

## Keep cool

# Magnetischen Kühlkreislauf entwickelt

*Klimawandel, Bevölkerungswachstum und steigende Lebensansprüche führen dazu, dass der Energiebedarf für Kühlprozesse weltweit deutlich schneller wächst als jener fürs Heizen – gleichzeitig können Kühlmittel Umwelt- und Gesundheitsschäden verursachen. Abhilfe könnte eine neuartige Technologie bringen: Kühlung durch magnetische Materialien in Magnetfeldern. Forscher der Technischen Universität Darmstadt und des Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf (HZDR) entwickelten die Idee für einen Kühlkreislauf, der auf dem «magnetischen Gedächtnis» spezieller Legierungen beruht.*

Metalle können beim Erwärmen oder Abkühlen ihre magnetischen Eigenschaften verändern. «Eisen etwa ist nur unterhalb von 768 Grad Celsius ferromagnetisch, bei Nickel liegt die Umwandlungstemperatur bei 360 Grad Celsius», schildert Oliver Gutfleisch, Professor für Funktionale Materialien an der TU Darmstadt. «Umgekehrt werden manche Legierungen ferromagnetisch, wenn man sie erwärmt. Mit diesem Phasenübergang verbunden ist der so genannte magnetokalorische Effekt: Bringt man diese sogenannten Formgedächtnis-Legierungen knapp unterhalb ihrer Umwandlungstemperatur in ein äusseres Magnetfeld, springen sie spontan in ihre magnetische Ordnung und kühlen sich gleichzeitig ab», beschreibt Gutfleisch. «Je stärker das Magnetfeld, desto stärker die Abkühlung.»

Tino Gottschall und seine Kollegen untersuchten verschiedene Formgedächtnis-Legierungen und ihre Eigenschaften bis ins Detail: «Bei der Magnetisierung können sich auch andere Eigenschaften verändern, zum Beispiel die Dichte – weshalb manche Legierungen ihr Volumen vergrössern.» Die Physiker fanden heraus, dass ein von aussen ausgeübter Druck tatsächlich den Magnetisierungsprozess rückgängig machen kann. Dabei erwärmt sich die Legierung.

Der experimentelle Nachweis gelang den Wissenschaftlern schliesslich gemeinsam mit Professor Antoni Planes und Professor Lluís Mañosa von der Universität Barcelona. «Wir benutzten für unsere Versuche eine Legierung aus Nickel, Mangan und Indium, weil sich damit die Umwandlung bei Raumtemperatur auslösen lässt», so Gottschall. Das Magnetfeld erzeugten die Wissenschaftler mit den stärksten bislang bekannten Dauermagneten – neben Eisen



Bild: André Wirsig

*Am Hochfeld-Magnetlabor Dresden des HZDR loten Wissenschaftler Potenzial und Grenzen magnetisierbarer Materialien aus.*

und Bor enthalten sie das Seltenerdmetall Neodym. Damit lassen sich Magnetfelder bis zu einer Flussdichte von 2 Tesla erzeugen – 40 000-mal so stark wie das Magnetfeld der Erde. «Unsere Legierung kühlt sich unter solchen Bedingungen um mehrere Grad ab», schildert Gottschall, «bei Messungen im HLD haben wir festgestellt, dass bereits eine Millisekunde im Magnetfeld für eine dauerhafte Umwandlung ausreicht.»

### Kleiner Druck – grosse Wirkung

Im nächsten Schritt des sechsstufigen Zyklus entfernten die Forscher den Kühlkörper aus dem Magnetfeld, dabei behält dieser seine Magnetisierung. In Schritt drei kommt er in Kontakt zum Kühlgut und nimmt dessen Wärme auf. Selbst wenn der Kühlkörper dabei wieder die Ausgangstemperatur erreicht, bleibt er magnetisch. Abhilfe schafft mechanischer Druck: In Schritt vier presst eine Walze den Kühlkörper zusammen. Unter Druck wechselt er in seine



Bild: Katrin Binner

*Prof. Dr. Oliver Gutfleisch, TU Darmstadt.*

dichtere, nicht-magnetische Form; dabei erwärmt er sich. Wird in Schritt fünf der Druck weggenommen, behält das Material seinen Zustand bei und bleibt entmagnetisiert. Im letzten Schritt gibt die Legierung Wärme an die Umgebung ab, bis sie wieder ihre Ausgangstemperatur erreicht hat und der Kühlzyklus erneut beginnen kann.

