



„Die Energiewende ist eine Materialwende!“

Interview mit dem SFB/TRR 270 „HoMMage“-Sprecher Oliver Gutfleisch

Was finden Sie am Magnetismus und an Magneten so faszinierend, Herr Gutfleisch?

„Few subjects in science are more difficult to understand than magnetism.“ (Encyclopedia Britannica, Fifteenth Edition 1989) – nach 30 Jahren Forschungsarbeit im Magnetismus und magnetischen Materialien ist das „leider“ immer noch zutreffend. Es ist eine unendlich lange Reise vom meteoritischen Eisen, Lodestone, die Erfindung des Kompass' in China, Gilberts *de magnete* als erste wissenschaftliche Abhandlung magnetischer Phänomene, Faradays Elektromotor, Maxwell-Gleichungen, Quantenmechanik, Barkhausen-Sprünge, Weiss'sche Domänen und so weiter hin zu superstarken Permanentmagneten, ein immer aktuelles Forschungsgebiet der Festkörperphysik und Materialforschung eingebettet in eine dynamische und volatile globale Gemengelage von Klimawandel, Energietransformation und geopolitischen Abhängigkeiten.

Worum geht es im von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereich/Transregio (SFB/TRR) 270 „HoMMage – Hysterese-Design magnetischer Materialien für effiziente Energieumwandlung“?

Wir forschen zu neuen Magnetmaterialien für nachhaltige Energietechnologien. Hart- und Weichmagnete sind in unserer modernen

Gesellschaft allgegenwärtig, jede*r von uns besitzt und verwendet Dutzende von ihnen im täglichen Leben. Sie sind Schlüsselkomponenten in modernen Energiewandlungs- und Energierückgewinnungssystemen, Elektromobilität, Datenspeicherung und Kommunikation, Unterhaltungselektronik, MRT und magnetischer Trennung, Robotik und Automatisierung, Gebäudeausrüstung wie Wasserpumpen, Stromübertragung und -verteilung. Sie bieten eine Perspektive für CO₂-freundliche oder -neutrale, hocheffiziente, schnelle, miniaturisierte, leichte und nachhaltige Geräte und Technologien. Man benötigt zwei Kilogramm eines Hochleistungs-Permanentmagneten vom Typ NdFeB (Neodym-Eisen-Bor) pro E-Fahrzeug, oder auch 500 kg/MW desselben Werkstoffs für eine direktangetriebene Windturbine, das bedeutet für eine moderne 14 MW-Off-Shore-Anlage sieben Tonnen!

Die Kühlung ist ein blinder Fleck in der allgemeinen Energiedebatte und basiert auf der Gaskompressionskühlung, einer Technologie, die seit mehr als einem Jahrhundert unseren Alltag dominiert, für die zehn Prozent der globalen Treibhausgase und zwanzig Prozent des weltweiten Stromverbrauchs zu veranschlagen sind. Alleine das sind schon erstaunliche Beobachtungen! Die magnetische Kühlung ist nun eine echte Alternative mit einem potenziell viel höheren Carnot-Wir-

kungsgrad (Umwandlung von Wärme in mechanische oder elektrische Energie) von bis zu 60 Prozent. Sie ist gleichzeitig frei von ozonschädigenden, die globale Erwärmung beschleunigenden, toxischen oder explosiven Gasen und potenziell kompakter und leiser. Entscheidend für den Durchbruch der magnetischen Kühlung ist die Entwicklung ressourcenunkritischer Materialien für den magnetokalorischen Wärmetauscher, die eine hervorragende Langzeitleistung aufweisen und großen zyklischen Volumenänderungen und dem Kontakt mit einer Wärmeaustauschflüssigkeit standhalten müssen.

Das ist die Spielwiese für HoMMage – kurz gesagt: Magnete sind Schlüsselwerkstoffe für eine erfolgreiche Energietransformation. Die verwendeten Strategiemetalle werfen jedoch in ihrer Gewinnung politische, soziale und ökologische Probleme auf oder sind schlichtweg teuer. Unser HoMMage-Team ist daher auf der Suche nach ressourcenschonenden und effizienten Alternativen. Der Anteil an Seltenen Erden soll deutlich reduziert oder im besten Fall gänzlich vermieden werden.

