

## Ein neuer Dreh in der Nano-Elektronik

### Dresdens anderer Dynamo

Physiker erforschen das Erdmagnetfeld

### Die magnetische Welle

Datenverarbeitung ohne elektrische Ströme und Ladungen

### Der lange Weg zum Patienten

Dresdner Forscher nutzen das Immunsystem gegen Krebs

**HZDR**

 HELMHOLTZ  
ZENTRUM DRESDEN  
ROSSENDORF

# Der Platz unten wird knapp

**14** Nanometer – und damit kleiner als die meisten Viren. Auf diese Größe hat die Halbleiter-Industrie die Strukturen auf den fortschrittlichsten Mikroprozessoren geschrumpft. Sie hat damit auch eine der Voraussagen bestätigt, die Richard Feynman vor rund 60 Jahren in der Rede „There’s Plenty of Room at the Bottom“ getroffen hat. Der Physiker stellte darin viele Ideen vor, wie Technologie auf mikroskopischer Ebene funktionieren könnte. Obwohl zu der Zeit eher unbeachtet, liest sich der Vortrag heute fast wie der Fahrplan zur Nanotechnologie. Doch langsam, aber sicher stößt die Entwicklung an physikalische Grenzen. So spielen auf den immer kleineren Skalen quantenmechanische Effekte ein immer größere Rolle, die das Verhalten von Bauelementen unvorhersehbar machen.

Ein noch größeres Problem zeigt aber, dass sogar auf der atomaren Ebene der Spielraum immer enger wird. Denn nach Zusammenstößen mit Atomen geben die Elektronen Wärme an das

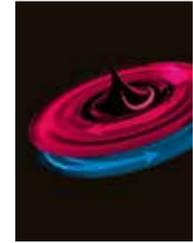
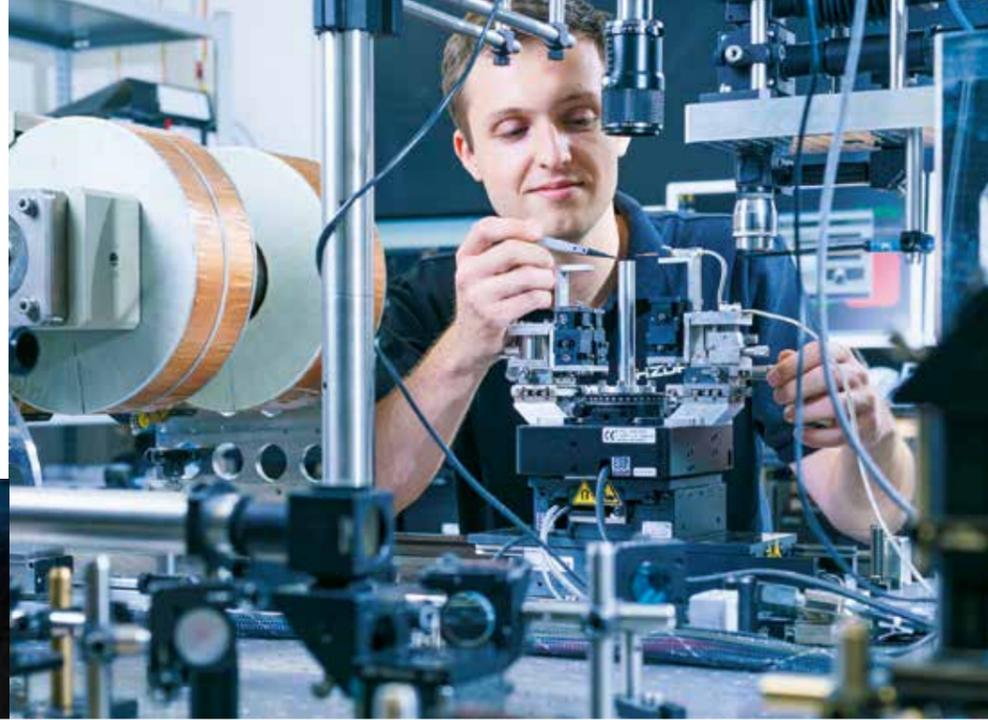
Kristallgitter ab. Die Mikroprozessoren werden dementsprechend umso heißer, je enger die Elemente auf ihnen beieinandersitzen. Ab einem gewissen Punkt versagen sie einfach, da die Wärme nicht mehr abgeführt werden kann. Forscher des HZDR suchen deswegen nach alternativen Methoden der Informationsverarbeitung. So tüfteln sie zum Beispiel an nanometerkleinen Schaltkreisen, die sich selbstständig aus DNA-Strängen zusammensetzen. Auch spintronische und magnonische Elemente stehen im Fokus der Dresdner Physiker.

Anders als die derzeitige Informationsverarbeitung setzen diese Bauteile nicht auf elektrische Ströme, sondern auf das magnetische Moment der Elektronen – den Spin. Über Spinwellen oder Spinströme, die von Leitungselektronen getragen werden, könnten sich so ebenfalls Informationen transportieren und verarbeiten lassen, jedoch ohne die störende Abwärme. Der Platz unten bleibt so zwar trotzdem eng, aber er wird besser genutzt.



Quelle: A. Wirsig

# Inhalt



## Liebe Leserinnen und Leser,

der Magnetismus fasziniert die Menschheit schon seit der Antike. Bereits um 1100 – zu einer Zeit, als in vielen Köpfen noch die Vorstellung eines riesigen Berges aus magnetischem Erz im hohen Norden vorherrschte – entwickelten chinesische Tüftler einen ersten Kompass. Mitte des 13. Jahrhunderts definierte der Gelehrte Petrus Peregrinus den Begriff der „Pole“ und beschrieb, wie sie sich anziehen und abstoßen. Unsere Erkenntnisse über den Magnetismus haben sich seitdem ständig erweitert. Im Alltag verwenden wir heute ganz selbstverständlich magnetische Effekte, um Daten zu speichern, Musik und Videos abzuspielen, aber auch, um unsere Körper untersuchen zu lassen.

An unserem Hochfeld-Magnetlabor Dresden nutzen Wissenschaftler aus aller Welt extrem starke Magnetfelder, um die Eigenschaften neuartiger Materialien gezielt zu beeinflussen. Sie gewinnen so Erkenntnisse zu Supraleitern, magnetischen Phänomenen und Halbleitern. Seit der Entwicklung der Quantenmechanik Anfang des letzten Jahrhunderts ist die Forschung längst in die aller kleinsten Dimensionen – also zum atomaren Ursprung des Magnetismus, dem Spin der Teilchen – vorgestoßen. Den Wissenschaftlern eröffnen sich dort viele neue Möglichkeiten und Fragen.

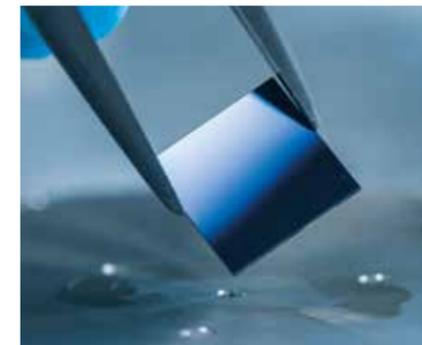
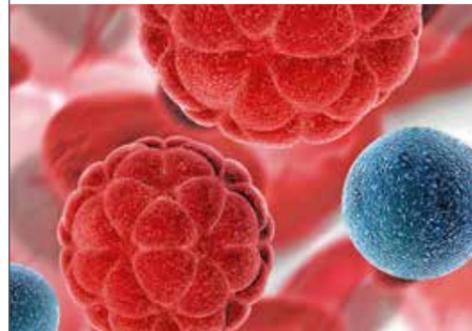
Zum Beispiel ob und wie sich diese Spins am besten für die moderne Nano-Elektronik einsetzen lassen. An möglichen Antworten arbeiten zahlreiche Physiker des HZDR. Ihre Ansätze wollen wir Ihnen in der neuesten Ausgabe unseres Forschungsmagazins „entdeckt“ vorstellen. Auf Ihre Kommentare und Anregungen freue ich mich und wünsche Ihnen viel Spaß bei der Lektüre.

Simon Schmitt  
Abteilung Kommunikation und Medien im HZDR

## Porträt

### 28 Per Laserschuss in die Sterne blicken

Mit Hilfe der größten Forschungsanlagen erkundet Katerina Falk einen exotischen Zustand der Materie, der in natürlicher Form auf der Erde nur in extremen Situationen vorkommt. Das könnte Erkenntnisse über das Innenleben von Planeten liefern.



## Titel

## Ein neuer Dreh in der Nano-Elektronik

### 08 Das Tor zu einer neuen Welt der Elektronik

Magnete faszinieren die Menschen seit Jahrtausenden. Vor allem im Nanomaßstab sind noch viele Phänomene ungelöst. Mit speziellen Analyseverfahren machen sich Forscher auf die Suche.

### 12 Die magnetische Welle

Unsere heutige Datenverarbeitung baut auf Elektronen, die durch die Drähte schwirren. Da die Bauteile jedoch immer kleiner werden, führt das langsam zu physikalischen Problemen. Eine Alternative könnte im Spin – dem magnetischen Moment der Elektronen – liegen.

### 16 Vom Nanomagnet zum Speicherriesen

Noch vor wenigen Jahrzehnten füllte die erste moderne Festplatte, deren Speicherleistung heute jeder gebräuchliche USB-Stick übertrifft, einen ganzen Raum. Längst sind wir im Nanobereich angekommen. Physiker arbeiten bereits an der nächsten Generation.

## Forschung

### 20 Dresdens anderer Dynamo

Wie entsteht das Magnetfeld der Erde? Ein weltweit einzigartiges Experiment am HZDR könnte die Antwort liefern. Flüssiges Natrium spielt dabei eine entscheidende Rolle.

### 22 Der lange Weg zum Patienten

Von der Idee bis zum Medikament, das zur Behandlung angewendet werden darf, vergehen häufig Jahrzehnte. Das Beispiel der Immuntherapie zeigt, dass Forschung ein ständiger Wechsel zwischen Fortschritt und Rückschlag ist. Umso erfreulicher ist es, wenn sich der lange Atem auszahlt.

**Titelbild:** Eine Mini-Antenne für die Datenverarbeitung der Zukunft – mit Hilfe eines magnetischen Wirbels können Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf sehr kurze Spinwellen erzeugen. Sie nutzen dafür zwei hauchdünne ferromagnetische Plättchen, die eine nicht-magnetische Schicht voneinander trennt. Durch die enge räumliche Begrenzung formt sich eine natürliche Antenne, da sich die Spins hier nur entlang konzentrischer Kreise anordnen können. Das zwingt sie in einem kleinen Bereich in der Mitte dazu, sich aufzurichten und von der Oberfläche wegzuzeigen.

## Rubriken

- 02 Warum wir forschen
- 04 Editorial
- 06 Woran wir forschen
- 32 Nachrichten aus dem HZDR
- 33 Terminvorschau
- 34 Impressum
- 35 Die Welt von Morgen

# Highlights aus unserer Forschung

## TUMORGENETIK

### Fusionen im genetischen Code

Anhand detaillierter molekularer Analysen konnten Wissenschaftler des Nationalen Centrums für Tumorerkrankungen (NCT) in Dresden und Heidelberg wachstumsfördernde Genfusionen in Tumoren der Bauchspeicheldrüse entdecken. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass in diesen Fällen ein Teil des sogenannten NRG1-Gens mit einem Stück eines anderen Gens verschmilzt. Im Gegensatz zu Tumoren der Bauchspeicheldrüse mit der üblichen Mutation im sogenannten KRAS-Gen, die kaum auf Medikamente ansprechen, sind Krebszellen, die

diese fusionierten Strukturen enthalten, angreifbar. Diese Erkenntnis könnte neue Ansätze für die Therapie liefern. Wie eine optimale Behandlung mit zielgerichteten Arzneimitteln aussehen könnte, wollen die Forscher nun in einer Studie an den beiden NCT-Standorten genauer ermitteln.

#### Publikation:

C. Heining et al., in Cancer Discovery, 2018  
(DOI: 10.1158/2159-8290.CD-18-0036)

## ATOMPHYSIK

### Wo steckt der Staub?

Ein internationales Forscherteam, an dem auch HZDR-Physiker beteiligt waren, konnte ein lange bestehendes Rätsel um den Ursprung von Sauerstoff-Isotopen, die in meteoritischem Sternenstaub enthalten sind, lösen. Die Körnchen liefern präzise Anhaltspunkte zu den physikalischen Prozessen in den Sternen, aus deren Asche sie entstanden sind. Den charakteristischen Fingerabdruck von Sternen, die vier- bis achtmal schwerer als unsere Sonne sind, konnten Forscher bislang jedoch noch nicht in Meteoriten entdecken, obwohl Beobachtungen mit Infrarot-Teleskopen gezeigt haben, dass große Mengen dieser Sterne existieren. Experimente im

italienischen Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics (LUNA) legten nahe, dass die Zerstörungsrate des seltenen Sauerstoffisotops  $^{17}\text{O}$  höher ist als bisher gedacht. Dies verändert den vorhergesagten Isotopen-Fingerabdruck. Nachdem die Forscher die neue Reaktionsrate in ihre Sternenmodelle eingebaut hatten, stimmten die Vorhersagen mit den gemessenen Eigenschaften bestimmter Sternenstaubkörner überein.

#### Publikation:

M. Lugaro et al., in Nature Astronomy, 2017  
(DOI: 10.1038/s41550-016-0027)

## RADIOPHARMAZIE

### Blitzschnelles Silizium

Dank ihrer vielfältigen Funktionalisierbarkeit gelten winzige Nanopartikel als aussichtsreiche medizinische Werkzeuge, um zum Beispiel Tumoren aufzuspüren. Versehen mit einer Hülle, die die Teilchen für das Immunsystem unsichtbar macht, und radioaktiv markiert können diese Substanzen durch die Blutbahn wandern, sich im Idealfall bei den erkrankten Zellen sammeln und sie so anzeigen. Aufgrund ihrer ionisierenden Strahlung ist es aber entscheidend, dass die Stoffe den Körper so schnell wie möglich wieder verlassen, um gesunde Organe nicht unnötig zu belasten. Das behindert bislang ihren medizinischen Einsatz. Forscher des HZDR sowie der Universitäten Strasbourg und Padua konnten nun ultrakleine Silizium-Nanopartikel und Kohlenstoff-Nanokristalle erzeugen, die jeweils weniger als fünf Nanometer umfassen, und ihre Verteilung im Organismus über die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) verfolgen. Dabei stellte sich heraus, dass beide Teilchenarten sehr schnell über die Niere wieder ausgeschieden werden. Sie könnten sich somit nach Ansicht der Forscher gut für die Krebsdiagnostik eignen.

#### Publikation:

N. Licciardello et al., in Nanoscale, 2018  
(DOI: 10.1039/c8nr01063c)



## RESSOURCENTECHNOLOGIE

### Die Mischung macht's

Die Effizienz der Aufbereitung von ultrafeinen, metallischen Wertstoffen aus Erzen mit Hilfe der Flotation hängt stark von der Partikelgröße des wertlosen Ganggesteins ab. Das konnten Forscher des HZDR und der TU Freiberg nun erstmalig belegen. Bei der Flotation wird fein zermahlene Gesteine mit Wasser vermischt. Eingetragene Luftbläschen schleppen wertvolle Minerale an die Oberfläche, an der sie abgeschöpft werden. Bisher ging die Fachwelt davon aus, dass nur die Größe der Körner, die man gewinnen will, für das Ergebnis entscheidend ist. Dementsprechend schlechter sollte die Quote sein, je kleiner die Wertstoffe werden – ein zunehmendes Problem für die Aufbereitung, da die Minerale häufig nur sehr fein verwachsen im Erz vorkommen. Die Untersuchungen mit den Mineralen Magnetit und Quarz zeigen aber, dass feine (10 bis 50 Mikrometer) und ultrafeine (kleiner als zehn Mikrometer) Wertstoffe in gleicher Menge geschöpft werden können, solange das Ganggestein ebenfalls in feiner Form vorliegt. Die Rate fällt aber selbst bei feinen Partikeln drastisch, sobald die wertlosen Körner kleiner als zehn Mikrometer, also ultrafein, sind.