### Teure Rohstoffe

«Noch vor wenigen Jahren galten Legierungen mit magnetischem Gedächtnis als

unbrauchbar, weil sie sich im Magnetfeld nur einmal abkühlen lassen», beschreibt Gutfleisch. «Daher orientierten sich die Forschungen weltweit auf Materialien ohne Erinnerungseffekt. Kühlschränke, die nach diesem Wirkprinzip produziert werden, haben allerdings ihren Preis.» Grösster Posten bei den Herstellungskosten sind die nötigen Dauermagnete: «Bei reversibler Magnetisierung bleibt der Kühleffekt nur so lange erhalten, wie der Kühlkörper dem Magnetfeld ausgesetzt ist. Selbst im günstigsten Fall muss dafür die Hälfte des Kühlmittels zwischen Magneten platziert sein. Das heisst: Man braucht viermal so viel Dauermagnet wie Kühlmedium.» Neodymmagnete sind die wirksamsten, aber auch teuersten auf dem Markt. Obendrein gilt das in beträchtlichem Umfang benötigte Seltenerdmetall als kritischer Rohstoff: Die grössten bekannten Vorkommen liegen in China, und der Abbau geht mit vielfältigen Umweltbelastungen einher.

Elektromagnete kommen für die magnetische Kühlung nicht infrage: Aus physikalischen Gründen wäre der Wirkungsgrad geringer als bei der Dampfkompression, die milliardenfach in Kühlschränken und Klimaanlagen genutzt wird. Die Forscher sind jedoch überzeugt, dass diese Kühltechnik keine Zukunft mehr hat: «Es gibt einfach keine geeigneten Kühlflüssigkeiten», sagt Gottschall: «Die heute gebräuchlichen Mittel sind als Wärmeträger hochwirksam, aber tausendfach treibhaus-wirksamer als Koh-

lendioxid. Für die meisten laufen die Produktionsgenehmigungen in Europa demnächst aus. Propan oder Butan kühlen zwar gut, bilden aber mit Luft hochexplosive Gemische. Ammoniak wiederum ist giftig und korrosiv. Und Kohlendioxid kühlt nicht besonders effizient.»

### Mit Seltenen Erden sparen

Die Zukunft, ist auch Oliver Gutfleisch überzeugt, liegt in festen Kühlmitteln. «Wir konnten zeigen, dass sich Gedächtnislegierungen sehr gut für Kühlkreisläufe eignen», fasst der Experte für funktionale Materialien zusammen: «Wir benötigen deutlich weniger Neodymmagnete, können dennoch stärkere Felder und einen entsprechend grösseren Kühleffekt erzeugen.» Bis 2022 will er an der TU Darmstadt einen Demonstrator aufbauen, mit dessen Hilfe sich die tatsächliche Kühlleistung unter Praxisbedingungen sowie die Energieeffizienz des Verfahrens abschätzen lassen. Dafür erhielt er vom Europäischen Forschungsrat einen ERC Advanced Grant, der mit insgesamt 2,5 Millionen Euro über fünf Jahre verbunden ist.

Die Kooperation zwischen der TU Darmstadt und dem HZDR könnte helfen, das Prinzip massentauglich zu machen: «Wir haben inzwischen Legierungen gefunden, die alle gewünschten Eigenschaften samt einem grossen magnetokalorischen Effekt in sich vereinen und dabei komplett ohne Seltene Erden und andere kritische Roh-

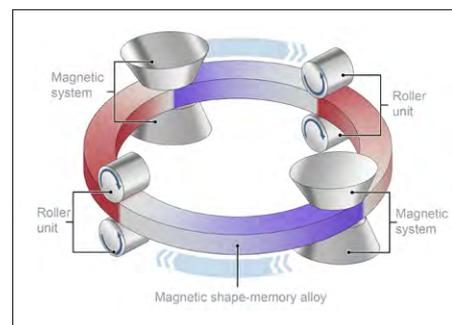


Bild: Alexey Karpenkov

Schema eines sechsstufigen Kühlzyklus für magnetische Formgedächtnislegierungen, den Forscher der TU Darmstadt und des HZDR entwickelt haben.

stoffe auskommen», schildert Tino Gottschall, der am HLD die physikalischen Grenzen dieser Materialien ausloten will.

### Originalpublikation

T. Gottschall et al., «A multicaloric cooling cycle that exploits thermal hysteresis», Nature Materials (2018); DOI: 10.1038/s41563-018-0166-6

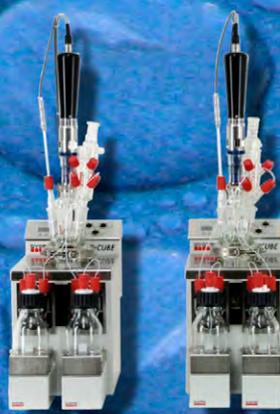
### Kontakt

Prof. Oliver Gutfleisch  
Materialwissenschaft  
FG Funktionale Materialien  
Technische Universität Darmstadt  
Karolinenplatz 5  
D-64289 Darmstadt  
+49 6151 162 2140  
gutfleisch@fm.tu-darmstadt.de  
www.fm.tu-darmstadt.de

## Speed Up Your Process Development



Chemistry...  
...automatically better



**SYSTAG** **+**  
**AG**  
**S**  
**S**  
**S**