Ecolabel ausgezeichnet

KONTAKT // BESTELLUNG (kostenfrei)
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
Kommunikation und Medien
Simon Schmitt | Telefon: 0351.2603400 | presse@hzdr.de

„entdeckt“ erscheint ein- bis zweimal jährlich, jede zweite Ausgabe
unter dem Titel „discovered“ auch auf Englisch. Alle Print-Ausgaben finden
Sie als E-Paper auf den Internetseiten des HZDR.

➔ www.hzdr.de

Das HZDR auf YouTube und Twitter:
➔ www.youtube.com/user/FZDresden
➔ www.twitter.com/hzdr_dresden

Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf versichert das
Forschungsmagazin „entdeckt“ als Serviceangebot. Falls Sie
es nicht mehr erhalten möchten, senden Sie uns bitte eine
E-Mail mit dem Betreff „Abbestellen“ an presse@hzdr.de oder
schreiben Sie uns eine kurze Mitteilung an: Helmholtz-Zentrum
Dresden-Rossendorf, Kommunikation und Medien, Simon Schmitt,
Bautzner Landstraße 400, 01328 Dresden. Wenn Sie auch
weiterhin die „entdeckt“ beziehen möchten, müssen Sie nichts
unternehmen.



GEFÖRDERT

CASUS: Finanzierung bis 2038 gesichert

Der Sächsische Ministerpräsident Michael Kretschmer und der damalige Staatssekretär Wolf-Dieter Lukas im Bundesministerium für Bildung und Forschung unterzeichneten am 4. September 2021 in Görlitz eine Erklärung zur Förderung des deutsch-polnischen **CASUS – Center for Advanced Systems Understanding**. Mit einem jährlichen Budget von bis zu 15 Millionen Euro wird auch der Umbau des Alten Kondensatorenwerks an der Neiße zu einer modernen Forschungseinrichtung möglich. Das CASUS soll als Institut des HZDR gemeinsam mit den Gründungspartnern Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ, Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik, TU Dresden und Universität Wrocław ausgebaut werden. Die hier entwickelten, digitalen Lösungen kommen in so unterschiedlichen Disziplinen wie Klima- und Umweltforschung, Krebsforschung, Systembiologie oder Astrophysik zum Einsatz.

www.hzdr.de/casus

GEWONNEN

Silbermedaille der Society of Economic Geologists

Jens Gutzmer, Direktor des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) am HZDR, erhält die Silver Medal der Society of Economic Geologists (SEG), der weltgrößten Vereinigung im Bereich der geowissenschaftlichen Rohstoffforschung. Diese wird seit 1980 an etablierte Forscherinnen vergeben, die herausragende und vielfältige Beiträge zur Wissenschaft und zum Berufsstand des Rohstoff-Geologen beigetragen und den Mittelpunkt ihrer beruflichen Karriere erreicht haben. Die Verleihung findet 2022 auf einer Konferenz der Gesellschaft in Denver, Colorado statt.

GESTARTET

Neuer Standort in Trnava

Am 12. Oktober 2021 nahm die HZDR Innovation GmbH eine neue Anlage für die Hochenergie-Ionenimplantation an der Slowakischen Technischen Universität Bratislava in Trnava in Betrieb. Damit erweitert das Transferunternehmen des Helmholtz-Zentrums seine Hochenergie-Produktionskapazitäten. Es reagierte damit auf die große Nachfrage aus der Industrie. Während der letzten Jahre konnte sich die HZDR Innovation auf dem Nischengebiet der Veredelung von Leistungselektronik-Bauelementen mit Ionenstrahlen zum Weltmarktführer entwickeln.

www.hzdr-innovation.de

GEEHRT

Preis für magnetische Kühlung



Das britische Unternehmen Oxford Instruments ehrt den HZDR-Physiker **Tino Gottschall** mit dem Nicholas-Kurti-Wissenschaftspreis 2021. Die mit 8.000 Euro dotierte Auszeichnung, die nach Professor Nicholas Kurti (1908-1998) in Anerkennung seiner herausragenden Forschungen auf dem Gebiet der Ultratiefemperatur-Physik an der Universität Oxford benannt ist, würdigt

Gottschalls innovative Arbeiten zu magnetokalorischen Materialien im Bereich der Grundlagenforschung und angewandten Wissenschaften. Diese Materialien gelten als aussichtsreiche Kandidaten für ökologisch nachhaltige Kühlprozesse.

www.oxinst.com



Die Zukunft ist rund:

Anlässlich seines zehnjährigen Jubiläums 2021 publizierte das HIF eine Broschüre zum Thema Kreislaufwirtschaft.