#### Publikation:

T. Leistner et al., in Minerals Engineering, 2017  
(DOI: 10.1016/j.mineng.2017.02.005)

## GEOCHEMIE

### Verschwunden in Pulsen

Anders als bislang vermutet, lösen sich Kristalle in Flüssigkeiten nicht kontinuierlich, sondern pulsierend auf. Diesen ungewöhnlichen Prozess konnten Forscher des HZDR und des Zentrums für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen – MARUM vor kurzem entdecken. Die Frage, wie kristallines Material mit Flüssigkeiten reagiert, spielt eine wichtige Rolle bei technischen und medizinischen Anwendungen, zum Beispiel bei der Korrosion von Metallen oder der Aufnahme von Arzneimitteln im Körper. Die Untersuchungen liefern nun neue Erkenntnisse über die zeitliche und räumliche Verteilung der Materialfreisetzung. Das hat Auswirkungen auf Risiko- und Sicherheitsprognosen, etwa wenn es um die Entsorgung von radioaktiven Abfällen geht. Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass sich die Prozesse beim Wachstum und bei der Auflösung von Kristallen grundsätzlich unterscheiden. So treten beim Kristallwachstum solche Pulse nicht auf.

#### Publikation:

C. Fischer, A. Lüttge, in Proceedings of the National Academy of Science, 2018 (DOI: 10.1073/pnas.1711254115)

# Das Tor zu einer neuen Welt der Elektronik

Nanostrukturen weisen spezielle magnetische Eigenschaften auf, die HZDR-Forscher exakt vermessen können. Das könnte den Weg zu einer künftigen Generation besonders leistungsfähiger Digitaltechnik ebnen.

—Text . Uta Bilow

Wer an die Zeit vor der weiten Verbreitung von PCs zurückdenkt, fragt sich manchmal, wie man damals Informationen gespeichert und verarbeitet hat, wie gerechnet und kommuniziert wurde. Digitale Technik und Computer haben uns eine Revolution beschert, die in fast alle Lebensbereiche hineinwirkt. Die Taktfrequenz für diese Entwicklung gab das Mooresche Gesetz vor. Es besagt, dass sich die Zahl der Transistoren auf einem Chip alle 24 Monate verdoppelt. Und mit der Leistungsfähigkeit von Rechnern ging es in der Vergangenheit beständig voran.

Doch allmählich stockt der technische Fortschritt bei Computerchips. Die Herstellung konventioneller Mikroprozessoren wird nicht nur immer aufwendiger, sondern kommt auch langsam den physikalischen Grenzen näher, an denen die Transistoren nicht mehr weiter verkleinert werden können. Wissenschaftler am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf arbeiten deshalb bereits am nächsten Schritt: magnetischen Analogien zur herkömmlichen Elektronik. Nanomagnetismus heißt das Zauberwort, mit dem die Tür zu dieser Welt aufgestoßen werden soll.

Der Clou: Man nutzt dabei das magnetische Moment des Elektrons, auch Spin genannt, zum Transport und Speichern von Daten. Hierbei wird lediglich die Information übertragen, es fließen jedoch keine Elektronen. „Das ermöglicht verlustarme Anwendungen und erweitert die Möglichkeiten zur Verarbeitung und Speicherung von Informationen ganz erheblich“, betont Jürgen Lindner, Leiter der Abteilung Magnetismus am HZDR. Das Forschungsgebiet Nanomagnetismus ist seit etwa zehn bis zwanzig Jahren im Aufwind. Am HZDR forschen Physiker an neuen Konzepten zur magnetischen Datenspeicherung, an Bauelementen für die sogenannte Spintronik, die als potentielle Nachfolgetechnologie der Elektronik gehandelt wird, und an magnonischen Materialien, die all dies möglich machen sollen.

## Verblüffende Effekte bei Nanostrukturen

Ferromagnetische Materialien wie Eisen oder Nickel sind schon lange bekannt. Ihre Wirkung als Haftmagnet oder Kompassnadel beruht auf einer Besonderheit: Die Spins der Elektronen sind parallel ausgerichtet und liefern so ein merkbares magnetisches Moment. Doch im Nanomaßstab halten diese Metalle richtige Überraschungen bereit. So entdeckten etwa Peter Grünberg und Albert Fert unabhängig voneinander 1988 den Riesenmagnetowiderstand GMR (Giant Magnetoresistance), der auf Schichtstrukturen mit Nanometerdimensionen beruht und sehr schnell Anwendung fand in den Leseköpfen von Festplatten. Im Jahr 2007 erhielten die beiden Forscher dafür den Nobelpreis für Physik.

Ein wesentlicher Schlüssel zum Fortschritt auf diesem äußerst spannenden Forschungsgebiet sind hochempfindliche Analyseverfahren, mit denen magnetische Nanostrukturen überhaupt erst grundlegend untersucht werden können. Kilian Lenz ist am HZDR der Spezialist für solche Messungen. Mit seiner Arbeitsgruppe „Magnetisierungsdynamik“ hat er eine Technik perfektioniert, die wichtige Details zum Nanomagnetismus enthüllt: die ferromagnetische Resonanz, kurz FMR.

Diese Messmethode ist verwandt mit der Kernspintomografie, die in der medizinischen Diagnostik weit verbreitet ist. Mit der FMR lassen sich die magnetischen Eigenschaften von ferromagnetischen Proben untersuchen. Das Material wird dazu in ein konstantes Magnetfeld gebracht, dann strahlt man ein elektromagnetisches Wechselfeld im Mikrowellenbereich ein, also mit einer Frequenz von etwa 1 bis 300 Gigahertz, und misst die Absorption. Denn Mikrowellen können die Spins in der Probe anregen und in eine Kreisbewegung versetzen. Dabei taumelt die Drehachse wie in Schiefelage und beschreibt infolgedessen einen Kegel – die Spins präzedieren, sagt der Fachmann. Und das passiert bei einer ganz bestimmten >

Um zum Beispiel neuartige Speicherelemente zu entwickeln, erforschen Physiker die magnetischen Eigenschaften von Materialien. Eine wichtige Methode ist dabei die ferromagnetische Resonanz. Über die Absorption von Mikrowellen können die Dresdner Forscher winzige magnetische Strukturen charakterisieren. Quelle: A. Wirsig ↵

Resonanzfrequenz, wie Kilian Lenz erläutert: „Das ist wie bei einer Schaukel. Wenn man ein Kind darauf anstößt, und das immer im passenden Rhythmus, dann schaukelt es ständig weiter. Genauso ist das in der Probe. Durch die Mikrowellen hält man diese Präzessionsbewegung am Leben.“

### Mikroresonatoren für winzige Proben

Allerdings ist das Verfahren nicht besonders empfindlich, wie der Physiker weiß: „Typischerweise braucht man  $10^{11}$  Spins, um überhaupt ein Signal messen zu können.“  $10^{11}$ , also 100.000.000.000, das klingt nach einer ziemlich großen Zahl. Doch in der Welt der Atome entspricht das nur einer winzigen Stoffmenge. Und im Nanokosmos sind die Portionen noch viel kleiner. Ein Eisenwürfel mit einer Kantenlänge von 40 Nanometern hat gerade einmal  $10^6$  Spins, 100.000-mal weniger, als man eigentlich für eine Messung braucht. Deshalb hat Lenz mit seinen Mitarbeitern spezielle Mikroresonatoren für die FMR entwickelt, die das Gerät in neue Dimensionen vordringen lassen.

Mit diesem Zubehör wird die Technik viel empfindlicher. Man kann dann die winzigen Proben vermessen und stößt auf interessante Phänomene, erklärt Kilian Lenz: „Bei großen Proben sehe ich nur die sogenannte uniforme Mode. Das heißt, alle Spins präzedieren mit gleicher Phase.“ Bildlich gesprochen, sind dann alle Kreiselbewegungen im Takt und drehen sich absolut synchron. Das FMR-Spektrum zeigt in diesem Fall genau ein Signal, wie Lenz fortführt: „Spannend wird es bei kleinen Dimensionen. Da gibt es noch weitere Anregungsmöglichkeiten, nämlich Spinwellen.“ In einer Spinwelle ändert sich die Orientierung des magnetischen Moments fortlaufend entlang der Probe. Man kann sich das so vorstellen, dass jeder Kreisel gegenüber seinen Nachbarn leicht phasenversetzt taumelt, sich also schon ein wenig weiter gedreht hat. Im Gesamtbild entsteht eine Welle, die sich durch das Material fortpflanzt. Mit der FMR wird diese Spinwelle sichtbar.

Von solchen Spinwellen versprechen sich die Forscher große Fortschritte in der Digitaltechnik. Denn Spinwellen ermöglichen eine hocheffiziente Signalübertragung, ohne dass sich die Bauelemente aufheizen, wie das jetzt in der Elektronik der Fall ist. Und ferromagnetische Materialien mit Abmessungen im Nanometerbereich zwingen den Spinwellen besondere Eigenschaften auf, erläutert Abteilungsleiter Jürgen Lindner: „Der Rand eines dünnen Streifens liefert ganz natürlich ein magnetisches Potential für Spinwellen, das nur zehn bis zwanzig Nanometer breit ist.“ Nur an diesem Rand bilden sich Spinwellen, im Rest der Probe dagegen nicht. So entsteht wie von selbst ein perfekter Ausbreitungspfad für Spinwellen.

Die Ursache für dieses Verhalten liegt darin, dass die Spins am Rand einer Materialprobe keine Nachbarn haben. „Das ist wie bei einer Wasserwelle“, vergleicht Jürgen Lindner. „Auf einer offenen Wasserfläche verhält sie sich anders als an der Küste.“ Randmoden nennen die Fachleute diese besonderen Spinwellen, die sich an der Kante einer Materialprobe ausbilden, und die Kilian Lenz mit der FMR nachweisen kann. Außerdem liefert die Analysetechnik Details über die Magnetisierungsdynamik, das heißt, mit welcher Geschwindigkeit sich die magnetischen Eigenschaften einer Nanostruktur ändern beziehungsweise geschaltet werden können. „Wir schauen, wie schnell die Präzession nach der Anregung abklingt, also wie stark die Spinwelle gedämpft wird. Und wir messen, wie leicht die Magnetisierung in der Probe in eine bestimmte Richtung gedreht werden kann“, so Lenz.

### Scharfe Schnitte mit dem Ionenmikroskop

Wichtig für solche Untersuchungen ist, dass Objekte mit perfekten Rändern zur Verfügung stehen. „Unsere Proben haben zunächst eine gewisse Rauigkeit an der Kante“, erzählt Kilian Lenz, „denn wir stellen sie mit Elektronenstrahl-Lithografie her. Der dabei verwendete Belichtungsprozess mit Elektronenstrahl und Maske ist bildlich gesprochen so eine Art grobes



☐ Kilian Lenz bereitet eine Probe vor, um ihre magnetischen Eigenschaften mit der Messmethode der ferromagnetischen Resonanz zu untersuchen. Quelle: A. Wirsig ☑

Sägemesser.“ Mit einem speziellen Ionenmikroskop wird dann der Rand beschnitten. Da der Strahl, der aus Neon-Ionen besteht, extrem fokussiert ist, kann man damit die Kante besonders scharf abschneiden – wie mit einem Skalpell.

„Für uns ist es ein großer Vorteil, dass wir dieses Gerät direkt hier im Ionenstrahlzentrum nutzen können“, sagt Jürgen Lindner. „Die Nanostrukturen werden an einem einzigen Ort erzeugt, zurechtgeschnitten und anschließend analysiert – dank der einzigartigen Kombination von High-Tech-Geräten.“ Auf dem FMR-Gebiet gehören die Dresdner Forscher deshalb zur Weltspitze, schätzt Lindner ein und hebt hervor: „Wir haben uns hier auf diese Technik spezialisiert, mit der man quantitativ messen kann. Solche Methoden sind für das Verständnis von nanomagnetischen Phänomenen enorm interessant. Sie stehen oft im Hintergrund, aber sie sind extrem wichtig und bilden die Grundlage für erfolgreiche Entwicklungen.“

Eine entscheidende Rolle spielen für Lenz und seine Kollegen mikromagnetische Simulationen, mit denen die Messergebnisse der FMR verglichen werden können. Hier arbeiten die Physiker auch daran, die bestehende Software selber weiterzuentwickeln. Denn die Simulationsprogramme bleiben mitunter hinter den Wünschen der Wissenschaftler zurück, wie Kilian Lenz erläutert: „Für die Modellierung muss ich meine Objekte in kleine Elemente aufteilen. Bei vielen Programmen müssen diese quaderförmig sein. Wenn ich nun beispielsweise einen Zylinder mit einer gekrümmten Oberfläche habe, kann ich

den mit Quadern nicht korrekt beschreiben. Und das kann dann zum Beispiel bei den Randmoden zu falschen Ergebnissen führen.“ Deshalb haben die Forscher eigene Programme geschrieben, bei denen Objekte in geometrisch willkürlich gewählte, kleine Bereiche unterteilt werden können.

Solche Simulationen erlauben einerseits, die gemessenen Absorptionssignale in ein Bild zu übersetzen, das die Verteilung und Ausrichtung der Spins visualisiert. Andererseits lassen sich die Programme aber auch für Vorhersagen benutzen, beschreibt Kilian Lenz: „Ich kann in den Programmen mit den Parametern spielen. Ich kann berechnen, wohin sich die Spinwellen-Moden verschieben, wenn die Probe halb so breit oder doppelt so lang ist oder wenn ich ein anderes Material nehme.“

Viele Untersuchungen werden mit Permalloy durchgeführt, einer Eisen-Nickel-Legierung mit der Formel  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ . „Die Drosophila der Magnetismus-Forschung“, scherzt Kilian Lenz und spielt auf die Tauffliege *Drosophila melanogaster* an, die in der Genetik der bevorzugte Modellorganismus ist. Denn die Legierung ist einfach zu handhaben, seit langem bekannt und gut charakterisiert. Im FMR-Gerät untersucht er aber auch andere Substanzen, die für technische Anwendungen besonders interessant erscheinen. Dazu gehören etwa Legierungen aus Kobalt, Eisen und Bor oder sogenannte Heusler-Verbindungen, die für Hochfrequenz-Anwendungen erforscht werden.

Noch ist weitgehend offen, wie künftige Generationen von Prozessoren und Speichern aussehen, welche Bausteine und physikalischen Phänomene die Basis für ihre Architektur liefern werden. Doch die Wissenschaftler am HZDR arbeiten daran, nanomagnetische Strukturen für die Nutzung in der Informationsverarbeitung fit zu machen.

### Publikationen:

H. Cansever, R. Narkowicz, K. Lenz, C. Fowley, L. Ramasubramanian, O. Yildirim, A. Niesen, T. Huebner, G. Reiss, J. Lindner, J. Fassbender, A.M. Deac: Investigating spin-transfer torques induced by thermal gradients in magnetic tunnel junctions by using micro-cavity ferromagnetic resonance, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2018 (DOI: 10.1088/1361-6463/aac03d)

R.A. Gallardo, T. Schneider, A. Roldán-Molina, M. Langer, A.S. Núñez, K. Lenz, J. Lindner, P. Landeros: Symmetries and localization properties of defect modes in metamaterial magnonic superlattices, *Physical Review B*, 2018 (DOI: 10.1103/PhysRevB.97.174404)

R.A. Gallardo, T. Schneider, A. Roldan-Molina, M. Langer, J. Fassbender, K. Lenz, J. Lindner, P. Landeros: Dipolar interaction induced band gaps and flat modes in surface-modulated magnonic crystals, *Physical Review B*, 2018 (DOI: 10.1103/PhysRevB.97.144405) ☑