Was sind die interessantesten Ergebnisse aus der ersten Förderperiode des Sonderforschungsbereichs?

Ein schönes Beispiel ist unsere Suche nach dem „perfect defect“; Materialinhomogenitäten sind nicht

nur ein unvermeidbares Übel, sondern eine Notwendigkeit, die wir maximal nutzen wollen: in einem Permanentmagneten gilt es, kritische Entmagnetisierungsprozesse im Ansatz zu verhindern oder effektiv aufzuhalten. Diese Defekte können auf das Atom oder Elektron heruntergebrochen, mit dem im Konsortium verfügbaren Methodenspektrum in der Theorie und im Experiment vollständig dargestellt und idealerweise durch Legierungs- und Mikrostrukturdesign so manipuliert werden, dass zum Beispiel eine magnetische Domänenwand maximal am Defekt haftet und damit unbeweglich ist.

Dieser materialphysikalische Ansatz auf der Nanoebene kann, wenn erfolgreich, auch globale Effekte haben; eine höhere Domänenwandhaftkraft spart kostbare schwere Seltene Erden wie Terbium und Dysprosium ein, die im Elektromotor für den Betrieb im E-Fahrzeug ansonsten notwendig sind. 95 Prozent der Elektrofahrzeuge verwenden heutzutage NdFeB-Permanentmagnet-erregte Motoren; das Potenzial einer Verbesserung des Materials liegt damit auf der Hand. Die Diskussion um die Elektromobilität konzentriert sich aber in der Regel auf das Thema Batterie, wobei die zweite und dritte wichtige Komponente, die Permanent- und Weichmagnete, oft übersehen werden. Alle drei Komponenten sind für elektrische Antriebsstränge in Elektrofahrzeugen gleichermaßen wichtig. Permanentmagnete mit hoher Energiedichte und Seltenen Erden sind das Herzstück der energieeffizientesten elektrischen Antriebe mit der höchsten Leistungsdichte und dem höchsten Drehmoment bei Betriebstemperatur. Vereinfacht gesagt, jede Batterie braucht (!) einen Magneten, was bedeutet, dass sich die Reichweite eines Autos bei gleicher Batterieladung deutlich erhöht, wenn bessere Magnete eingesetzt werden.

Und eine Erfolgsstory aus dem zweiten Projektbereich, der Magnetokalorik?

Hier sind zum Beispiel unsere Arbeiten zu „Magnetism First“ – so umschreiben wir das gerne – zu nennen. Es geht um das Zusammenspiel von magnetischen, strukturellen und elektronischen Beiträgen zur Gesamtentropieänderung in magnetokalorischen Materialien. Insbesondere bei Phasenübergängen erster Ordnung ist der „cross-talk“ zwischen den drei Subsystemen höchst komplex und beeinflusst letztlich die lokalen und globalen Hystereseverluste und damit auch die Kühlleistung des Endgeräts, wie zum Beispiel einer Klimaanlage oder eines Kühlregals im Supermarkt.

Wir haben enorme Fortschritte in korrelativen und simultanen Messungen von Magnetisierung, thermischer Response, Magnetostraktion und elektrischen Widerstand gemacht; wir sind noch einen Schritt weitergegangen und können nun diese Messungen an der ID12 Strahllinie an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) mit XMCD (zirkularer magnetischer Röntgendiffraktion) elementspezifischen Hysteresemessungen kombinieren. Damit haben nun wir eine weltweit führende Position in der Grundlagenforschung zu magneto- und multi-kalorischen Phänomenen und Materialien erreicht.

Wie geht es in der zweiten Förderperiode weiter?

In der neuen Förderperiode setzen wir verstärkt auf moderne Technologien wie die Additive Fertigung und maschinelles Lernen unter Einsatz von Künstlicher Intelligenz, um die Entdeckung geeigneter Kompositionen und idealer Mikrostrukturen sowie geeigneter ressourcenschonender Herstellungswege signifikant zu beschleunigen. Wir gehen über die primären magnetischen Eigenschaften hinaus, da die Einsatzbereiche von Magnetwerkstoffen immer anspruchsvoller werden, wir schauen hier auch auf komplexere

Anforderungsprofile zum Beispiel in schnell rotierenden Elektromaschinen; hochdynamische Belastungen erfordern neben den magnetischen Eigenschaften zusätzliche Funktionalitäten wie mechanische (hohe Festigkeit und Zähigkeit, gute Verschleißfestigkeit) und chemische Stabilität, maßgeschneiderte elektrische und thermische Transporteigenschaften, Formbarkeit, Nachhaltigkeit und natürlich Erschwinglichkeit.