GESEHEN

Unter den Meistzitierten

Gleich zwei Wissenschaftler des HZDR sind in die Liste der „Global Highly Cited Researchers“ aufgenommen worden. **Arkady Krasheninnikov**, Gruppenleiter am HZDR-Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung, ist Spezialist für die Simulation von Phänomenen, die der Beschuss von Ionenstrahlen in Materialien auslöst. Die Forschung von **Pedram Ghamisi** dagegen deckt Themen wie maschinelles Lernen, Bild- und Signalverarbeitung, Bildanalyse und Multisensor-Datenfusion ab. Er ist Gruppenleiter in der Erkundungsabteilung des Helmholtz-Instituts Freiberg für Ressourcentechnologie.

<https://clarivate.com>

Klassische Fertigung für neue Elektronik

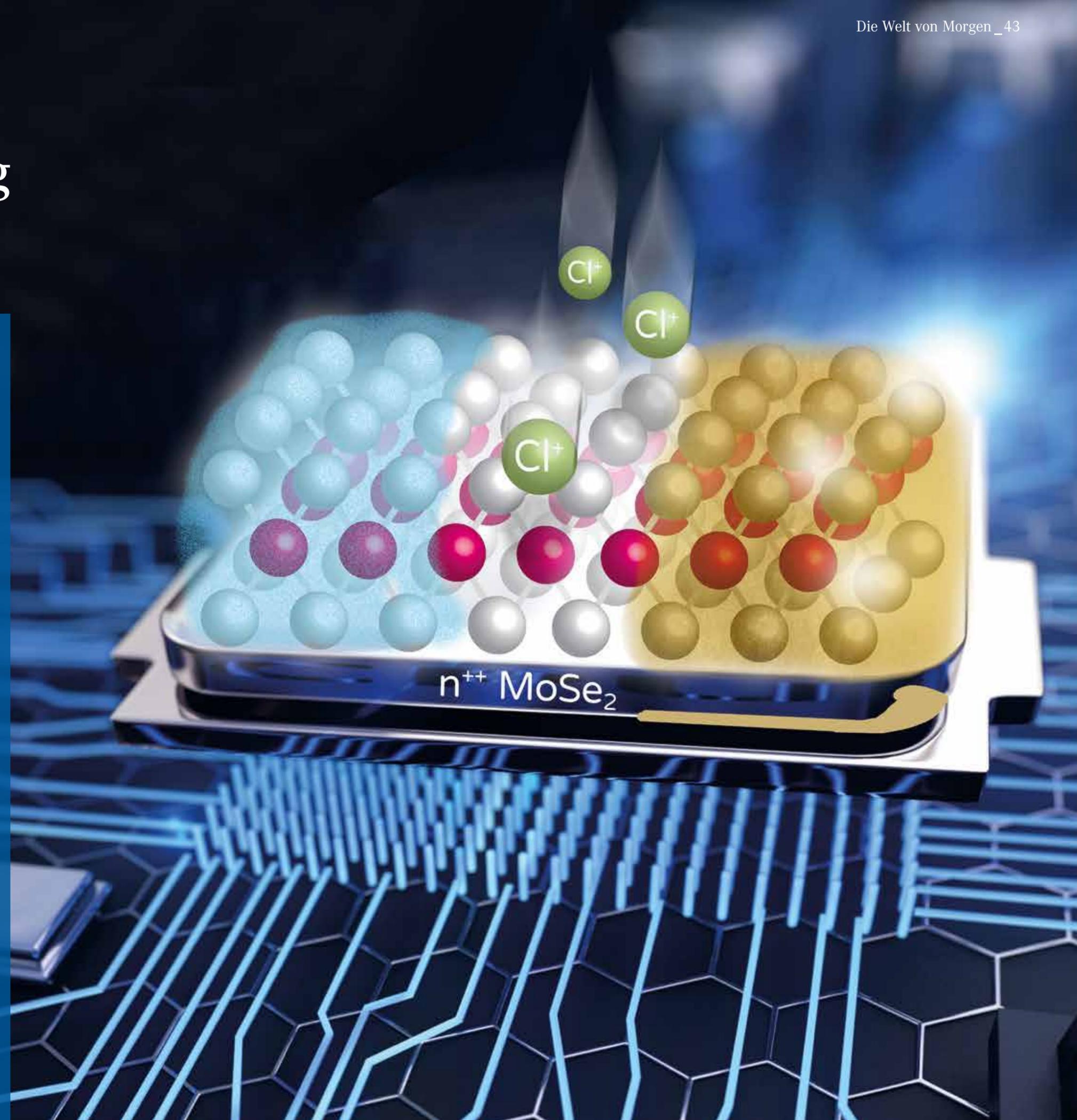
Auch wenn in die digitale Welt von morgen neuartige Prozessoren auf der Basis von Qubits oder Neuristoren Einzug halten dürften, werden Computer, die Informationen in Form von Bits darstellen, kaum ausgedient haben. Herkömmliche Halbleiter, wie sie in all unseren Heimcomputern oder Mobiltelefonen stecken, werden aus dem Einkristall Silizium gefertigt. Doch um den immer größer werdenden Appetit moderner Elektronik zu stillen, braucht es dringend Alternativen.