### Kontakt

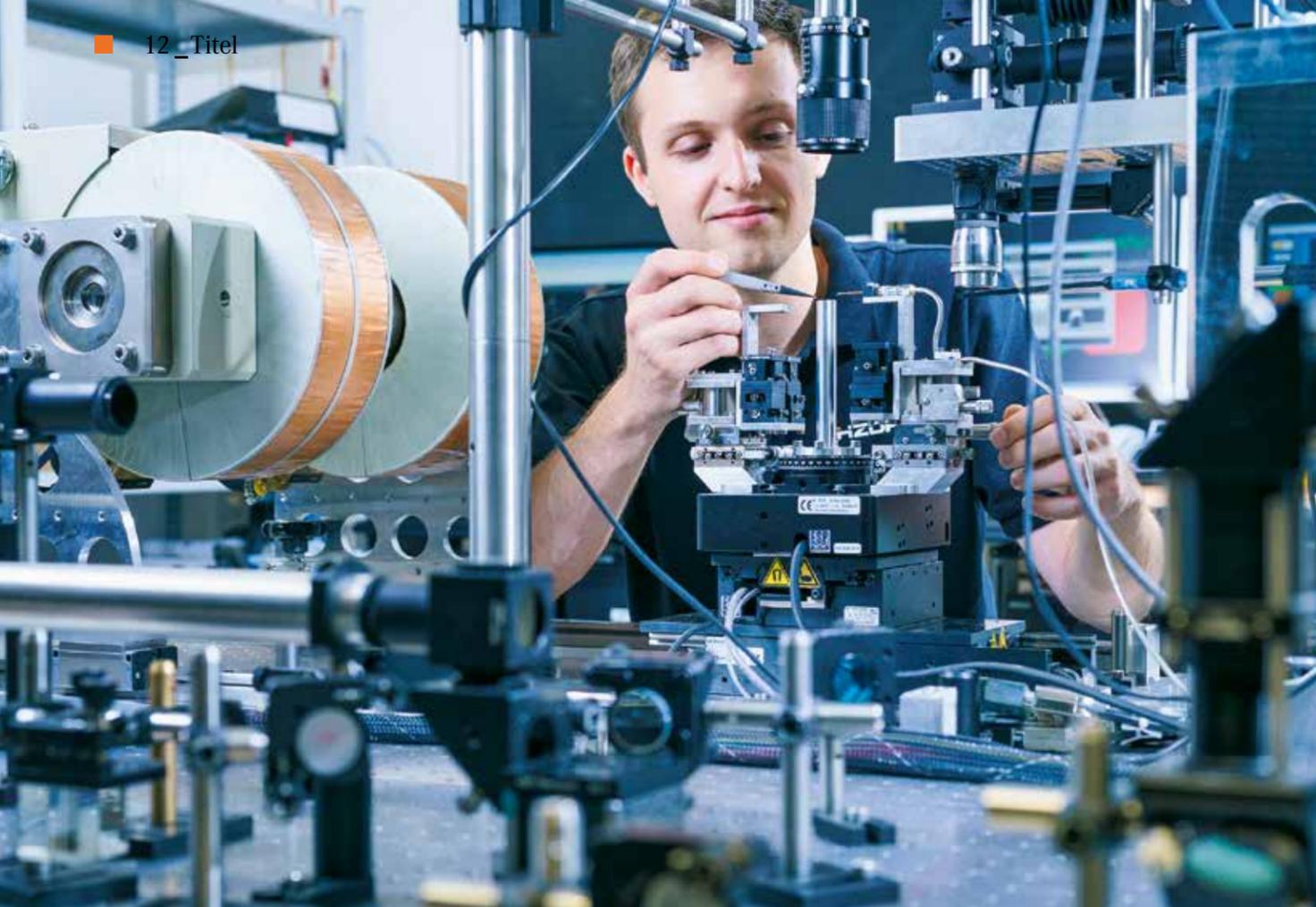
☐ Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung am HZDR  
Dr. Kilian Lenz  
k.lenz@hzdr.de

Dr. Jürgen Lindner  
j.lindner@hzdr.de

Dr. Gregor Hlawacek  
g.hlawacek@hzdr.de



☐ Mit Hilfe eines Helium-Ionenmikroskops kann Physiker Gregor Hlawacek nanometerkleine Proben in die gewünschte Form bringen. Quelle: A. Wirsig ☑



Am Laser-Rasterkraftmikroskop kann Doktorand Tobias Hula die Dynamik von magnetischen Mikrostrukturen, wie Spinwellen, untersuchen.  
Quelle: A. Wirsig

# Die magnetische Welle

Allmählich stößt die Mikroelektronik an ihre physikalischen Grenzen. Überall auf der Welt arbeiten Forscher an Alternativen. HZDR-Experten setzen auf ein Phänomen der besonderen Art: Mit Spinwellen lässt sich rechnen, ohne dass dabei elektrische Ladungen und Ströme fließen.

Text: Frank Grotelüschen

„Das hier sind unsere Spielsachen.“ Alina Deac hat die Tür zu ihrem Labor geöffnet. Nun zeigt sie auf diverse Apparaturen: Metallgestelle voller Messelektronik, Teststände mit wuchtigen Magnetspulen sowie Mikroskope, mit denen sich feinste Kontaktdrähte hochpräzise positionieren lassen. Mit diesem Hightech-Arsenal untersucht Deacs Team empfindliche Proben. „Bei unseren Versuchen müssen wir relativ starke Ströme durch diese winzigen Proben schicken“, erzählt die HZDR-Forscherin. „Da kann es schon mal passieren, dass eine durchschmilzt.“ Doch der Aufwand könnte sich lohnen. Denn die Materialien, an denen die Arbeitsgruppe tüftelt, haben das Potential, die drahtlose Kommunikation grundlegend zu verändern: Sie versprechen Übertragungsdaten hundertmal größer als heute – und damit schnellere Mobilfunk- und WLAN-Netze.

Die Basis ist eine besondere Eigenschaft des Elektrons – sein Spin. Bildlich gesprochen dreht sich das winzige Teilchen nämlich ständig um sich selbst. Da es naturgemäß eine elektrische Ladung trägt, erzeugt dieser Eigendreh gemäß den Grundgesetzen der Physik ein schwaches magnetisches Moment. „Im Prinzip ist der Elektronenspin die Grundlage der meisten magnetischen Phänomene“, erläutert Jürgen Lindner, Leiter der Abteilung Magnetismus am HZDR-Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung. „Unter anderem ist er die Ursache dafür, dass ein Stück Eisen magnetisch ist und dass man auf einer Festplatte Daten ablegen kann.“

Seit einiger Zeit versuchen Forscher rund um den Globus, mit dem Elektronenspin weit mehr anzustellen als nur Informationen zu speichern. Ihr Ziel: schnellere Rechner und Datenübertragung sowie Computersysteme, die der Funktionsweise des menschlichen Gehirns nachempfunden sind. An den Grundlagen dieser „Spintronik“ arbeiten die Fachleute zwar schon seit etwa zwei Jahrzehnten, doch in letzter Zeit konnten sie vielversprechende Fortschritte erzielen – und lassen mögliche Anwendungen ein gutes Stück näher rücken.

In Dresden konzentriert man sich auf sogenannte Spinwellen. Bei ihnen fließen, anders als bei heutigen elektronischen Bauelementen, keine Elektronen durch ein Metall oder einen Halbleiter. Stattdessen dienen bestimmte Magnete als Basismaterialien. In ihnen bleiben die Elektronen an ihren Plätzen und geben lediglich ihr magnetisches Moment weiter. Dabei dreht sich jedes Elektron, ähnlich wie ein Kinderkreisel, um die eigene Achse: Für gewöhnlich bewegen sich alle diese Kreisel auf dieselbe Art und Weise. Doch bringt man einige der Elektronen etwa durch kurze Strompulse aus dem Takt, kann sich diese Störung über die benachbarten Elektronen durchs Material bewegen – eine Spinwelle jagt durchs Kristallgitter.

Indem sie auf Magnetschichten mikrometerkleine Kreisscheiben aufprägen, können HZDR-Physiker winzige Magnetwirbel kreieren, die sehr kurzweilige Spinwellen anregen (unten).  
Quelle: AVANGA

## Kette statt Bote

In diesen Wellen lassen sich Informationen codieren und weitergeben. Ein wenig vergleichbar ist das mit einem Boten, der im Laufschrift ein Expresspaket vom Amt zum Adressaten befördert. Dagegen entsprechen die Spinwellen eher einer Menschenkette, die das Paket von einer Person zur nächsten weiterreicht. In der Elektronik könnte das ein immer dringlicheres Problem entschärfen. „In den heutigen Computerchips fließen Elektronen“, erläutert Jürgen Lindner. „Dabei verspüren sie einen elektrischen Widerstand und heizen den Chip auf.“

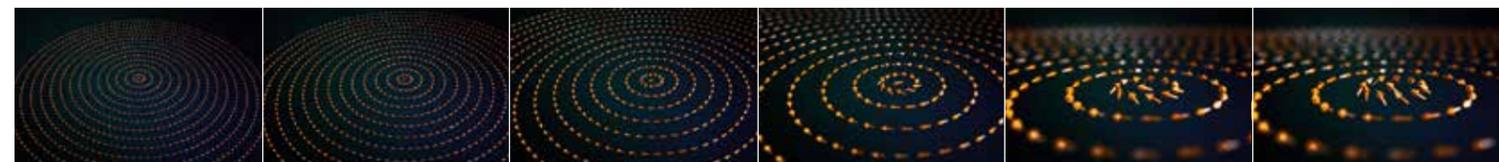
Da die Hersteller Chips mit immer feineren Leiterbahnen entwickeln, wird diese Aufheizung mehr und mehr zum Problem – sie verhindert eine weitere Geschwindigkeitssteigerung der Bauteile. Dieses Manko ließe sich mit Spinwellen umgehen. Da sie ohne Ladungstransport auskommen, würden sie deutlich weniger Strom brauchen. Smartphones, Laptops und Tablets müssten seltener an die Steckdose, große Rechenfarmen würden weniger Energie verschlingen. Eine weitere Perspektive: In geeigneten magnetischen Materialien können sich Spinwellen mit überaus kleinen Wellenlängen ausbreiten – was wiederum eine Geschwindigkeitssteigerung verspricht und damit leistungsstärkere Prozessoren als heute.

Zwar steckt die Forschung dazu noch in den Grundlagen. Doch mittlerweile ist es den Experten gelungen, zentrale Herausforderungen zu meistern: Sie können Spinwellen punktgenau erzeugen, gezielt durch Materialien leiten und zuverlässig detektieren. In punkto Erzeugung gelang einem Team um den Physiker Sebastian Wintz vor einiger Zeit ein Erfolg. „Früher generierte man eine Spinwelle durch eine winzige Antenne aus Gold oder Kupfer, die man auf einem dünnen magnetischen Film anbrachte“, erklärt Wintz, der derzeit am Paul-Scherrer-Institut in der Schweiz arbeitet. „Schickte man einen Wechselstrom in diesen schmalen Streifen, konnte dieser im Magneten eine Spinwelle auslösen.“

## Des Wirbels Kern

Allerdings lassen sich damit nur sehr schwer Spinwellen anregen, die Wellenlängen unterhalb eines Mikrometers aufweisen, wie es für viele Zwecke von Vorteil wäre. Um in den Nanometerbereich vorzustoßen, mussten sich die Physiker etwas Anderes einfallen lassen: „Statt künstlicher Antennen verwenden wir welche, die sich von selbst ausbilden“, erzählt Wintz. „Dafür strukturieren wir unsere Magnetschichten vor, indem wir ihnen mikrometerkleine Kreisscheiben aufprägen. Dadurch entstehen dann winzige Magnetwirbel, in deren Kernen sich die magnetischen Momente aufrichten.“

Die Kerne dieser Wirbel messen im Durchmesser gerade mal zehn Nanometer und sind magnetisch gesehen ungemein stabil. Setzt man diese Winzlinge nun einem Wechselfeld aus, geraten die Wirbel ins Rotieren – und regen dadurch im



Inneren des Materials eine Spinwelle an. „Auf diese Weise haben wir am HZDR bereits Wellenlängen von weniger als 100 Nanometern erzeugt“, berichtet Wintz. „Mit speziellen Röntgenmikroskopen konnten wir beobachten, wie sich diese Spinwellen ganz ähnlich wie Wasserwellen ausbreiten.“

### Kanäle für Spinwellen

Doch wie lässt sich diese Ausbreitung steuern? Wie lassen sich Spinwellen gezielt lenken und um Kurven oder Ecken biegen? Hier verfolgen die Experten eine originelle Strategie: Sie formen direkt im Material Strukturen, die als Leitplanken für Spinwellen dienen. Solche „Domänenwände“ trennen Bereiche mit unterschiedlicher Magnetisierung. Das Entscheidende: Innerhalb dieser Domänenwände sind die Spinwellen gefangen und können sich lediglich in eine vorgegebene Richtung ausbreiten – wie ein rauschender Gebirgsbach in einem engen, begradigten Kanal.

„Mit solchen Domänenwänden können wir Spinwellen gezielt lenken“, sagt Helmut Schultheiß, Leiter der Gruppe Magnonik am HZDR. „Und mit Hilfe von Magnetfeldern können wir diese Wände fast nach Belieben hin- und herschieben.“ Die Folge: Anders als ein heutiger Mikroprozessor hätte ein auf Spinwellen basierender Chip keine ab Werk festgelegte Architektur, sondern ließe sich nachträglich verändern und dadurch an neue Herausforderungen anpassen.

Ein Umstand, der die Forscherfantasie gehörig beflügelt. „Damit ließe sich eine ganz andere Art des Rechnens verwirklichen“, spekuliert Schultheiß – und denkt dabei an den „neuromorphen Computer“. Dieser würde aus künstlichen Neuronen, Nervenbahnen und Synapsen bestehen und wäre der Funktionsweise biologischer Gehirne nachempfunden. „Meine Vision ist, dass man das mit Spinwellen umsetzt“, sagt Schultheiß. „Der Vorteil: Man könnte sämtliche Bauteile in einem einzigen Material unterbringen.“

Beispielsweise könnten ringförmige Domänenwände als Neuronen fungieren und Spinwellen speichern. Über ein System aus Kanälen wären sie mit anderen Kunst-Neuronen vernetzt. Würde nun in einem der Neuronen-Ringe eine „Reizschwelle“ überschritten, würde das Spinwellen abfeuern und damit andere Neuronen aktivieren – ein Prozess ähnlich wie im Gehirn. „Solche Systeme könnten ihre Stärken bei der Bild- und der Spracherkennung ausspielen, was zum Beispiel für das autonome Autofahren nützlich wäre“, meint Helmut Schultheiß. „Und wenn man zulässt, dass sich diese neuronalen Netze selber modifizieren können, wären sie sogar lernfähig.“

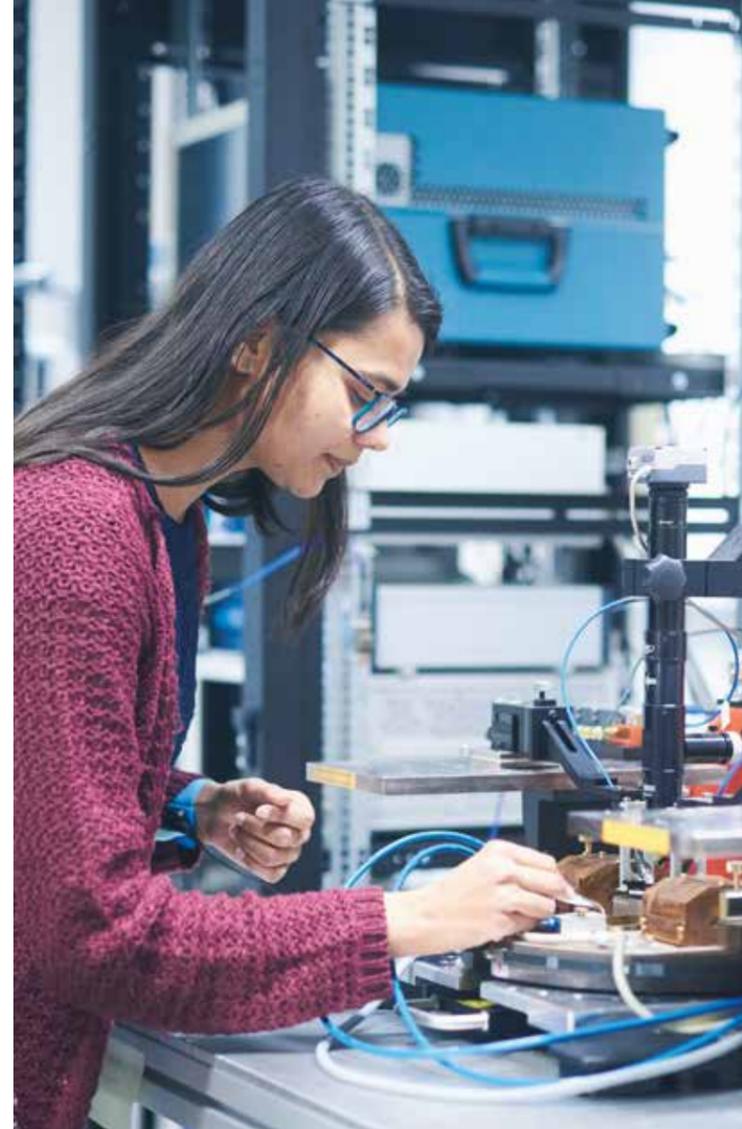
### Lauschen per Laser

Eine kühne Vision, die allerdings eine Voraussetzung braucht: Man muss nicht nur in der Lage sein, Spinwellen gezielt zu erzeugen und zu manipulieren, sondern muss sie auch effektiv auffangen und detektieren können. Auch hier haben die HZDR-Fachleute einige Erfolge verbucht. Unter anderem

haben sie ein Magnetmaterial mit einem dünnen Streifen aus Platin beklebt. Wabert nun eine Spinwelle durch das Material, erzeugt sie durch Streuprozesse im Platinstreifen einen kleinen, aber messbaren Ladungsstrom, der sich mit empfindlicher Messelektronik nachweisen lässt.