Wie wirken Sie mit dem Sonderforschungsbereich in die Gesellschaft?

Mit dem integrierten Graduiertenkolleg leistet der Verbund einen wichtigen Beitrag zur Ausbildung von jungen Wissenschaftler*innen. Diese finden rasch in den relevanten Industrien anspruchsvolle Positionen, wir ermutigen und fördern natürlich auch eine akademische Karriere beziehungsweise zeigen als dritten Karrierepfad die Selbstständigkeit in einem Spin-Off auf. Die zukunftsweisende Forschung der ersten Förderperiode wird auch durch die Bewilligung von drei so genannten „Wissenschaftstransferprojekten“ unterstrichen. Diese aus dem SFB/TRR270 heraus initiierten Projekte dienen der direkten Überführung der gewonnenen Erkenntnisse in industrierelevante Technologien. Letztlich wollen wir mit unserer Forschung auch Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft über Strategiemetalle als kostbare Ressource in der Energietransformation informieren und zum dringend benötigten Handeln ermutigen. Die Energiewende ist eine Materialwende!

Erklären Sie doch bitte die Begriffe Strategiemetalle und Ressourcenkritikalität!

In unserem SFB geht es in erster Linie um die Lanthanide, also die Seltenen Erden, aber auch Kobalt, Gallium, 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 – von der Erzgewinnung zum fertigen Magneten bzw. E-Motor – begonnen und beherrscht nach Angaben der Internationalen Energieagentur heute fast 90 Prozent der weltweiten Raffineriekapazitäten. Gleichzeitig zum Beispiel ist nach Angaben des US Department of Energy (2018) der Wert der in die Vereinigten Staaten eingeführten Waren, die Seltene Erden enthalten, ca. 1,2 Billionen Dollar. Ein Modell der Bewertung einer Ressourcenkritikalität beruht auf drei Hauptaspekten, (1) Versorgungsrisiko (Monopol vs. Diversifizierung der Versorgung), (2) Umweltauswirkungen und (3) Anfälligkeit einer Zukunftstechnologie wie die Elektromobilität für Versorgungseinschränkungen. Idealerweise wäre ein globales Nachfrage-Angebot-System für Seltene Erden in der Lage, Versorgungsunterbrechungen oder eine veränderte Nachfrage abzufedern. Schlüsselfaktoren zur Bewertung sind geologische Verfügbarkeit, Stabilität und Angemessenheit der Versorgung, derzeitige und künftige Auslastung der Minen (statische und dynamische Reichweite eines Metalls im Vergleich zu den gegenwärtigen und projizierten Bedarfen), Abhängigkeit von Importen und Lieferketten, geopolitische Lage, wirtschaftliche Entwicklungen, Wiederverwertbarkeit, Substituierbarkeit, ökologische Auswirkungen, soziale und regulatorische Komponenten und das mögliche Auftreten neuer konkurrierender Technologien. All diese Aspekte sollten in eine umfassende Analyse der Kritikalität von Ressourcen einbezogen werden. Innerhalb der EU ist Deutschland das wichtigste Zielland für Chinas Seltenerd-Permanentmagnete. Allein auf Deutschland entfallen rund 10.000 t/Jahr oder fast 20 Prozent der chinesischen Ausfuhren von NdFeB-Magneten. Auf einen Nenner gebracht: unsere Resilienz in der EU gegenüber dem chinesischen Versorgungsmonopol für Seltene Erden ist äußerst dürftig.

Dies ist im Prinzip seit langem bekannt, Schlussfolgerungen werden aber nicht gezogen. Zumindest auf der wissenschaftlichen Ebene versuchen wir mit neuen, effizienteren Magnetmaterialien zu einer Lösung beizutragen!

Wo soll die Reise hingehen, Herr Gutfleisch?

