forschung

Das Magazin der Deutschen Forschungsgemeinschaft

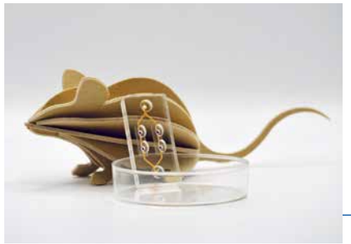
THEMENSERIE
Freiheit, Demokratie und …
Teil 3: … Nachkriegsarchitektur

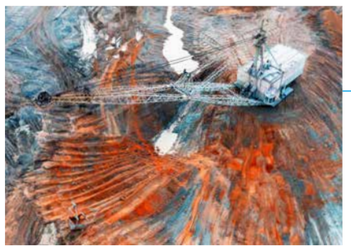
3/2024

Forschungssicherheit und Wissenschaftsfreiheit: Eine Frage der Balance | **Pilzökologie:** Totholz als Lebenselixier | **Ursula M. Händel-Tierschutzpreis:** Erfolgreicher Wandel | **Neue Werkstoffe:** Magnete für die Energiewende | **HAW-Großgeräteaktion:** Türöffner für Forschung | **Ombudsgremium für wissenschaftliche Integrität** | **Forschungsschiffe**

Titel: Baukunst und Werkform 1957, S. 459

Nachkriegsarchitektur: Was zunächst wie eine Spielfilmszene daherkommt, setzt tatsächlich einen Treppenaufgang des gerade renovierten Mannheimer Nationaltheaters der 1950er ins Bild.





Editorial
Katja Becker
Eine Frage der Balance 2
Kooperationen im Spannungsfeld von Forschungssicherheit und Wissenschaftsfreiheit

„Wir brauchen ein Safeguarding“ 4
Washingtoner Round Table bringt deutsche und US-Expert*innen zusammen

Serie: Freiheit, Demokratie und … Nachkriegsarchitektur / Teil 3
Frank Schmitz
(Spiel-)Räume der Demokratie 6
Was der Theater-Neubau über die frühe Bundesrepublik verrät

Lebenswissenschaften
Claus Bässler
Totholz als Lebenselixier 12
Pilzgemeinschaften, Mikroklima und Wald-Ökologie

Im Blickpunkt
Erfolgreicher Wandel 17
20 Jahre Ursula M. Händel-Tierschutzpreis – vier Ausgezeichnete ziehen Bilanz

Ingenieurwissenschaften
Oliver Gutfleisch und Michael Farle
Magnete für die Energiewende 20
Von neuen Werkstoffen und Treibern ressourcenschonender Transformation

Im Fokus
Türöffner für Forschung 26
HAW-Maßnahmen: Auch in Sachen Großgeräte vielfache Impulse

Querschnitt
Nachrichten und Berichte aus der DFG 28
Ombudsgremium für die wissenschaftliche Integrität +++ Zukunftsfähige Forschungsschiffe +++ „Dialog an Deck“: Meinungsbildung im Netz

Fragebogen „Auf den Punkt“ 32
Beantwortet von DFG-Vizepräsidentin Karin Jacobs

Oliver Gutfleisch und Michael Farle

Magnete für die Energiewende

Windräder, E-Autos oder moderne Kühlverfahren – Magnete sind in unzähligen Bereichen des Alltags zu finden und zugleich Schlüsselwerkstoffe für eine erfolgreiche Energietransformation. Wissenschaftler*innen arbeiten daher an neuen magnetischen Materialien, die effizient und zugleich ressourcenschonend sind. Ein Ziel: Der Ersatz oder die drastische Reduktion von kritischen Rohstoffen wie Seltenen Erden oder Kobalt.

Tagebau-Mine zur Gewinnung Seltener Erden, die für effiziente E-Motoren notwendig sind. Der Abbau der Strategiemetalle bringt derzeit wirtschaftliche Abhängigkeiten vom chinesischen Handelsmonopol sowie soziale und ökologische Probleme mit sich.