Machbar ist aber auch eine Detektion per Laser – mit ihm lassen sich die Spinwellen quasi abhören. Das Prinzip: Schickt man einen Lichtpuls auf die Spinwelle, wird der Puls durch die Welle modifiziert, etwa indem sich seine Polarisation – die Schwingungsrichtung des Lichts – verändert. Das wiederum lässt sich mit Hilfe optischer Sensoren präzise analysieren. Diese Methode verspricht eine besonders rasche Datenauslese, was unter anderem für eine schnelle Kommunikation zwischen zwei Spinwellen-Rechnern relevant wäre.

Um hohe Datenraten geht es auch im Labor von Alina Deac. Sie arbeitet am WLAN der Zukunft. Um schnellere Funkverbindungen auf die Beine zu stellen, braucht es höhere Übertragungsfrequenzen. Bei den derzeitigen Netzen liegen sie zwischen zwei und fünf Gigahertz. Deac, die am HZDR die Gruppe „Spintronik“ leitet, peilt den Bereich um 300 Gigahertz an. „Nützlich könnten solche Übertragungsraten für das Gesundheitswesen sein“, meint die Physikerin, „etwa wenn Sensoren am Körper eines Patienten laufend den Gesundheitszustand erfassen und riesige Datenmengen in eine Klinik senden.“ Auch für die Kommunikation von Chip zu Chip und das Internet der Dinge wäre eine ultraschnelle kabellose Verbindung höchst hilfreich.



Doktorandin Lakshmi Ramasubramanian bereitet eine Probe vor, um die elektrische Spannung zu messen. Der Strom sowie die Messspannung werden über die feinen Tastspitzen eingepreßt und abgegriffen. (links)  
Quelle: S. Floss

Die Arbeit mit den Spinwellen jedenfalls nähert sich einer neuen Stufe: „Im Labor können wir sie heute zuverlässig erzeugen, manipulieren und nachweisen“, sagt Jürgen Lindner. „Jetzt geht es darum, diese drei Komponenten zusammenzubringen, und ich gehe davon aus, dass wir das in ein bis zwei Jahren schaffen.“ Funktionierende Labormuster etwa für einen einfachen Spinwellen-Rechner scheinen also in Reichweite.

Doch bevor sich das neue Konzept in die Industrie umsetzen lässt, ist vor allem noch eine Hürde zu meistern: „Bislang arbeiten wir mit exotischen Stoffen wie Yttrium-Eisengranat oder einkristallinem Eisen“, betont Lindner. „Im Labor funktionieren die zwar gut, aber für die Industrie wären sie zu teuer und zu aufwendig.“ Nötig ist also eine ordentliche Portion Materialforschung: Es bräuhete eine neue Generation von Werkstoffen, in denen sich die Spinwellen optimal ausbreiten können und die zugleich für eine preisgünstige Massenfertigung taugen.

### Publikationen:

S. Wintz, V. Tiberkevich, M. Weigand, J. Raabe, J. Lindner, A. Erbe, A. Slavin, J. Fassbender: Magnetic vortex cores as tunable spin-wave emitters, in Nature Nanotechnology, 2016 (DOI: 10.1038/NNANO.2016.117)

K. Wagner, A. Kákay, K. Schultheiss, A. Henschke, T. Sebastian, H. Schultheiss: Magnetic domain walls as reconfigurable spin-wave nanochannels, in Nature Nanotechnology, 2016 (DOI: 10.1038/NNANO.2015.339)

L. Yang, R. Verba, V. Tiberkevich, T. Schneider, A. Smith, Z. Duan, B. Youngblood, K. Lenz, J. Lindner, A.N. Slavin, I.N. Krivorotov: Reduction of phase noise in nanowire spin orbit torque oscillators, in Scientific Reports, 2015 (DOI: 10.1038/srep16942)

Z. Duan, A. Smith, L. Yang, B. Youngblood, J. Lindner, V.E. Demidov, S.O. Demokritov, I.N. Krivorotov: Nanowire spin torque oscillator driven by spin orbit torques, in Nature Communications, 2014 (DOI: 10.1038/ncomms6616)

### Kontakt

\_Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung am HZDR  
Dr. Jürgen Lindner  
j.lindner@hzdr.de

Dr. Helmut Schultheiß  
h.schultheiss@hzdr.de

Dr. Alina Deac  
a.deac@hzdr.de

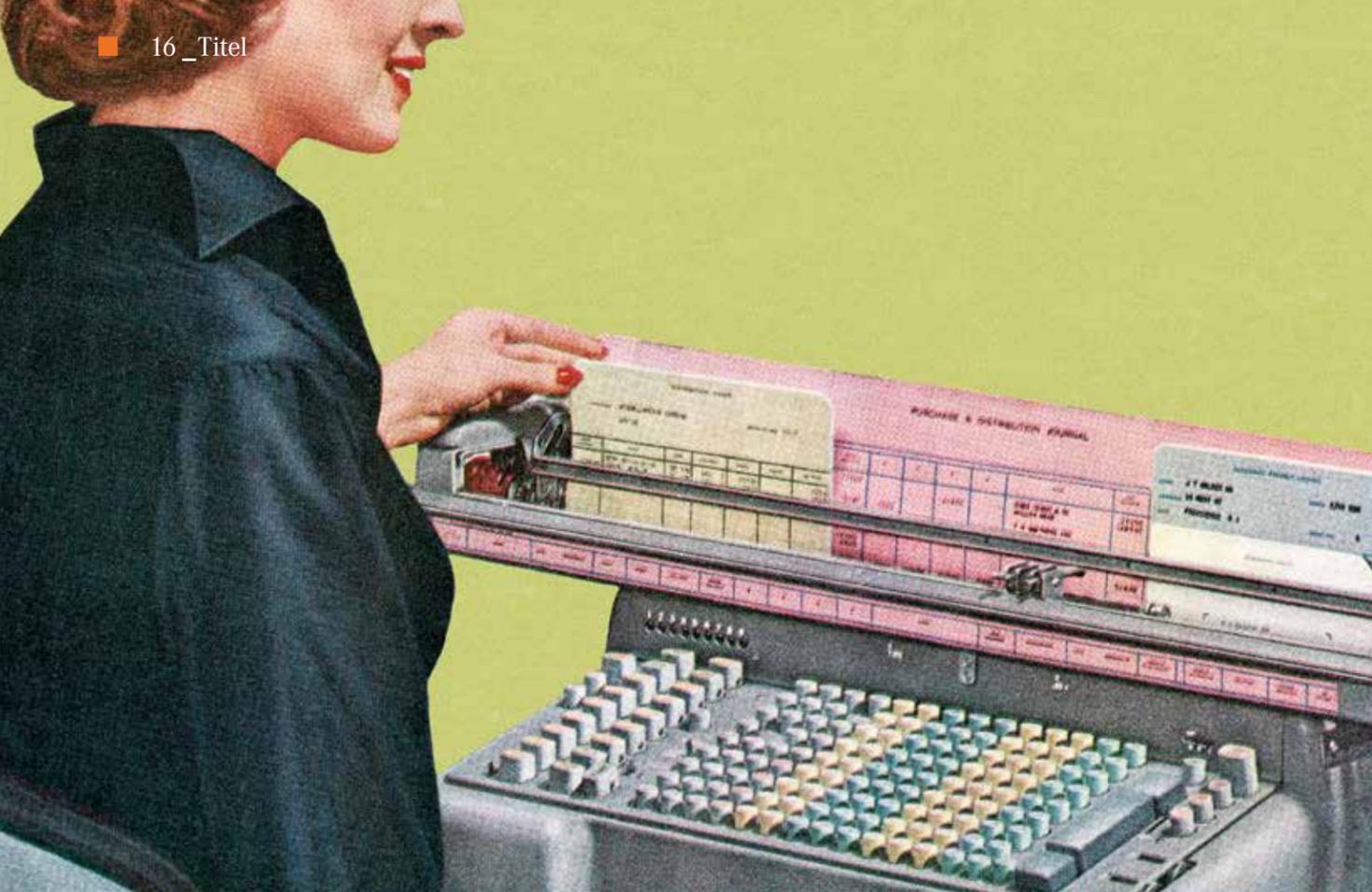
\_Paul Scherrer Institut (PSI) / Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung am HZDR  
Dr. Sebastian Wintz  
s.wintz@hzdr.de

### Ultraschnelles WLAN

Die Basis für Deacs Arbeiten bilden spezielle, erst in den letzten Jahren entwickelte Mangan-Gallium-Verbindungen. In ihnen können die Elektronenspins mit enormem Tempo kreiseln – die Voraussetzung für die Erzeugung hoher Frequenzen. Um dieses Kreiseln auszulösen, beschossen die Forscher ihre Materialproben mit Terahertz-Pulsen aus der HZDR-Beschleunigeranlage ELBE. Dabei stellten sie fest, dass die Spins wie erhofft mit einer Frequenz von etwa 350 Gigahertz rotierten.

Ferner gelang es dem Team, das neue Material in einen Schichtstapel zu integrieren, eine komplexe Sandwich-Struktur – quasi ein erster Prototyp eines WLAN-Senders. „Unser Ziel ist es, Strom an ein solches Bauteil anzulegen, der dann das Kreiseln der Elektronenspins anregt“, beschreibt Alina Deac. „Dieses Kreiseln soll dann hochfrequente Funkwellen erzeugen, die wir mit geeigneten Antennen nachweisen wollen.“ Ein Meilenstein, der nach Möglichkeit bis 2020 erreicht sein soll. Dann endet das EU-Projekt TRANSPIRE, an dem das HZDR gemeinsam mit Partnern aus Irland, Norwegen und der Schweiz beteiligt ist.





# Vom Nanomagneteten zum Speicherriesen

Um Informationen zu speichern, sind Wissenschaftler und Ingenieure längst in die Welt des Allerkleinsten vorgedrungen. Die Wechselwirkungen im Nanobereich stellen sie dabei vor einige Herausforderungen, bieten aber auch ungeahnte Möglichkeiten für die Datenspeicher der Zukunft.

Text: Kai Dürfeld

**D**aten sind der Rohstoff des 21. Jahrhunderts. Wurden 2002 weltweit in jeder Sekunde noch 100 Gigabyte geschaffen, so ist es heute das 500-Fache davon. Und es werden ständig mehr. Smarte Fabriken erzeugen sie genauso wie hochautomatisierte Fahrzeuge, Erdbeobachtungssatelliten ebenso wie Teilchenbeschleuniger. Auch kreative Videofilmer, Social-Media-Nutzer und Supermarktkassen reihen sich in eine Liste ein, die noch beliebig verlängert werden könnte. Rund 1,5 Gigabyte wird jeder Mensch im Jahr 2020 an jedem Tag im Durchschnitt generieren. Die gesamte Datenflut

schnell, sicher und vor allem kostengünstig zu speichern, stellt Computerhersteller und Wissenschaftler vor eine große Herausforderung.

„Seit 1956 ist die Speicherdichte von Festplatten um neun Größenordnungen angewachsen“, sagt Olav Hellwig. „Auf die gleiche Fläche passen heute also eine Milliarde Mal mehr Daten.“ Hellwig ist Physiker, leitet die Forschungsgruppe Magnetische Funktionsmaterialien am HZDR und hat die gleichnamige Professur an der Technischen Universität Chemnitz inne.

Seit den Anfängen der maschinellen Datenspeicherung – damals noch mit Lochkarten – haben sich die Speichertechnologien rasant verkleinert. Forscherinnen, wie Miriam Lenz, arbeiten heute an magnetischen Nanostrukturen in Dünnschicht-Systemen. Quelle: istock.com, CSA Images, Color Printstock Collection (links) / A. Wirsig (rechts)

„Durch die Optimierung herkömmlicher Festplatten-Technologien lässt sich die Speicherdichte vielleicht noch um eine weitere Größenordnung steigern. Dann werden die magnetischen Einheiten so klein, dass sie bei Raumtemperatur einfach nicht mehr stabil sind, selbst wenn wir die härtesten Magneten nehmen, die derzeit bekannt sind.“

Fast 14 Jahre lang hat Hellwig für große Festplatten-Hersteller im Silicon Valley daran gearbeitet, das physikalisch Mögliche aus den etablierten Materialien herauszuholen und auch neue Wege für die Datenspeicherung zu suchen. In Dresden und Chemnitz führt er nun diese Arbeit fort und legt gemeinsam mit seinen Kollegen den Grundstein für die nächste und übernächste Speichergeneration.

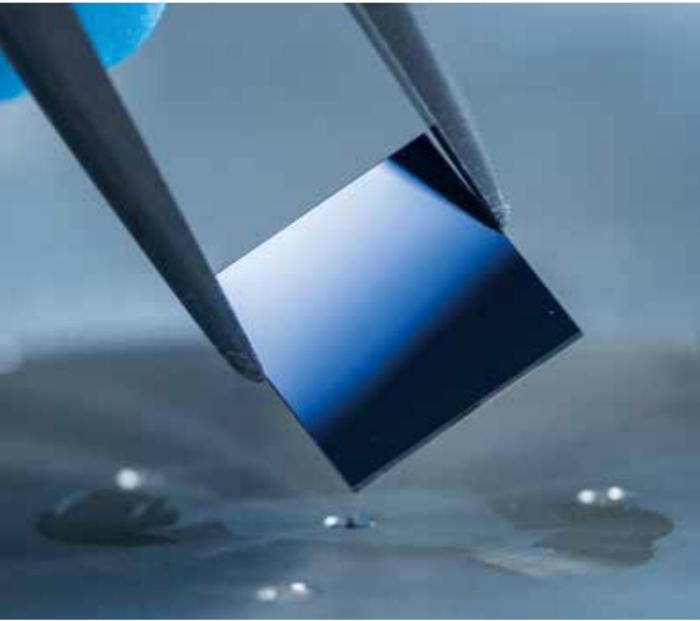
## Magnetische Inseln im Nanoformat

Standardisierte Baugrößen, riesiger Speicherplatz, unschlagbarer Preis: Seit die erste Festplatte das Licht der Welt erblickte, hat sie sich zum Rückgrat der modernen IT-Systeme entwickelt. Im Inneren rotieren Scheiben aus inertem Material mit hauchdünner Cobalt-Chrom-Platin-Beschichtung. Ein Schreib-/Lesekopf schwebt in rund drei Nanometer Abstand über der Oberfläche und definiert beim Schreiben die sogenannten Bit-Zellen einer Datenspur. Bisher sind diese Schichten granular, das heißt gekörnt. Eine Speicherzelle bestand dabei anfangs aus einigen hundert Körnchen mit Durchmes-

sern im Mikrometerbereich. Heute hat sich die Anzahl der Körner pro Bit auf unter 20 reduziert mit einer mittleren Größe von nur noch rund acht Nanometern.

Sollen mehr Speicherzellen auf einer Standardscheibe Platz finden, müssen die Körnchen schrumpfen. Bei sieben bis acht Nanometer ist die Technik heute angekommen und hat damit die Optimierungsschraube fast bis zum Anschlag gedreht. Denn durch den superparamagnetischen Effekt sinkt die thermische Stabilität bei kleiner werdendem Korn. Die Magnetisierung kann spontan ihre Richtung ändern, wodurch die gespeicherten Daten verschwinden. Einen Ausweg verspricht HAMR. Das steht für Heat-Assisted Magnetic Recording, also Wärme-unterstützte Magnetaufzeichnung, und setzt auf besonders hartmagnetische Schichten aus einer chemisch geordneten Eisen-Platin-Legierung. Damit sind selbst drei Nanometer kleine Körner noch thermisch stabil.

Um darin Daten zu speichern, muss die Oberfläche aber lokal erhitzt werden. Ein eingebauter Laser projiziert dazu seine Energie nanometerngenau auf die Oberfläche, während der Schreibkopf die Speicherzelle magnetisiert. Gespeichert und ausgelesen werden die Daten anschließend im kalten Zustand. Bereits während seiner Zeit in den USA forschte Hellwig an dieser Technologie. Am HZDR erweitern er und seine Kollegen nun das Wissen um die ultradünnen Speicherschichten und deren charakteristischen Eigenschaften. >



Nicht gekörnte Strukturen, sondern winzige, geordnete, magnetisch homogene Inseln sind eine weitere Möglichkeit, die Speicherkapazität von Festplatten zu erhöhen. Jede repräsentiert dabei ein Bit und wird entweder lithografisch, durch Selbstorganisation des Materials oder einer Kombination von beidem erzeugt. Bit Patterned Media (BPM), also Bit-strukturierte Medien heißt diese Technologie. Der Vorteil: Da sie größer sind, sind die „magnetischen Inseln im Nanoformat“ thermisch stabiler als die vielen kleinen Magnetkörnchen herkömmlicher Speicherzellen. In Sachen Speicherdichte bietet BPM also noch Luft nach oben.