Die Entwicklung von neuen Materialien mit traditionellen Methoden von Versuch und Irrtum und die Beurteilung durch Expert*innen führt zu einer riesigen Anzahl durchzuführender Experimente. Dies mit der Konsequenz, dass die Entwicklung von Werkstoffen nur langsam vorangeht, was sich auch darin widerspiegelt, dass der letzte Super-Permanentmagnet (Nd₂Fe₁₄B – die Grundlage für die Elektromobilität), der auf ressourcenkritischen Seltenerd-Elementen basiert, vor vier Jahrzehnten entdeckt wurde. Wir wollen die Forschung an Magnetmaterialien transformieren, wir wollen die Entdeckung und Optimierung von Materialien durch ein umfassendes Verständnis der Hysterese auf allen Längenskalen und durch ein rationales, sich selbst optimierendes Design von Stöchiometrie, Mikrostruktur und Prozessierung revolutionieren. Dies beinhaltet perspektivisch ein kritisches Gleichgewicht von Intuition und Expert*innenwissen der Forschenden, gepaart mit der extrem gesteigerten Produktivität, Reproduzierbarkeit in der Synthese, Charakterisierung und Dateninterpretation in autonomen Experimenten.

Zur Person

Oliver Gutfleisch ist Professor für Funktionsmaterialien an der TU Darmstadt. Er studierte Materialwissenschaft an der TU Berlin, promovierte in Birmingham und war Forschungsgruppenleiter am Leibniz-Institut IFW Dresden. 2012 wechselte er an die TU Darmstadt, seither war er auch als einer der wissenschaftlichen Leiter am Aufbau des Fraunhofer IWKS (Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie) beteiligt; seit 2022 führt er diese Tätigkeit in beratender Funktion fort. Seine Interessen reichen von Permanentmagneten für Windenergie und Elektromobilität über energieeffiziente magnetokalorische Festkörperkühlung bei Raumtemperatur und für die Wasserstoffverflüssigung, Hochentropie-Legierungen, magnetische Formgedächtnislegierungen, und Nanopartikel für biomedizinische Anwendungen. Ressourceneffizienz auf Element-, Prozess- und Produktebene sowie das Recycling von Seltene Erden enthaltenden Materialien stehen ebenfalls im Fokus seiner Arbeit.

Oliver Gutfleisch hat mehr als 500 Artikel in begutachteten Zeitschriften veröffentlicht und mehr als 260 eingeladene Vorträge gehalten. Im Jahr 2011 war er IEEE Magnetics Society Distinguished Lecturer zum Thema Magnetmaterialien für Energieanwendungen. Er ist Vorsitzender des Fachausschusses Funktionswerkstoffe der Deutschen Gesellschaft für Materialkunde (DGM). Seit 2024 ist er gewählter DFG-Fachkollegiat für Materialwissenschaft. Er ist Mitgründer von zwei Spin-off-Unternehmen im Bereich Magnetismus.

Von 2009 bis 2011 war Gutfleisch Koordinator eines EU-Projekts zur Verbesserung des Gender-Diversity-Managements in der Materialforschung. Von 2014 bis 2017 koordinierte er das hessische LOEWE-Exzellenzprogramm „Response“. Er war Gastprofessor am CNRS Grenoble, NIMS Tsukuba, Imperial College London, Chinese Academy of Science NIMTE Institute in Ningbo und der Universität Parma. 2017 wurde er mit einem ERC Advanced Grant (Cool Innov) ausgezeichnet, und 2018 erhielt er den Preis der DGM. Seit 2020 ist Oliver Gutfleisch Sprecher des DFG-Sonderforschungsbereichs 270. Er wurde 2020 zum IEEE Fellow ernannt und leitet seit Oktober 2020 die externe Forschungsgruppe „De Magnete“ am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf. Seit 2023 ist Oliver Gutfleisch Associate Editor von „Acta und Scripta Materialia“ und Koordinator des EU Pathfinder Open Project „CoCoMag“. 2023 erhielt er die höchste Auszeichnung der European Magnetism Association (EMA) für die Förderung des Magnetismus in Europa.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub

universitäts
bibliothek

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/81841

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20240416-084800-6

Erschienen in: UNIKATE 60 (2024), S. 8-11

Alle Rechte vorbehalten.