Foto: Shutterstock

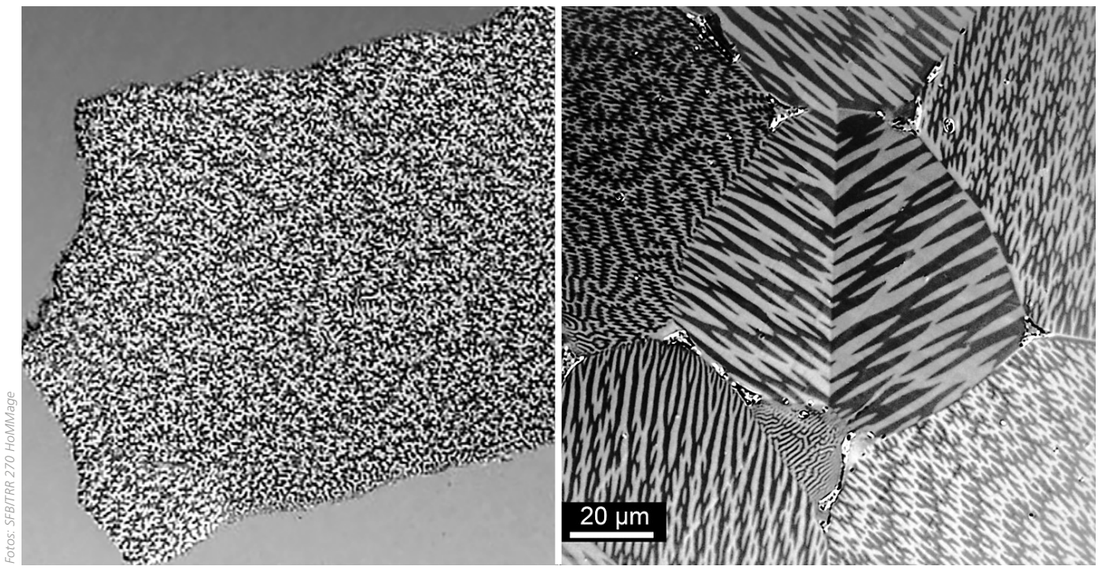
Magnetische Materialien sind vermutlich die am wenigsten öffentlich diskutierten Klimaretter. Tatsächlich sind sie aber unabkömmlich, um in Elektromotoren und Generatoren effizient Energie umzuwandeln. Bei der Nutzung magnetischer Materialien handelt es sich um eine jahrtausendealte Geschichte – vom ersten Einsatz meteoritischen Eisens und der Erfindung des Kompass' in China über den ersten Elektromotor und die Quantenmechanik bis hin zu superstarken Permanentmagneten und Anwendungen des „Elektronen-Spin" in der heutigen Informationstechnologie. Magnetismus war für die Festkörperphysik und Materialforschung schon immer wichtig, ist heute hinsichtlich der Verfügbarkeiten von strategischen Metallen aber auch Teil einer dynamischen globalen Gemengelage – Stichwort Klimawandel, Energietransformation und geopolitische Abhängigkeiten.

Auch wenn die fundamentalen Wechselwirkungen in magnetischen Materialien seit der Entwicklung der Quantenmechanik grundsätzlich bekannt sind, gibt es immer noch eine große Diskrepanz zwischen grundlegenden Untersuchungen auf der atomaren Ebene und Anwendungen im Alltag. Hier setzt der Sonderforschungsbereich/Transregio (SFB/TRR) 270 „HoMMage – Hysterese-Design magnetischer Materialien für effiziente Energieumwandlung" an. Er verbindet eine skalenübergreifende und interdisziplinäre Forschung aus Materialwissenschaft, Physik und Chemie an der TU Darmstadt sowie der Universität Duisburg-Essen.