### Wie lässt sich der Energiehunger stoppen?

Drängender als noch höhere Speicherdichten ist aber ein anderer Aspekt. „Der größte Kostenfaktor heutiger Datenzentren“, erzählt Hellwig, „ist die nötige Energie für den Betrieb der Speicher und Prozessoren vor allem für deren Kühlung.“ Denn Elektronik basiert auf dem Fluss von Elektronen. Ein Großteil der elektrischen Energie wird dabei jedoch in Wärme umgewandelt. Je dichter die Speicherzellen und Prozessoreinheiten beieinanderliegen, umso problematischer wird das Abführen dieser Wärme.

„Die Datenverarbeitung und -speicherung erfolgt heute so dicht, dass wir mit den Strukturen längst in den Nanobereich vorgedrungen sind“, fährt Hellwig fort. „Die magnetischen Wechselwirkungen auf der Nanometerskala sind aber wesentlich vielfältiger als auf makroskopischer Ebene. Die meisten treten nur im Nanomagnetismus auf, mit Wirkungslängen unterhalb eines Mikrometers. Nehmen wir zum Beispiel spin-

polarisierte Ströme. Diese elektrischen Ströme tragen ein magnetisches Moment, sind also auch magnetisch. Allerdings kann dieser Effekt nur im Nanobereich genutzt werden.“

Für die Speicher von morgen kann gerade das aber ein Segen sein. Denn die magnetischen Wechselwirkungen, die ohne Ladungstransfer stattfinden, haben einen Vorteil. Ohne ohmsche Wärme sinkt der Energiebedarf und die problematische Erhitzung wird vermieden.

### Arbeitsspeicher mit Langzeitgedächtnis

Tatsächlich gibt es bereits heute Speicherelemente, die spinpolarisierte Ströme nutzen, und die verwandeln ganz nebenbei das Kurzzeitgedächtnis eines Computers in ein Langzeitgedächtnis. Informationen für die nächsten Arbeitsschritte zwischenspeichern, ist die Aufgabe des Random Access Memory, kurz RAM. Stand der Technik sind Halbleiterspeicher auf Siliziumbasis. Sie lesen und schreiben Daten überragend schnell, können sie jedoch ohne Energie nicht konservieren. Nicht-flüchtige Halbleiterspeicher wie USB-Sticks können RAMs in Puncto Geschwindigkeit hingegen nicht das Wasser reichen. Außerdem werden sie bei jedem Löschvorgang ein klein wenig beschädigt.

Eine Kombination beider Technologien mit den jeweiligen Vorzügen wäre ein großer Schritt. Und tatsächlich wurde er bereits gegangen. Magnetoresistive Random Access Memory, kurz MRAM, heißt eine Technologie, die Daten nicht elektrisch, sondern magnetisch speichert und dabei auch auf spin-



Am Magnetometer können die Forscher das magnetische Schaltverhalten der beschichteten Silizium-Waferstücke genau analysieren. Quelle: A. Wirsig



Die Dresdner Forscher arbeiten an neuartigen magnetischen Funktionsmaterialien. Auf Silizium-Waferstücke bringen sie dafür dünne Schichten von Metallen auf. Durch unterschiedliche Schichtabfolgen entstehen so verschiedene magnetische Funktionalitäten. Quelle: A. Wirsig

polarisierte Ströme setzt. MRAM-Module sind beliebig oft beschreib- und löschar, dabei genauso schnell wie moderner RAM, aber eben nicht flüchtig. In den schichtweise aufgebauten Speichermodulen wechseln sich wenige Nanometer dicke, magnetische Schichten mit noch dünneren, nicht-magnetischen Schichten ab. MRAM-Module sind heute bereits erhältlich. Allerdings schränkt ihr hoher Preis die Anwendungsgebiete stark ein. Eingesetzt werden sie zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt, als Datenpuffer in Serversystemen oder für Industrieanlagen, bei denen der Datenverlust durch Stromausfall schwerer wiegt als Extrakosten für den Speicher.

Ein Punkt, den sich übrigens alle neuen Speichertechnologien teilen: „Ich glaube nicht, dass irgendeine neue Technologie alles bisher Etablierte vom Tisch fegen wird“, meint Hellwig. „Neben der technischen Machbarkeit sind vor allem die Kosten ausschlaggebend dafür, ob, wie schnell und wie nachhaltig sich eine neue Technologie durchsetzen kann.“ Aus eigener Erfahrung weiß er, dass sich die Forschung bei den Speicherherstellern vor allem daran orientiert, wie stark sich die Ergebnisse in der Umsatzstatistik niederschlagen. Und auch die Auftragsforschung an vielen Universitäten, so schätzt er ein, ähnele immer öfter einer Produktentwicklung. „Für mich ist das HZDR deshalb etwas ganz Besonderes. Hier können wir uns voll und ganz auf die Grundlagenforschung konzentrieren und damit die Basis für die Speichertechnologie von morgen schaffen.“

### Publikationen:

T.R. Albrecht, H. Arora, V. Ayanoor-Vitikkate, J. Beaujour, D. Bedau, D. Berman, A.L. Bogdanov, Y. Chapuis, J. Cushen, E.E. Dobisz, G. Doerk, H. Gao, M. Grobis, B. Gurney, W. Hanson, O. Hellwig, T. Hirano, J. Lille, P. Jubert, D. Kercher, Z. Liu, C.M. Mate, I. Oboukhov, K.C. Patel, K. Rubin, R. Ruiz, M. Schabes, L. Wan, D. Weller, T. Wu, E. Yang: Bit-patterned magnetic recording: Theory, media fabrication, and recording performance, IEEE Transactions on Magnetics, 2015 (DOI: 10.1109/TMAG.2015.2397880)

B.C. Stipe, T. Strand, C. Poon, H. Balamane, T. Boone, J. Katine, J-L Li, V. Rawat, H. Nemoto, A. Hirotsune, O. Hellwig, R. Ruiz, E. Dobisz, N. Robertson, T. Albrecht, B.D. Terris: Magnetic recording at 1.5 Pb m<sup>-2</sup> using an integrated plasmonic antenna, Nature Photonics, 2010 (DOI: 10.1038/nphoton.2010.90)

### Kontakt

\_Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung am HZDR / TU Chemnitz  
Prof. Olav Hellwig  
o.hellwig@hzdr.de

# Dresdens anderer Dynamo

Im Inneren unseres Planeten umspült eine Schicht aus flüssigem Metall einen festen Eisenkern. Diese Bewegungen lösen einen elektrischen Strom aus, der wiederum das lebenswichtige Erdmagnetfeld, das uns vor dem Sonnenwind schützt, hervorruft. Wie dieser sogenannte Geodynamo genau funktioniert, ist bislang allerdings noch ungeklärt. Mit einem einzigartigen Experiment wollen HZDR-Forscher das Rätsel nun lösen.

— Text: Simon Schmitt/Grafik: Juniks Marketing/Foto: iStock - Yuri\_Arcurs

22 Meter – so tief graben sich sieben Stahlbetonsäulen in den Granit unterhalb der Anlage, die auf den ersten Blick wie ein äußerst futuristisches Teleskop aussieht. Doch die gewaltige Maschine soll nicht die Weiten des Universums enthüllen, sondern genau im Gegenteil dazu einen „Blick“ in das Innenleben der Erde ermöglichen. Denn mit dem Experiment wollen Wissenschaftler des HZDR-Instituts für Fluidynamik die Prozesse, die sich im Planetenkern abspielen, nachstellen, um so eine Theorie zur Entstehung des Erdmagnetfeldes zu testen.

Nach Ansicht zahlreicher Experten könnte die sogenannte Präzession eine entscheidende Rolle spielen, erzählt Frank Stefani, der das Projekt leitet: „Der Begriff beschreibt eine Bewegung, wie sie zum Beispiel ein gekippter, sich drehender Kinderkreisel vollführt. Auch unsere Erde taumelt auf ähnliche Weise durch das Weltall, da ihre Rotationsachse um etwa 23 Grad zur Bahnebene geneigt ist.“ Mit den Versuchen wollen die Dresdner Forscher nachweisen, dass die Präzession als natürlicher Antrieb einer Strömung ausreicht, um ein Magnetfeld zu erzeugen.

Dafür befüllen sie die riesige Stahltrommel, die ein massiver Rahmen in der Mitte der Anlage umschlingt, mit acht Tonnen flüssigem Natrium. „Ähnlich wie flüssiges Eisen leitet flüssiges

Natrium Strom sehr gut und eignet sich deshalb hervorragend für unsere Untersuchungen“, erklärt Stefani. „Die Trommel wird bei den Versuchen um ihre eigene Längsachse rotieren, während sich gleichzeitig ein riesiger Teller, auf dem sie montiert ist, um sich selbst dreht. Dadurch können wir im Natrium eine Präzessionsströmung auslösen, die vergleichbar mit derjenigen der Erde ist.“

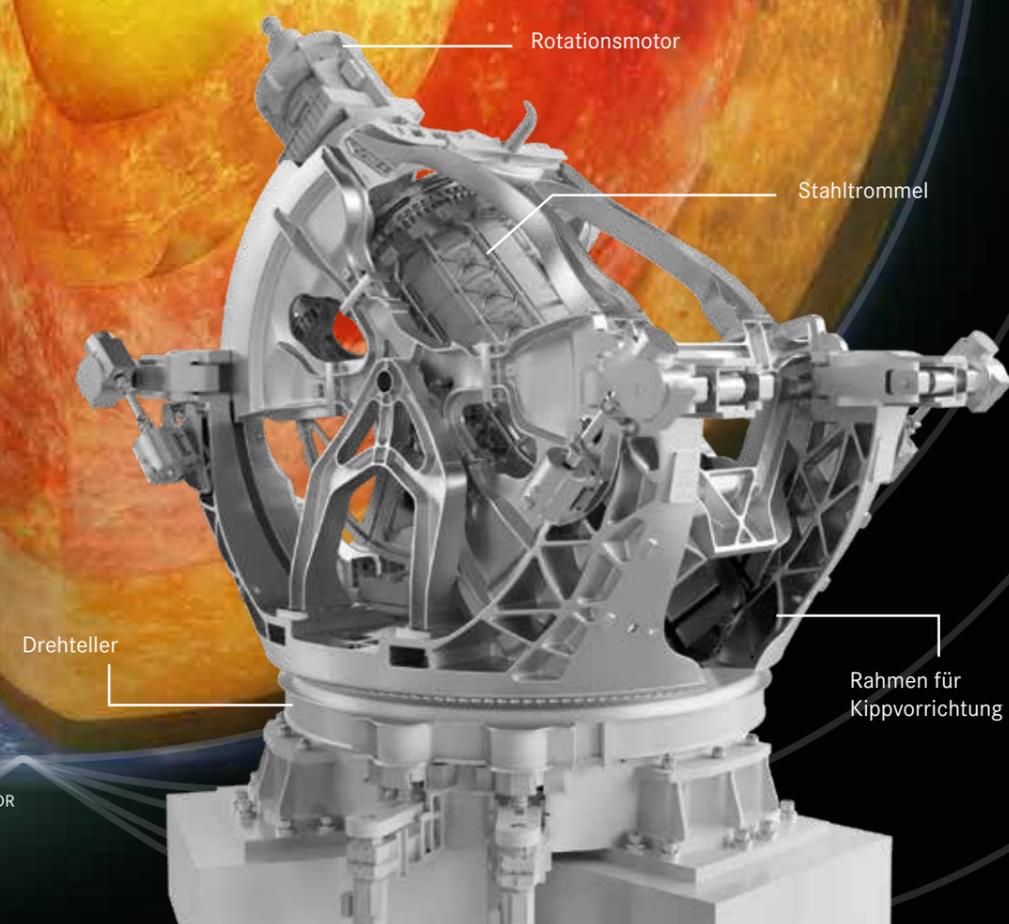
Durch die doppelte Drehung ist die Anlage aber einem extremen Kreiselmoment ausgesetzt, das bis zu acht Millionen Newtonmeter erreichen kann. „Das ist so, als würde der rechte Arm mit 400 Tonnen herauf- und der linke mit 400 Tonnen hinabgezogen“, beschreibt Stefani die Kräfte, die sich bei den Versuchen entfalten werden. „Deswegen benötigen wir das massive Fundament – um sicherzustellen, dass unsere Konstruktion den Belastungen standhält.“ Bis es allerdings so weit ist, wird voraussichtlich noch ein Jahr vergehen. Dann sollen Testläufe mit Wasser zeigen, ob die Mechanik wie erwartet funktioniert. Doch danach könnte Dresdens Dynamo neue Erkenntnisse über ein uraltes Phänomen liefern.

## 2,5 Millionen Euro vom Europäischen Forschungsrat

Die Entstehung des Erdmagnetfeldes ist nur ein Teil der magnetischen Phänomene, die die Dresdner Forscher mit der Experimentierplattform DRESDYN (DREsden Sodium facility for DYNamo and thermohydraulic studies) erkunden. Mit weiteren Versuchsaufbauten wollen sie außerdem herausfinden, wie sich Sterne aus gewaltigen Gasscheiben bilden und wie Strömungen die Funktionsweise neuartiger Flüssigmetall-Batterien beeinflussen. Für alle Experimente nutzen die Forscher flüssiges Natrium. Um diese Untersuchungen zu fördern, hat der Europäische Forschungsrat (European Research Council, ERC) Frank Stefani im April 2018 einen ERC Advanced Grant verliehen. Der Physiker erhält somit in den nächsten fünf Jahren insgesamt rund 2,5 Millionen Euro für seine magneto-hydrodynamischen Studien.



Quelle: D. Müller



### Kontakt

— Institut für Fluidynamik am HZDR  
Dr. Frank Stefani  
f.stefani@hzdr.de



Quelle: istock.com, andrei\_r

# Der lange Weg zum Patienten

Immuntherapien gegen Krebs erleben derzeit einen Hype. Neben ersten Erfolgen bringen sie aber auch erhebliche Kosten und Risiken mit sich. Ein Forscherteam um Michael Bachmann hat Ansätze entwickelt, die beides minimieren sollen. Die ersten Tests an Krebspatienten haben in diesem Jahr begonnen. Ein wichtiger Meilenstein ist erreicht – nach rund dreißig Jahren Forschung mit Erfolgen und Rückschlägen.

Text: Marcus Anhäuser

Wer einen zufriedenen Menschen sehen will, sollte einmal Michael Bachmann besuchen. Der 61-jährige Professor für Translationale Radiopharmakologie an der TU Dresden hat einiges erreicht in seinem wissenschaftlichen Leben. Derzeit ist er geschäftsführender Direktor des Instituts für Radiopharmazeutische Krebsforschung am Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf. Doktorarbeit in Rekordzeit, habilitiert mit 24 Jahren als einer der Jüngsten in Deutschland. Er hat eine ansehnliche Liste von über 800 wissenschaftlichen Publikationen vorzuweisen, verschiedene Preise und Ehrungen erhalten, zuletzt gründete er gar eine Firma mit dem ehemaligen Direktor der Hämatologie am Universitätsklinikum Dresden, Gerhard Ehninger.

Doch das, was Bachmann vor allem glücklich macht, ist die Erfüllung eines Traums: „Dass etwas von den wissenschaftlichen Ideen, die man mal hatte, bei Patienten ankommt.“ Das sei für ihn, einem Experten für die „Entstehung, Therapie und Diagnostik von Tumor- und Autoimmunerkrankungen“ sogar mehr als Zufriedenheit: „Das ist sicherlich der Wunsch eines jeden Wissenschaftlers.“ Es handelt sich dabei um den nächsten großen Schritt in der Entwicklung einer Krebstherapie: der Sprung aus den Laboren in den klinischen Bereich.

Die Forschung von Bachmann und seinen Kolleginnen und Kollegen hat das Stadium erreicht, in dem sie den Schritt hin zum Patienten wagen: „Im Juni haben wir begonnen, unseren

allerersten Patienten mit einer hier entwickelten Therapie gegen eine Form der Leukämie zu behandeln“, erzählt Bachmann. In einer zweiten Studie werden wahrscheinlich ab Ende des Jahres Patienten mit einem Prostatatumor erstmals mit einem ähnlichen, ebenfalls in Dresden entwickelten Medikament therapiert.