Hier kommen ultradünne zweidimensionale Materialien ins Spiel, die besonders leistungsfähige und energieeffiziente Elektronik-Komponenten versprechen. Der bekannteste Vertreter ist wohl Graphen – Kohlenstoff, der nur eine Atomlage dick ist. Damit die neuen 2D-Materialien funktionieren, muss man ihre Leitfähigkeit gezielt einstellen können. Bei Silizium geschieht dies durch die Ionenimplantation, den Beschuss mit einem Strahl geladener Teilchen. Diese industriell etablierte Technologie lässt sich jedoch nicht so einfach auf 2D-Materialien übertragen, denn die Ionen aus dem Strahl müssen genau in den wenigen Atomlagen stoppen, aus denen das Material besteht.

Einem Team des HZDR und der TU Chemnitz ist nun ein Durchbruch gelungen: Die Forscher haben Proben aus Molybdändiselenid mit einer speziellen Deckschicht ausgestattet. Damit können sie den Prozess der Dotierung mit Fremdatomen sehr genau steuern. Dass sich die 2D-Materialien dank des neu entwickelten Prinzips mit den gleichen Produktionsanlagen bearbeiten lassen, die für heutige Siliziumchips im Einsatz sind, ist ein großer Schritt auf dem Weg aus dem Labor in die industrielle Fertigung. Doch zunächst prüfen Sławomir Prucnal und seine Kolleginnen weitere 2D-Materialien und wollen damit einen voll funktionsfähigen, elektronischen Schaltkreis bauen.

Publikation:

S. Prucnal et al., in *Nanoscale*, 2021 (DOI: 10.1039/D0NR08935D)





Creating value for industry

We bring future technologies to business



SERVICES

HIGH-ENERGY ION IMPLANTATION

to improve power electronic components

NANO STRUCTURE ANALYSIS

of material properties using positrons

TECHNOLOGY TRANSFER

consulting and entrepreneurial training expertise for scientists



PRODUCTS

SENSOR TECHNOLOGIES

Wire-Mesh-Sensor,
Torque Sensor,
Flexible Magneto-electronics,
Radiation Detector, Impedance Biochip

CUSTOM-BUILT PRODUCTS

Two-axis Rotator, Terahertz Emitter,
Ion Backscattering Equipment,
Magnetic-field Coils,
Time-of-flight Spectrometer



STARTUPS

INCUBATION SUPPORT

for spin-offs

SHAREHOLDER
MANAGEMENT

**BRAND
NEW**

Production site for high-energy ion implantation in Slovakia