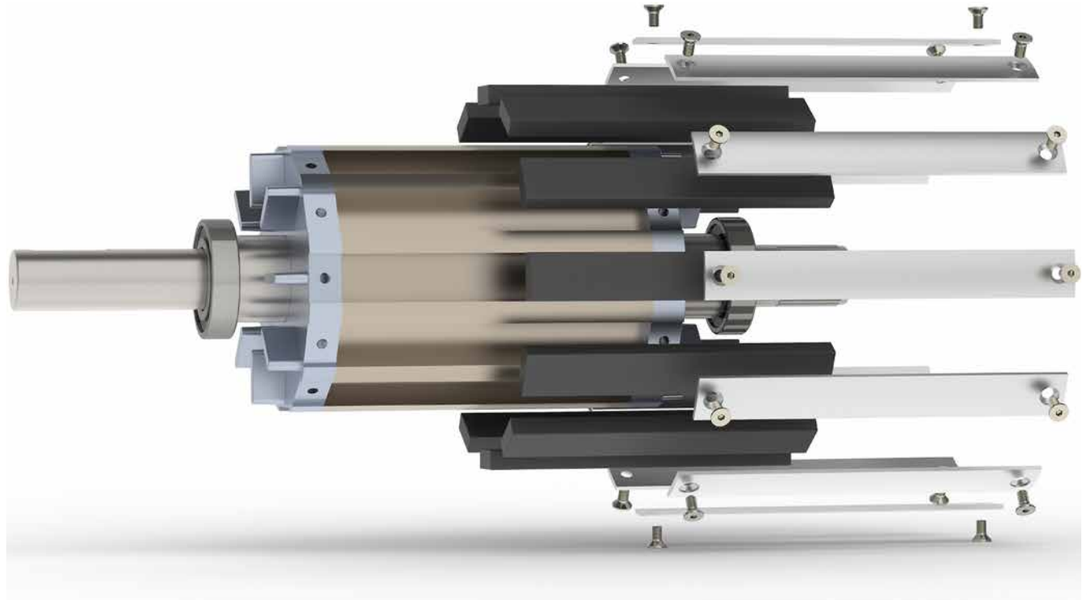
Was es mit dem Namen des SFB auf sich hat? Das aus dem Griechischen stammende *hysteros* bedeutet „hinterher" – im Magnetismus wird damit beschrieben, wie ein Material auf ein von außen angelegtes Magnetfeld reagiert, nämlich indem die Magnetisierung dem Magnetfeld bei dessen „Umkehr" hinterherhinkt. Wird das Magnetfeld aus- oder entgegengesetzt geschaltet, verbleibt eine signifikante Rest-Magnetisierung, die wichtig für die Leistungsfähigkeit des Magneten ist. Die vollständige Hystereseschleife ist das Herzstück jedes magnetischen Materials und ein Maß für den Energieinhalt eines Permanentmagneten.

Magnete unterschiedlicher Art sind in unserer Gesellschaft allgegenwärtig; jeder von uns verwendet Dutzende im täglichen Leben. Sie sind Schlüsselkomponenten in der Elektromobilität, Datenspeicherung und Kommunikation, Unterhaltungselektronik und Medizintechnik. Wir finden sie in Haushalts- und Elektrogeräten, in Kreditkarten, sogar in Spielzeug. Magnete bieten eine Perspektive für hocheffiziente, schnelle und miniaturisierte Geräte, die häufig aufgrund ihrer CO_2-Neutralität noch dazu nachhaltig sind.

Magnetische Domänen sichtbar gemacht: Prozesse der Ummagnetisierung in Magnetmaterialien und der Einfluss von Defekten können direkt experimentell dargestellt werden.