## Tumore erkennbar machen

Beide Ansätze sind Varianten und Weiterentwicklungen der in den letzten Jahren mit zunehmendem Erfolg eingesetzten Immuntherapien. Bei diesen wird das Immunsystem des Erkrankten mit Hilfe molekularbiologischer und zuletzt auch gentechnischer Methoden gezielt unterstützt, den Krebs zu bekämpfen. Denn das Immunsystem hat Probleme mit Tumoren: Krebszellen sind schlecht von gesundem, eigenem Gewebe zu unterscheiden, da sie kein fremder Eindringling sind, wie etwa Bakterien oder Viren. Immuntherapien helfen dem Immunsystem genau dabei: Krebszellen als Feind zu erkennen und zu bekämpfen.

Für die Therapiemethoden der Dresdner stehen zwei Begriffe, wahre Zungenbrecher, die für Laien äußerst kryptisch klingen: bispezifische Antikörper und universelle chimäre Antigenrezeptoren, kurz UniCAR. Dahinter steht auch eine Menge Zeit von den ersten Ideen bis zum fertigen Konzept: „Alles in allem sind das rund dreißig Jahre“, fasst Bachmann zusammen. Und es klingt beinahe so, als wäre es nichts, obwohl ein halbes Leben damit verbunden ist. Und in dem es nie Garantien gab, dass es klappen könnte. Der Weg bis zum Patienten, die Entwicklung eines neuen Ansatzes zur Behandlung schwerster Erkrankungen wie Krebs ist in den seltensten Fällen von Erfolg gekrönt.

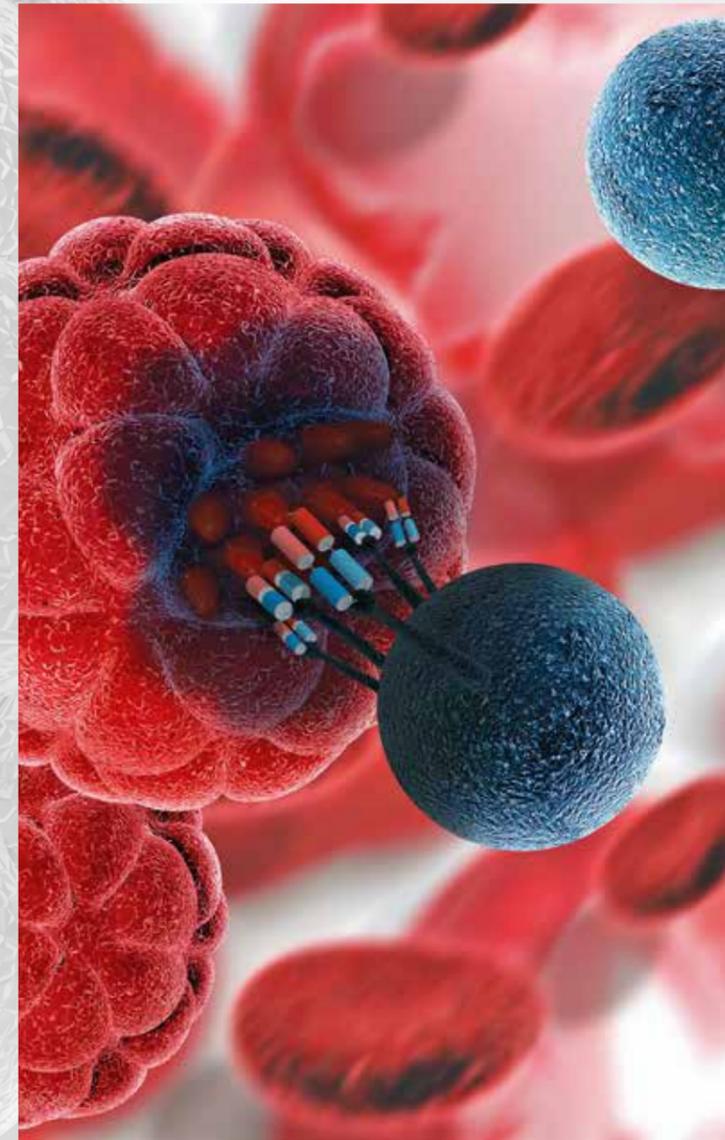
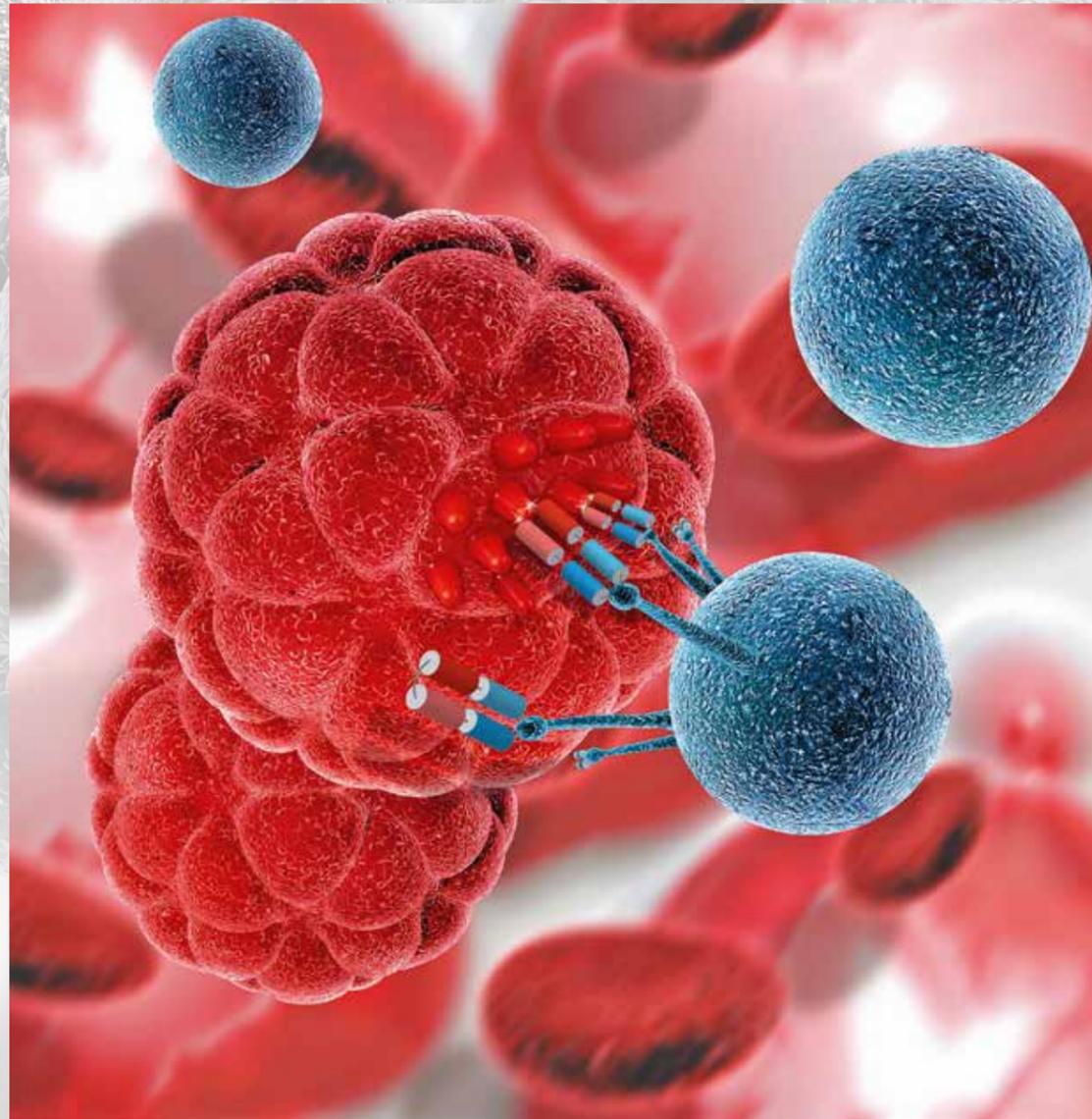
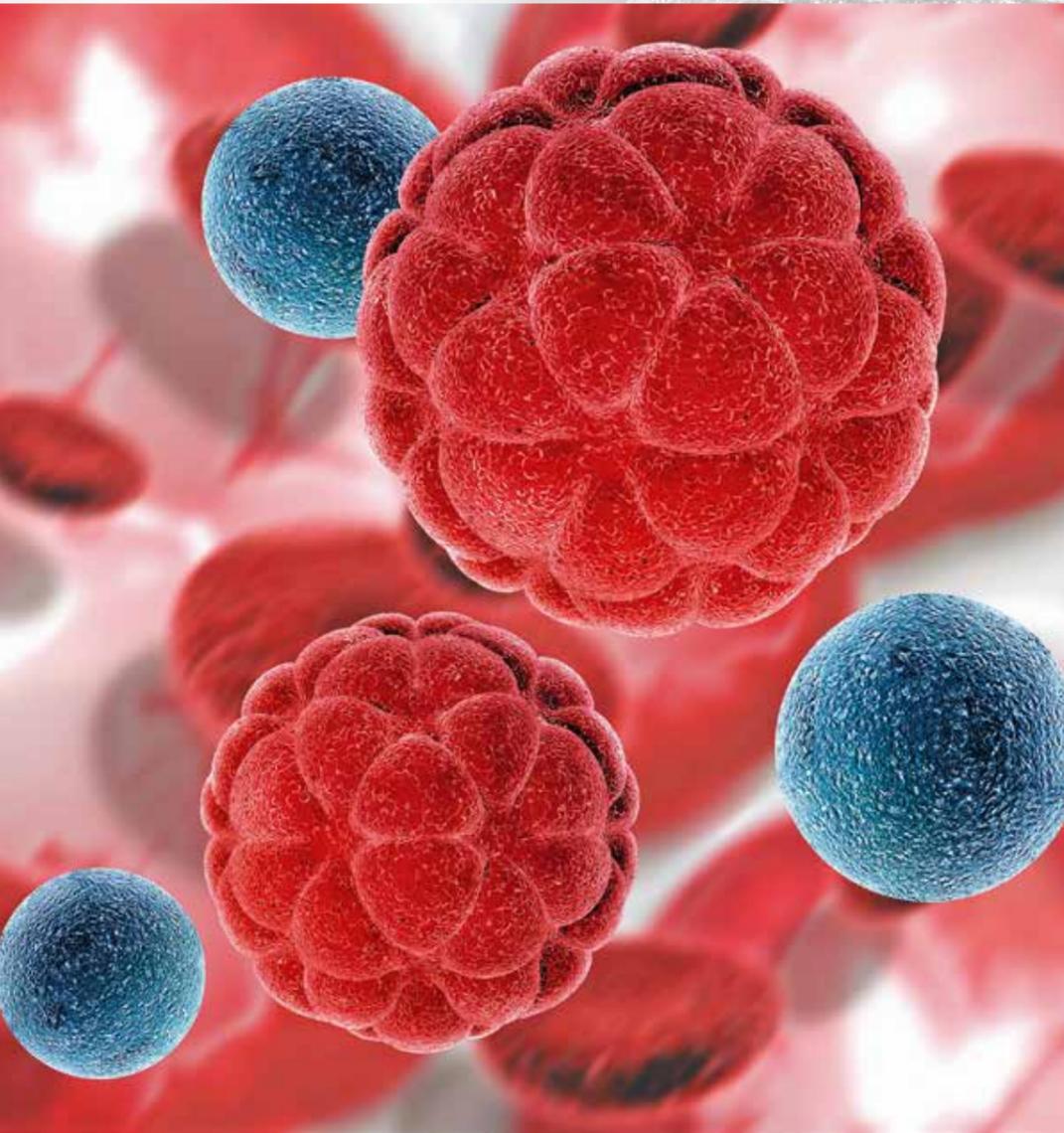
Doch Bachmann hat diese Erkenntnis, wie Medizin und Naturwissenschaft funktionieren, verinnerlicht, fast zu einem Mantra erhoben: „Meistens ist es ja so: ein kleiner Schritt vorwärts, zehn Schritte wieder zurück, verbunden mit sehr viel Frust. 95 Prozent Misserfolg.“ Die Kunst sei, von den restlichen fünf Prozent so fasziniert zu sein, dass es das ganze Leben hält.

Am Anfang dieser Entwicklung stand ein Gedanke des bekannten Mediziners Paul Ehrlich: „Unser Immunsystem sollte in der Lage sein, Tumore zu erkennen.“ Nur dass sich Tumore und körpereigenes Gewebe sehr, sehr ähnlich sind. Daher hat das Immunsystem Schwierigkeiten, die beiden zu unterscheiden. Doch es gibt einen Bereich, bei dem man vom Immunsystem vielleicht lernen kann, so Bachmann, gerade dann, wenn es eigentlich nicht richtig funktioniert: Systemische Autoimmunerkrankungen wie *Lupus Erythematosus* oder *Rheumatoide Arthritis*, bei denen sich unser Immunsystem gegen den eigenen Körper wendet. „Die Idee war: Wenn man versteht, wie diese Autoimmunerkrankungen funktionieren, wie diese autoimmunen Reaktionen entstehen können, dann kann man vielleicht diese Mechanismen nutzen, um einem intakten Immunsystem zu helfen, die sehr nahe verwandten Tumorgewebe zu erkennen und somit anzugreifen.“

Forschungsobjekt Bachmanns und seiner Kollegen, ob in den Neunzigern in Mainz, in Oklahoma City um die Jahrtausendwende oder seit 2002 in Dresden, war in all den Jahrzehnten eine zentrale Klasse immunologischer Moleküle: Antikörper. Sie sind die Späher und Wächter des Immunsystems. Sie erkennen und markieren die Krankheitserreger, indem sie an bestimmten Rezeptoren – dem Antigen – andocken. Diese Verbindung macht dann zum Beispiel den Erreger „schmackhaft“ für Fresszellen, die ihn sich einverleiben und verdauen. >

Stefanie Koristka vom Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung bereitet eine Tumorzellkultur für die Untersuchungen vor. Quelle: F. Bierstedt





Alle Zellen in unserem Körper tragen auf ihrer Oberfläche Eiweißmoleküle. Das Immunsystem kann über diese Strukturen erkennen, was im Inneren der Zellen passiert. Bei Krebserkrankungen versagen die Abwehrkräfte jedoch meist, da sich die Moleküle nur geringfügig von gesunden Strukturen unterscheiden.

Bispezifische Antikörper sollen dem Immunsystem auf die Sprünge helfen. Diese künstlich hergestellten Proteine docken an speziellen Strukturen auf der Oberfläche der Immunzellen an. Das andere Ende des Antikörpers bindet wiederum an die Krebszellen und lenkt so die bis dahin untätigen Abwehrkräfte gezielt zum Tumor.