Fotos: SFB/TRR 270 HoMMage



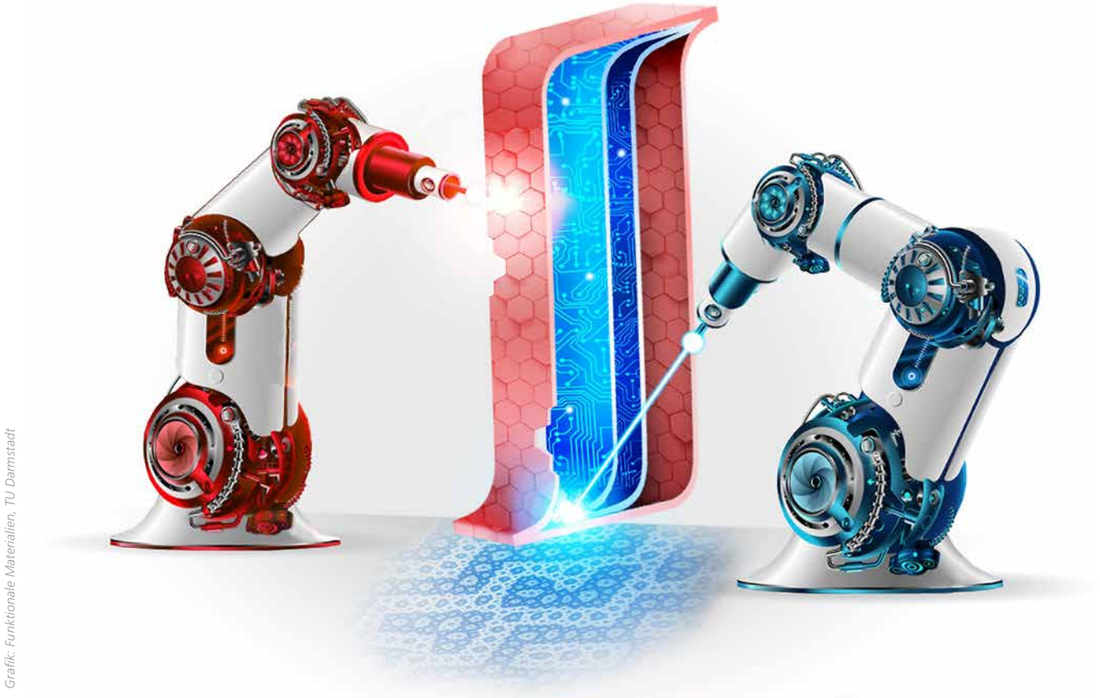
Grafik: Shutterstock

Magnete sind unabkömmlich, um mit Elektromotoren und Generatoren effizient Energie zu wandeln. So sieht beispielsweise ein Dauermagnet-bestückter Rotor für Generatoren aus.

Aber auch für die Verkehrs- und Energiewende spielen Magnete eine Rolle – so kommen in E-Fahrzeugen und Windturbinen Hochleistungs-Permanentmagneten vom Typ NdFeB (Neodym-Eisen-Bor) zum Einsatz. Die Diskussion um die Elektromobilität konzentriert sich meist auf das Thema Batterien, sodass die zweiten und dritten wichtigen Komponenten, die Permanent- und Weichmagnete, oft übersehen werden. Alle drei Komponenten sind jedoch für den elektrischen Antrieb in E-Fahrzeugen gleichermaßen wichtig. Vereinfacht gesagt: Jede Batterie benötigt einen Magneten, weshalb der Bedarf an Hochleistungsmagneten voraussichtlich exponentiell steigen wird, insbesondere für die Elektromobilität und Windkraft. Verbesserte Magnete, die zum Beispiel ein erhöhtes Drehmoment erzeugen, führen bei gleicher Batterieladung zu einer deutlich höheren Reichweite von Autos.