Über die Verbindung, die der Antikörper baut, gelangen Giftstoffe aus der Immun- in die Krebszelle, wodurch sie zerstört wird. Quelle: HZDR / Sahneweiß / Kjpargeter, Freepik (alle Abbildungen)

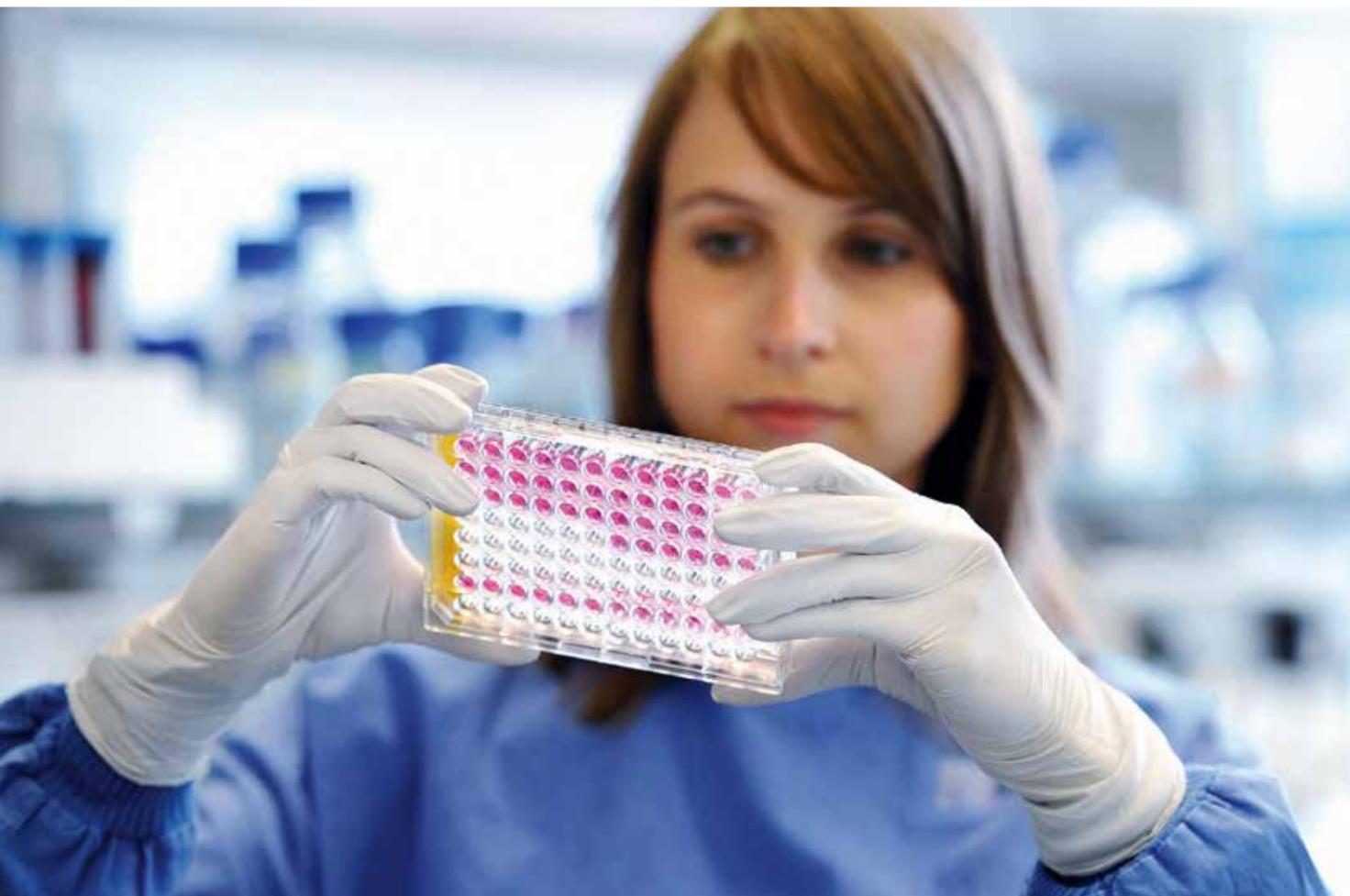
### Euphorie und Ernüchterung

Bachmann und seinen Kollegen in Mainz gelang es schon sehr früh, erste monoklonale Antikörper herzustellen. Eine Technologie, die in den 1970er Jahren Georges Köhler entwickelt hatte und für die er 1984 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurde. Das sind sozusagen Antikörper aus der Retorte. Die Hoffnung in der Forschungsgemeinde war schon damals, sie gezielt gegen Krankheiten einzusetzen. Doch nach einer Phase erster Euphorie setzte Ernüchterung ein. Waren diese „künstlichen“ Antikörper schon als „Magic Bullets“ gehandelt und gepriesen worden, zeigte sich alsbald, dass der Jubel verfrüht kam.

Die magischen Kugeln erwiesen sich als Gummigeschosse, die nur in wenigen Fällen Wirksamkeit gegen Tumoren entfalteten: „Das sind eben murine Antikörper, das heißt sie werden in Mäusen hergestellt. Und uns Forschern war nicht wirklich klar, was das für die Wirksamkeit im Menschen bedeuten würde“, erinnert sich Bachmann. Die Antikörper binden zwar an Strukturen auf der Zielzelle, aber die Verbindung zur Immunzelle klappt nur schlecht oder gar nicht. Die gewünschte Immunreaktion fällt ganz oder viel schwächer aus als gedacht, teilweise griff das Immunsystem die Antikörper an, weil es sie als Fremdkörper betrachtet hat.

Doch Rückschläge sind in der Wissenschaft immer eben auch Herausforderungen und so entstand erstmals die Idee, nicht nur das eine Ende des Antikörpers gezielt herzustellen, sondern auch die Effektorseite, also die Seite, die sich mit der Immunzelle verbindet. Dieser Rezeptor wurde daher mit einem zweiten Antikörper gebildet, der dann ebenso passgenau binden konnte, wie der Antikörper auf der Zielseite. Der Antikörper war bispezifisch, zweifach spezifisch, geworden. Anfangs wurden hierzu zwei Antikörper durch eine chemische Reaktion gekuppelt.

Aber diese Bindung führte zu neuen Problemen. Es ließ sich nicht steuern, an welcher Stelle die chemische Verknüpfung zwischen den Molekülen auftrat. Die Forscher erhielten eine Mischung von Tausenden verschiedenster Substanzen mit und ohne Wirkung, mal mehr, mal weniger. Es war kaum vorherzusagen. „So etwas funktioniert dann natürlich nicht, vor allem würde man es bei keiner Zulassungsbehörde durchbekommen“, erzählt Bachmann. „Aber ein Proof-of-Concept, dass man solche bispezifischen Antikörper herstellen kann, war das schon.“



Die Charakterisierung und Herstellung von Antikörpern für die Krebsforschung ist eine Spezialität für HZDR-Forscherinnen, wie Claudia Arndt. Quelle: F. Bierstedt

### Die Chuzpe eines Doktoranden

Im Laufe der Jahre entwickelte Bachmann einen ganzen Zoo von Antikörpern und erweiterte sein Verständnis von den Mechanismen dieser wichtigen Moleküle, sowohl der Antikörper wie auch der Auto-Antikörper, die bei Autoimmunerkrankungen im Spiel waren. Dieses Arsenal konnte er dann, als er an die Immunologie der TU Dresden wechselte, mit dem Antikörperensemble des damaligen Leiters Ernst Peter Rieber zu einem beeindruckend großen Katalog zusammenfügen. „Damit war der Grundstein gelegt, um Antikörper mit den gewünschten zwei Spezifitäten herstellen zu können“, sagt Bachmann. Erleichtert wurde das auch, weil inzwischen das Spektrum an molekularbiologischen Techniken viel größer war als noch in den Neunziger Jahren. Und als dann noch ein Doktorand die Chuzpe besaß, einen solchen bispezifischen Antikörper im Zeitrahmen seiner Dissertation zu entwickeln, war dies der Start, in der Dresdner Immunologie die Baukasten-Antikörper in Serie zu entwickeln.

Aber natürlich war auch dies keine reine Erfolgsgeschichte. Enttäuschungen gab es in schöner Regelmäßigkeit. Die Entwicklung bispezifischer Antikörper war vor allem in den Anfangsjahren eine langwierige Angelegenheit, es dauerte immer gleich mehrere Jahre von der Idee bis zum fertigen Molekül, selbst wenn der Antikörper schon existierte, um alles zusammenzubauen, erzählt Bachmann: „Man wusste am Anfang nie, ob am Schluss etwas Funktionelles dabei herauskommt. Wir haben erlebt, dass man nach zwei oder drei Jahren Entwicklung an einem Punkt war, an dem der bispezifische Antikörper prinzipiell hätte funktionieren sollen – es dann aber in der Praxis nicht tat.“ Ein Problem, das auch heute immer wieder auftreten kann, nur dass die Entwicklungszyklen dank verbesserter Methoden und angesammeltem Wissen weitaus kürzer sind.

Die Unsicherheiten in den Anfangsjahren wurmte die Forscher um Bachmann und sie begannen darüber nachzudenken, wie sie mehr Kontrolle über die Entwicklung ihrer Antikörper bekommen. Das führte letztlich zu einer besonderen Erweiterung einer der derzeit am meisten gehypten Krebs-Immuntherapien, der CAR-Technologie. Dabei werden nicht die Antikörper, sondern T-Zellen, also weiße Blutzellen des Immunsystems, mit artifiziellen Rezeptoren ausgestattet, sodass sie Tumorzellen

erkennen können, an sie andocken und damit ihre Zerstörung einleiten. Bei einzelnen Krebsarten wurden schon beeindruckende Ergebnisse berichtet. Doch der Erfolg ist auch mit enormen Kosten verbunden und der Ansatz birgt einige, teils erhebliche Gefahren.

### Ein Hype mit Kosten und Risiken

Bachmann war schon vor zehn, fünfzehn Jahren skeptisch – trotz der aktuellen Euphorie ist er es auch heute noch: „Mir war klar, dass die Technik so nicht uneingeschränkt einsetzbar sein würde, weil sie nicht sicher genug ist. Wenn man solche manipulierten Zellen in Patienten transferiert, dann sind die drin. Und ich kann ihr Verhalten nicht steuern, ich kann sie nicht ein- oder ausschalten. Das ist nicht ideal, um es mal vorsichtig auszudrücken.“ Wenn etwas schiefgeht im Körper des Patienten, kann es zu verheerenden Nebenwirkungen kommen, bis hin zum Tod. „Dieses Risiko erschien mir persönlich einfach immer zu groß“, sagt der Pharmazeut und Immunologe. Außerdem müsse man in der Lage sein, den Therapieverlauf sichtbar zu machen. Die Technologien dafür zählen zu den Spezialitäten des HZDR, denn hier werden die notwendigen radioaktiv markierten Moleküle, so genannte Tracer, selbst entwickelt, was weltweit nur an wenigen Instituten der Fall ist. Folgerichtig wechselte Bachmann vor rund sechs Jahren an das HZDR-Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung.

Um die Kontrolle über die modifizierten T-Zellen zu gewinnen, haben die Dresdner Forscher schon frühzeitig versucht, steuerbare CARs zu entwickeln, die sie als UniCARs bezeichneten. Das ist ein System – die Forscher sprechen von einer Plattform –, bei dem T-Zellen nicht direkt die Tumorzelle erkennen wie bei CARs, sondern ein universelles Bindeglied, ein Peptid. Und dieses bindet an einen Antikörper, das Zielmodul, der wiederum an die Tumorzelle andockt. Also eigentlich eine Kombination aus bispezifischem Antikörper und CAR-Technologie. Und da schließt sich auch der Kreis in Bachmanns Forschung zu dem Gedanken aus der Zeit seiner Habilitation. Denn das universelle Bindeglied hat Elemente, die er und seine Kollegen aus der Erforschung der Autoimmunerkrankungen kannten. Dank dieses Bindeglieds können sie schließlich die Aktivität von UniCAR-T-Zellen therapeutisch steuern, und „das Medikament“ gegebenenfalls auch ein- und ausschalten. Durch Kupplung an geeignete Radionuklide lässt sich zudem gleichzeitig der Tumor im Patienten sichtbar machen.

Ob dies alles nun zu einer erfolgreichen Therapie führen wird, ist zurzeit noch ungewiss. Denn das wird sich erst bei der Behandlung erster Patienten erweisen: „Natürlich sind wir vom Erfolg der Therapie überzeugt. Aber auch wenn es nicht so wäre – diesen Punkt zu erreichen, das ist schon ein großer Etappensieg“, fasst er zusammen. Die Tests an Patienten werden voraussichtlich Ende des Jahres beginnen. Diese ersten Untersuchungen sind das, was Kliniker eine Phase-1-Studie nennen. Es folgen zwei weitere Stadien mit zunehmend mehr Patienten. Erst wenn diese erfolgreich abgeschlossen sind, erteilen Behörden einer Arznei die Zulassung.

Wie man sieht, gehen viele Jahre ins Land, bis aus den Ideen, Erfolgen und Niederlagen tatsächlich ein Medikament geworden ist, das Menschen zuverlässig helfen kann. Bis zu seiner

Zulassung als Medikament wird Bachmann eventuell schon emeritiert sein. Trotzdem blickt er optimistisch in die Zukunft: „Es freut mich einfach, dass wir diesen Punkt erreicht haben und wir die Möglichkeit geschaffen haben, dass andere, falls nötig, vielleicht das Ganze noch besser machen können.“

### Publikationen:

A. Krackhardt, B. Anliker, M. Hildebrandt, M.P. Bachmann, S.B. Eichmüller, D. Nettelbeck, M. Renner, L. Uharek, G. Willimsky, M. Schmitt, W.S. Wels, M. Schüssler-Lenz: Clinical translation and regulatory aspects of CAR/TCR-based adoptive cell therapies – the German Cancer Consortium approach, *Cancer Immunology, Immunotherapy*, 2018 (DOI: 10.1007/s00262-018-2119-y)

R. Aliperta, P.B. Welzel, R. Bergmann, U. Freudenberg, N. Berndt, A. Feldmann, C. Arndt, S. Koristka, M. Stanzone, M. Cartellieri, A. Ehninger, G. Ehninger, C. Werner, J. Pietzsch, J. Steinbach, M. Bornhauser, M.P. Bachmann: Cryogel-supported stem cell factory for customized sustained release of bispecific antibodies for cancer immunotherapy, *Scientific Reports*, 2017 (DOI: 10.1038/srep42855)

M. Cartellieri, A. Feldmann, S. Koristka, C. Arndt, S. Loff, A. Ehninger, M. von Bonin, E.P. Bejestani, G. Ehninger, M.P. Bachmann: Switching CAR T cells on and off: a novel modular platform for retargeting of T cells to AML blasts, *Blood Cancer Journal*, 2016 (DOI: 10.1038/bcj.2016.61)

R. Aliperta, M. Cartellieri, A. Feldmann, C. Arndt, S. Koristka, I. Michalk, M. von Bonin, A. Ehninger, J. Bachmann, G. Ehninger, M. Bornhäuser, M.P. Bachmann: Bispecific antibody releasing-mesenchymal stromal cell machinery for retargeting T cells towards acute myeloid leukemia blasts. *Blood Cancer Journal*, 2015 (DOI: 10.1038/bcj.2015.73)

### Kontakt

„Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung am HZDR / Universitätsklinikum Carl Gustav Carus / TU Dresden  
Prof. Michael Bachmann  
m.bachmann@hzdr.de

# Per Laserschuss in die Sterne blicken

Was spielt sich im Inneren von Planeten ab? Was passiert in der Kruste eines Sterns? Um Fragen wie diese zu beantworten, erzeugt Katerina Falk mit ultrastarken Lasern einen ungewöhnlichen Materiezustand. Seit März leitet die junge Physikerin am HZDR eine eigene Nachwuchsgruppe.

Text: Frank Grotelüsch

Das Labor, das Katerina Falk nutzt, ist gar nicht mal so klein, dennoch geht es ziemlich eng zu: In der Raummitte steht ein wuchtiges Vakuumgefäß, an dem sich die Physikerin vorbeizwängen muss. Dann blickt sie ins Innere des Edelstahlgehäuses und zeigt auf einen speziellen Spiegel: „Er bündelt einen starken Laserstrahl, der einen Durchmesser von mehreren Zentimetern besitzt, auf einen mikrometerkleinen Fleck“, erklärt sie. „Damit können wir einen besonderen Materiezustand erzeugen und beobachten – die warme dichte Materie.“

„Will man eine fliegende Geschwindigkeit fotografieren, braucht man eine Hochgeschwindigkeitskamera mit extrem kurzen Verschlusszeiten“, erläutert Falk. „Das ist bei unseren Experimenten ganz ähnlich: Die Laserpulse, mit denen wir unsere Proben beleuchten, sind nur 30 Femtosekunden lang. Das braucht man, um die extrem schnellen Prozesse innerhalb der warmen dichten Materie beobachten zu können.“

## Warme dichte Materie – dicht wie ein Metall, aber gleichzeitig so heiß, dass sie ionisiert ist.

Das Labor in Dresden ist die neue wissenschaftliche Heimat von Katerina Falk: Seit März 2018 leitet die Tschechin am HZDR eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe. Ihr Forschungsfeld: ein Materiezustand, der lediglich unter Extrembedingungen existieren kann – bei Drücken und Temperaturen, wie sie im Inneren von Planeten oder in der Kruste eines Sterns herrschen. „Warme dichte Materie kann man sich vorstellen wie einen Ziegelstein aus heißem Blei“, beschreibt Falk. „Diese Materie ist ähnlich dicht gepackt wie in einem Kristall, aber fast so energiereich wie ein Plasma, also eine elektrisch geladene, extrem heiße Flüssigkeit.“

Indem man warme dichte Materie im Labor erzeugt, lässt sich das Innenleben von Planeten und Sternen regelrecht simulieren. Dafür braucht es große Laseranlagen, die ultrastarke Lichtpulse auf Materialproben feuern. Die Blitze erhitzen und komprimieren die Proben so stark, dass sie warm und dicht werden – wenn auch nur für Sekundenbruchteile. Während dieser winzigen Zeitspanne versucht eine hochraffinierte Messtechnik, möglichst viele Informationen über die exotische Materieform zu sammeln.