Auch für die Kühlung von Geräten, Gebäuden, Fahrzeugen oder Lebensmitteln und Medikamenten spielen Magnete eine Rolle. Durch den klimabedingten Temperaturanstieg nimmt der Kühlbedarf stetig weiter zu. Allerdings ist die Kühlung ein blinder Fleck in der allgemeinen Energiedebatte. Der Hintergrund: Die konventionellen Kühlverfahren basieren auf der Gaskompressionskühlung, einer Technologie, die seit mehr als einem Jahrhundert unseren Alltag dominiert und für zehn Prozent der globalen Treibhausgase und 20 Prozent des weltweiten Stromverbrauchs verantwortlich ist – Tendenz stark steigend. Die magnetische Kühlung hingegen ist eine echte Alternative. Sie basiert auf dem sogenannten magnetokalorischen Effekt, was bedeutet, dass ein Material mit Erwärmung auf das Anlegen eines Magnetfelds reagiert. Dieser Effekt ist umkehrbar, das heißt das Material kühlt ab, wenn das Magnetfeld wieder weggenommen wird. Hinzu kommt, dass die magnetische Kühlung frei von klimaschädlichen Kühlmitteln aus fluorierten Gasen ist. Tatsächlich bestätigen erste Kommerzialisierungen der Technologie die Vorteile gegenüber konventionellen Kühltechniken.

Kurz gesagt: Magnete sind Schlüsselwerkstoffe für eine erfolgreiche Energietransformation. Die dafür verwendeten Metalle werfen jedoch in ihrer Gewinnung politische, soziale und ökologische Probleme auf oder sind schlichtweg teuer. In unserem Sonderforschungsbereich geht es in erster Linie um die Lanthanide, also die Seltenen Erden. Auch Kobalt, Gallium und Indium sind typische Strategiemetalle, die im Magnetismus wichtig sind. China hat seit den 1980er-Jahren mit einer strategischen Expansion entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Seltenen Erden begonnen – von der Erzgewinnung bis zum fertigen Magneten beziehungsweise E-Motor. Das Land beherrscht heute nach Angaben der Internationalen Ener-



Grafik: Funktionale Materialien, TU Darmstadt

Bei der Erforschung neuer magnetischer Werkstoffe kommen moderne Herstellungsverfahren wie die Additive Fertigung zum Einsatz – Schicht für Schicht wird Material hinzugefügt, lokal manipuliert und die Hysterese maßgeschneidert.

Foto: Shutterstock

Der Kühlbedarf nimmt weltweit rasch zu – ob für Gebäude, Industrie, Rechenzentren oder Lebensmittel. Die magnetische Kühlung ist eine Alternative zur Gas-Kompressor-Technologie, die auf Kühlmitteln mit sehr hohem Treibhausgaspotenzial beruht.

gieagentur fast 90 Prozent der weltweiten Raffineriekapazitäten. Die EU hat dem chinesischen Versorgungsmonopol für Seltene Erden aktuell nichts entgegenzusetzen. Dies ist im Prinzip seit Langem bekannt, bisher wurden daraus aber keine Schlussfolgerungen gezogen. Darüber hinaus bringt der Abbau von Seltenen Erden Umweltprobleme mit sich, da beim Aufschluss der verschiedenen Seltenerdoxide aggressive Säuren verwandt werden und bestimmte Vorkommen auch radioaktive Beimengungen aufweisen.

Im Sonderforschungsbereich versuchen wir, zumindest auf der wissenschaftlichen Ebene mit neuen, effizienteren Magnetmaterialien zu einer Lösung beizutragen. Bei der Entwicklung neuer magnetischer Materialien verfolgen wir zwei – sich scheinbar widersprechende – Richtungen, die beide das Ziel haben, die Materialien näher an ihre physikalischen Grenzen zu bringen. So benötigen wir für die magnetische Kühlung eine Minimierung der Hysterese. Bei Permanentmagneten hingegen muss die Hysterese maximiert werden. Für beide Forschungsrichtungen müssen die neuen Materialien zunächst mit thermisch stabilen und hervorragenden intrinsischen, also dem Material innewohnenden, magnetischen Eigenschaften ausgestattet sein. Idealerweise bestehen sie zudem aus Elementkombinationen, die wenig Ressourcen verbrauchen und chemisch und thermisch stabil sind.