### Aus den USA zurück nach Europa

Ihr heutiges Forschungsfeld wählte sie sich bereits als Schülerin. „Mit 16 oder 17 las ich ein Buch des deutschen Astrophysikers Rudolf Kippenhahn über den Aufbau der Sonne. Da dachte ich mir: Das ist toll – das will ich machen.“ Falk entschied sich für ein Physikstudium in London und promovierte an der Universität Oxford. In ihrer Doktorarbeit beschäftigte sie sich mit den damals größten Laseranlagen der Welt. Unter anderem sollen Kolosse wie die „National Ignition Facility“ (NIF) in Kalifornien zeigen, dass man gefrorene Kügelchen aus schwerem und überschwerem Wasserstoff mit Hilfe von Laserlicht zur Kernfusion bringen kann – eine potentielle Energiequelle für die Menschheit.

„Auf dem Weg zur Implosion durchläuft der Brennstoff den Zustand der warmen dichten Materie“, erläutert Katerina Falk. „Ich habe in meiner Doktorarbeit herausgefunden, dass sich der schwere Wasserstoff nicht so stark komprimieren lässt wie ursprünglich erhofft.“ Für die US-Wissenschaftler ein eher ernüchterndes Ergebnis – trotzdem boten sie der Physikerin



Katerina Falk leitet eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe am HZDR. Quelle: A. Wirsig

einen Arbeitsplatz im staatlichen Forschungszentrum Los Alamos an. Dort blieb sie knapp drei Jahre, um sich dann zurück nach Europa zu orientieren.

„In Los Alamos hätte ich mich irgendwann auch mit der Entwicklung von Kernwaffen befassen müssen“, erzählt Falk. „Doch das wollte ich nicht, ich bin mit Grundlagenforschung und Astrophysik viel glücklicher.“ Also ging sie nach Prag, um dort im europäischen Projekt ELI (Extreme Light Infrastructure) beim Aufbau eines neuen Superlasers zu helfen. Dann bot sich die Möglichkeit, mitsamt schwedischem Ehemann und kleiner Tochter nach Dresden zu ziehen, um hier ein eigenes Team aufzubauen. „Der perfekte Ort zur richtigen Zeit für eine junge Physikerin wie mich“, schwärmt Katerina Falk. „Ich habe hier viele Freiheiten, kann Lehrveranstaltungen an der TU Dresden ausrichten und die Forschungsbedingungen sind exzellent.“

### Starke Pulse für kleine Proben

Damit meint sie vor allem den Hochleistungslaser DRACO. Mit seinen ultrakurzen und enorm starken Pulsen kann er warme dichte Materie sowohl erzeugen als auch beobachten. Mit der

Anlage will Falks Arbeitsgruppe in den kommenden Jahren herausfinden, wie gut der seltsame Materiezustand Strom leitet und wie sich Strahlung in ihm ausbreitet. „Indem wir solche Transportphänomene untersuchen, können wir zum Beispiel besser verstehen, wie das Innere von Planeten aufgebaut ist.“

Besitzt ein Gasriese wie Jupiter einen festen Kern? Wie könnte ein Planet wie Neptun ein Magnetfeld erzeugen? Was geschieht bei der Entwicklung von Sternen und wie spielt sich eine Supernova-Explosion ab? Nützlich sein könnte ein tieferes Verständnis der warmen dichten Materie auch für die Laserfusion. „Wenn ultrastarke Laserstrahlen die gefrorenen Brennstoffkügelchen komprimieren und erhitzen, nehmen sie zwangsläufig diesen Materiezustand an“, erklärt Falk. „Also muss man ihn möglichst genau verstehen, um die Kernverschmelzung zu erreichen.“

Neben der Arbeit am heimischen DRACO plant die Nachwuchsgruppenleiterin aber auch Ausflüge zu anderen Riesenlasern, darunter PHELIX in Darmstadt, ELI in Prag und European XFEL in Hamburg, an dem das HZDR derzeit die Helmholtz International Beamline for Extreme Fields (HIBEF) aufbaut. Und auch in Dresden wird es bald weiteren Laser-

Nachwuchs geben: Mit PENELOPE entsteht ein Petawatt-Laser, dessen Pulse deutlich mehr Energie besitzen werden als bei DRACO. „Je mehr Laser wir für unsere Experimente nutzen können, umso mehr Größen können wir messen“, freut sich Falk.

Neben ihrer Forschungsarbeit findet sie noch Zeit, ihre Begeisterung für die Astrophysik in die Öffentlichkeit zu tragen: Sie hält Vorträge an Schulen und hat gerade ein populärwissenschaftliches Physikbuch geschrieben. „Ich mag es, spannende Erkenntnisse aus der Wissenschaft weiterzugeben“, sagt Falk – und lacht: „Erst wenn ich es hinkriege, einem fünfjährigen Kind einen komplexen physikalischen Zusammenhang nahezubringen, kann ich mir sicher sein, ihn auch wirklich verstanden zu haben.“

### Publikationen:

K. Falk, M. Holec, C.J. Fontes, C.L. Fryer, C.W. Greeff, H.M. Johns, D.S. Montgomery, D.W. Schmidt, M. Šmíd: Measurement of preheat due to nonlocal electron transport in warm dense matter, in *Physical Review Letters*, 2018 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.120.025002)

┌ Experimente zur warmen dichten Materie könnten auch aufklären, welche Prozesse sich bei einer Supernova-Explosion abspielen. Quelle: NASA/JPL-Caltech └

M. Šmíd, I. Gallardo González, H. Ekerfelt, J. Björklund Svensson, M. Hansson, J.C. Wood, A. Persson, S.P.D. Mangles, O. Lundh, K. Falk: Highly efficient angularly resolving x-ray spectrometer optimized for absorption measurements with collimated sources, in *Review of Scientific Instruments*, 2017 (DOI: 10.1063/1.4986464)

K. Falk, E.J. Gamboa, G. Kagan, D.S. Montgomery, B. Srinivasan, P. Tzeferacos, J.F. Benage: Equation of state measurements of warm dense carbon using laser driven shock-and-release, in *Physical Review Letters*, 2014 (DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.155003) ┌

### Kontakt

┌ Institut für Strahlenphysik am HZDR  
Helmholtz-Nachwuchsgruppe „Development of novel laser wakefield sources for plasma physics“  
Dr. Katerina Falk  
k.falk@hzdr.de



Quelle: A. Wirsig

**GEFÖRDERT**

## Gemeinsam voran – national ...

Mit fast 30 Millionen Euro unterstützt die Helmholtz-Gemeinschaft die Forschungsplattform ATHENA („Accelerator Technology HEImholtz iNfrAstructure“). In dem Projekt wollen sechs Zentren der größten Forschungsorganisation Deutschlands neue Beschleunigertechnologien entwickeln. Konkret sollen dabei zwei neuartige Anlagen entstehen, die auf plasmabasierter Teilchenbeschleunigung und moderner Lasertechnologie aufbauen: am HZDR ein Hadronen- und am Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY in Hamburg ein Elektronenbeschleuniger. An den Anlagen wollen die beteiligten Forscher verschiedene Einsatzgebiete erschließen, die von kompakten Freie-Elektronen-Laser über medizinische Anwendungen bis zur Kern- und Teilchenphysik reichen. Neben dem HZDR und DESY sind das Forschungszentrum Jülich, das Helmholtz-Zentrum Berlin, das Karlsruher Institut für Technologie und die Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI beteiligt.

## ... und international

Die Helmholtz-Gemeinschaft und die Russian Science Foundation (RSF) haben zwei HZDR-Forschergruppen in ein deutsch-russisches Förderprogramm aufgenommen. Somit erhalten die Teams um Frank Stefani vom Institut für Fluidodynamik und Tino Gottschall vom Hochfeld-Magnetlabor Dresden in den nächsten drei Jahren jeweils insgesamt 390.000 Euro aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Gemeinschaft sowie einen Förderbetrag in gleicher Höhe von der RSF. Gemeinsam mit Partnern aus Perm und Moskau will Stefani Strömungsinstabilitäten untersuchen, die sowohl in neuartigen Flüssigmetall-Batterien, als auch im Sonnenmagnetfeld auftauchen. Tino Gottschall wiederum geht es darum, eine neue Methode zu etablieren, um Gas energieeffizienter zu verflüssigen: die magnetische Kühlung. Dafür will er zusammen mit Forschern aus Darmstadt und Chelyabinsk neuartige magnetische Materialien entwickeln und in hohen Magnetfeldern untersuchen.

**GESTAUNT**

## Wo Roboter tanzen und Bratpfannen schweben

Rund 2.500 Gäste besuchten Anfang Juni den Campus Rossendorf, um am Tag des offenen Labors einen Blick in die Welt moderner Forschung zu werfen. An mehr als 150 Stationen haben Wissenschaftler und Mitarbeiter des HZDR, des VKTA – Strahlenschutz, Analytik und Entsorgung sowie der ROTOP Pharmaka GmbH gezeigt, mit welchen Fragen und Themen sie sich auseinandersetzen. So konnten sich die Besucher über

die komplette Bandbreite der Rossendorfer Forschung informieren: Von stromsparenden, elektronischen Materialien für Speicher- und Computertechnologien über innovative Wege zur Erkundung und Abbau von Rohstoffen, Ansätzen zur sicheren Endlagerung nuklearen Abfalls und einmaligen Konzepten für Teilchenbeschleuniger und Laser bis zur Entwicklung radioaktiver Medikamente für die Krebsbehandlung.



Quelle: F. Zadniecek

**GEWONNEN**

## Publikumsliebling Polizist

Beim Deutschlandfinale des Wettbewerbs für Wissenschaftskommunikation „FameLab“ in Bielefeld hat sich Nicola Mitwasi Mitte Mai den Publikumspreis gesichert. Der Doktorand vom Institut für Radiopharmazeutische Krebsforschung konnte den Zuhörern innerhalb von nur 180 Sekunden vermitteln, wie HZDR-Forscher Immunzellen darauf trainieren, Tumoren zu bekämpfen. Er verglich dafür die körpereigenen Abwehrkräfte mit Polizeistreifen, die über chemische Strukturen direkt zu den erkrankten Zellen geführt werden. „FameLab“ ist eine Veranstaltung des British Council, bei der junge Wissenschaftler aus dem MINT-Bereich und der Medizin ihre Forschung einem Laienpublikum vorstellen.

**GESEHEN**

## Nachhaltige Auszeichnung

Bei den Deauville Green Awards hat der HZDR-Kurzfilm „Nanoelektronik: Hocheffiziente Bauelemente für die Informationstechnologie von morgen“ in der Kategorie „Innovations and Technological Leaps“ Mitte Juni die Auszeichnung in Gold erhalten. In dem Film erläutern Physiker des Forschungszentrums anhand anschaulicher Animationen, wie Spintronik und Magnonik eine neue Art der Informationsverarbeitung ermöglichen könnten. Um genau solch innovative Ansätze geht es bei den Green Awards. Über das Festival, das die Organisation „Un Ecran pour la Planète“ („Ein Bildschirm für den Planeten“) seit 2011 im französischen Deauville abhält, soll die Sichtbarkeit von Kurzfilmen und Dokumentationen, die sich mit den Themen „Nachhaltigkeit“ und „Soziale Gerechtigkeit“ beschäftigen, erhöht werden.

➔ <https://www.youtube.com/user/FZDresden>

## TERMINVORSCHAU

**03.-07.09.2018**

Konferenz „Flatlands beyond Graphene“  
Universität Leipzig | Co-Organisation Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung

**04.09.2018**

Einweihung Zentrum für Radiopharmazeutische Tumorforschung  
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

**24.10.2018 | 19 Uhr**

Vortrag „Zukunft und Tradition Freiburger Aufbereitungsforschung – Vom Forschungsinstitut für Aufbereitung zum Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie“  
Dr. Martin Rudolph | Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie

**30.10.2018**

Eröffnung Neubau Schülerlabor DeltaX  
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

**12.-16.11.2018**

16<sup>th</sup> Multiphase Flow Short Course and Conference  
Institut für Fluidodynamik

**GEJUBELT**

## Über 3.000 m<sup>2</sup> Krebsforschung

Nur elf Monate nach der Grundsteinlegung konnten Mitte April Vertreter aus Politik, Forschung und Industrie das Richtfest für den Neubau des Nationalen Centrums für Tumorerkrankungen (NCT) Dresden feiern. Die Rohbauarbeiten an dem vierstöckigen Gebäude, das ab dem Jahr 2020 auf dem Gelände des Universitätsklinikums Carl Gustav Carus die Erforschung von Krebserkrankungen und die Patientenversorgung unter einem Dach vereinen soll, sind damit abgeschlossen. Der Neubau wird eine innovative Forschungsplattform mit einem Operationsaal der Zukunft ebenso beherbergen wie Laboratorien, Bereiche für Patientenstudien und Räume für medikamentöse Behandlungen. Begegnungsflächen für Ärzte und Wissenschaftler schaffen Raum für interdisziplinären Austausch. Dresden wurde im Jahr 2014 zum Partnerstandort des NCT Heidelberg ernannt.

## IMPRESSUM

### HERAUSGEBER

Prof. Dr. Dr. h. c. Roland Sauerbrey und Dr. Ulrich Breuer,  
Vorstand des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR)

### ERSCHEINUNGSDATUM

August 2018  
ISSN: 2194-5705 // Ausgabe 01.2018

### REDAKTION

Simon Schmitt (Chefredakteur), Dr. Christine Bohnet (v.i.S.d.P.),  
Jana Grämer (Bilder) | Kommunikation und Medien am HZDR

Wissenschaftlicher Redaktionsbeirat (nach Forschungsbereichen):

Energie – Dr. Harald Foerstendorf, Dr. Frank Stefani  
Gesundheit – Dr. Fabian Lohaus, Dr. Holger Stephan  
Materie – Dr. Stefan Facsko, Dr. Andreas Wagner

### AUTOREN DIESER AUSGABE

Marcus Anhäuser | Freier Wissenschaftsjournalist, Dresden  
Dr. Uta Bilow | Freie Wissenschaftsjournalistin, Dresden  
Kai Dürfeld | Freier Wissenschaftsjournalist, Leipzig  
Frank Grotelüschen | Freier Wissenschaftsjournalist, Hamburg

### BILDNACHWEIS

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des HZDR,  
soweit nicht anders angegeben

### 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  
Dr. Christine Bohnet  
Telefon: 0351.2602450  
presse@hzdr.de

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

➤ [www.hzdr.de](http://www.hzdr.de)

Das HZDR auf YouTube und Twitter.

➤ [www.youtube.com/user/FZDresden](https://www.youtube.com/user/FZDresden)

➤ [www.twitter.com/hzdr\\_dresden](https://www.twitter.com/hzdr_dresden)

Das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf verschickt 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](mailto: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.



## Reinigungs- trupp Pilz

Auf den ersten Blick wirkt das Feld wie ein gewöhnlicher  
Kräutergarten, dem es ein wenig an Pflege fehlt. Zwischen  
den verschiedenen Pflanzen wachsen sogar Pilze im Unter-  
grund. Doch wird die scheinbare Idylle gestört durch die weiße  
Schutzkleidung der „Gärtner“. Denn der Boden ist mit radio-  
aktiven Isotopen kontaminiert. Und die Pilze haben sich nicht  
selbst ausgebreitet, sondern wurden gezielt ausgebracht, um  
eine Aufgabe zu erfüllen. Die Myzelien – die fadenförmigen  
Geflechte unterhalb der Fruchtkörper – sollen die strahlenden  
Stoffe aufnehmen und zurückhalten. So könnte ein Sanierungs-  
konzept der Zukunft aussehen – zumindest wenn es nach  
Johannes Raff geht. Der Mikrobiologe vom HZDR-Institut für  
Ressourcenökologie untersucht mit Kollegen der Universitäten  
Jena und Hannover diese Fähigkeiten bei den Pilzen *Schizophyllum  
commune* und *Leucoagaricus naucinus*. Bevor sie aber tatsäch-  
lich in der freien Natur als Bodenreiniger eingesetzt werden  
können, gilt es noch einige Fragen im Labor zu klären. So ist  
schon länger bekannt, dass die Pilze die Schadstoffe aufnehmen  
können. Wie dies genau abläuft, jedoch nicht. Den Forschern  
geht es darum, die molekularen Prozesse – also die Aufnahme  
der Radionuklide in die Zellen – und den Transport innerhalb des  
Organismus zu entschlüsseln. Abhängig von den Ergebnissen  
können die Pilze dann vielleicht eines Tages belastete Böden in  
normale Gärten zurückverwandeln.



Quelle: D. Müller



# Schülerlabor DeltaX

Mehr Möglichkeiten fürs neue Schuljahr:  
HZDR-Schülerlabor DeltaX präsentiert sich in  
größeren Räumen mit neuen Experimenten  
aus Physik, Chemie und Biologie.

[www.hzdr.de/deltaX](http://www.hzdr.de/deltaX)

**HZDR**

 HELMHOLTZ  
ZENTRUM DRESDEN  
ROSSENDORF