Bei den hierzu notwendigen Untersuchungen setzen wir verstärkt auf moderne Herstellungsverfahren wie die Additive Fertigung, bei der Schicht für Schicht Material hinzugefügt wird. Diese Fertigungsverfahren kombinieren wir mit Methoden des Maschinellen Lernens und können so grundsätzliche „Designregeln“ für die optimale Hysterese entwickeln. Durch das Zusammenspiel der intrinsischen Eigenschaften mit der hergestellten Mikrostruktur des Materials ergeben sich die für Anwendungsingenieur*innen relevanten extrinsischen, also technisch nutzbaren, Eigenschaften. Diese haben letztlich Einfluss auf die Funktion und Leistungsfähigkeit eines Elektromotors oder Generators.

Moderner Magnetismus erfordert eine Analyse des Materials bis hinunter auf die atomare Ebene! Unregelmäßigkeiten in den Materialeigenschaften spielen im Materialdesign eine große Rolle – sie sind nicht nur ein unvermeidbares Übel, sondern eine Notwendigkeit, die wir in der Forschung maximal nutzen wollen. In einem starken Permanentmagneten gilt es, kritische Prozesse der Entmagnetisierung zu verhindern oder effektiv aufzuhalten. Mit verschiedenen Methoden betrachten wir Atome oder Elektronen und können so die Materialdefekte theoretisch und experimentell darstellen. Idealerweise können wir diese Defekte sogar derart manipulieren, dass zum Beispiel eine magnetische Domänenwand, also eine Grenze zwischen einzelnen Regionen des magnetischen Materials, am Defekt haftet und damit unbeweglich ist. Wir nennen das die Suche nach dem „perfect defect“. Somit ist die Beobachtung magnetischer Domänen ein effektives und wunderschönes Werkzeug, um das Zusammenspiel von intrinsischen und extrinsischen Eigenschaften sichtbar zu machen und die magnetischen Prozesse auf verschiedenen Längen- und Zeitskalen zu verstehen.

Wenn dieser materialphysikalische Ansatz auf der Nanoebene erfolgreich ist, kann er auch globale Effekte im Sinne einer avisierten CO_2-neutralen Zukunft haben: Eine höhere Haftkraft von Domänenwänden in magnetischen Materialien spart kostbare schwere Seltene Erden wie Terbium und Dysprosium ein, die üblicherweise für den Motor eines E-Fahrzeugs aufgrund der hohen Betriebstemperaturen von rund 160 Grad Celsius notwendig sind.

Die immer anspruchsvolleren Einsatzbereiche von Magnetwerkstoffen erfordern neben veränderten magnetischen Eigenschaften aber auch zusätzliche Anpassungen. Dazu zählen zum Beispiel die mechanische Festigkeit und chemische Stabilität, einhergehend mit maßgeschneiderten elektrischen und thermischen Transporteigenschaften. Noch sind viele Fragen offen. Doch zweifelsfrei steht schon jetzt fest: Die Energiewende ist auch eine Materialwende!

Professor Dr. Oliver Gutfleisch
leitet das Fachgebiet „Funktionale Materialien“ der TU Darmstadt und ist Sprecher des SFB/TRR 270 „HoMMage – Hysterese-Design magnetischer Materialien für effiziente Energieumwandlung“.

Professor Dr. Michael Farle
leitet die Arbeitsgruppe „Struktur und Magnetismus nanoskaliger Systeme“ der Universität Duisburg-Essen und ist Co-Sprecher des SFB/TRR 270 „HoMMage – Hysterese-Design magnetischer Materialien für effiziente Energieumwandlung“.

Adresse: TU Darmstadt, SFB/TRR 270 „HoMMage“, Peter-Grünberg-Str. 16, 64287 Darmstadt

www.tu-darmstadt.de/sfb270/about_crc/index.en.jsp