

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

EISKALT

Routiniert: Warm bleiben im ewigen Eis

Sparsam: Kühlschranks mal anders

Komfortabel: Kühlkleidung im OP

33

Nr. 2 | 2023

Physik

COOLE FESTKÖRPER

Nach mehr als einem Jahrhundert wollen Physiker die bewährte Technik des Kühlschranks vom Thron stoßen. Denn Kühlen geht auch sparsamer.

Der Sommer 2023 war weltweit der heißeste seit Beginn der Aufzeichnungen. An vielen Orten wüteten verheerende Waldbrände, und Menschen ächzten unter Rekordtemperaturen. In einer Welt, die immer wärmer wird, steigt auch der Bedarf nach Kühlung. Kühlung, die Energie verschlingt. Viel Energie. „Kälte zu erzeugen ist grundsätzlich schwieriger, als Wärme zu erzeugen“, weiß Prof. Dr. Daniel Hägele, Physiker an der Ruhr-Universität Bochum. Die Kompressortechnik, mit der heutige Kühlschränke arbeiten, wurde vor mehr als einem Jahrhundert erfunden. „Natürlich wurde die Technik im Lauf der Jahre immer weiter optimiert“, ergänzt der Forscher. „Aber zuletzt bestanden die Verbesserungen bei den Energieeffizienzklassen eher in Anpassungen wie dichterem Türen.“ ▶

i SO FUNKTIONIERT EIN KÜHLSCHRANK

Kühlschränke funktionieren mithilfe eines Kühlmittels, das durch das System gepumpt und dessen Druck dabei reguliert wird. Im Inneren des Kühlschranks nimmt das Kühlmittel Wärme auf und wird dabei gasförmig. Dann strömt es in einen Kompressor, der das Gas verdichtet, wodurch sich seine Temperatur weiter erhöht. Über geschlängelte Rohre an der Rückseite des Geräts gibt das Kühlmittel seine Wärme nach außen ab. Dabei verringert sich seine Temperatur, und es wird flüssig. Bevor das Kühlmittel zurück in das Innere des Kühlschranks strömt, wird sein Druck wieder reduziert, wodurch seine Temperatur weiter sinkt. Nun kann das Kühlmittel erneut Wärme im Inneren des Geräts aufnehmen. In der Gesamtbetrachtung erzeugen Kühlschränke also genauso viel Kälte wie Wärme, die aber räumlich voneinander getrennt werden, sodass es innen kälter wird als außen.

„KÄLTE ZU ERZEUGEN IST GRUNDSÄTZLICH SCHWIERIGER, ALS WÄRME ZU ERZEUGEN.“

Daniel Hägele



Jan Fischer
kühlt den
Infrarot-
Detektor
mit flüssigem
Stickstoff.

DAS TEAM KANN VERÄNDERUNGEN VON **0,001° C** IN EINER TAUSENSTEL SEKUNDE DETEKTIEREN.

Dabei sind auch komplett andere Techniken zur Erzeugung von Kälte denkbar, als sie derzeit im Einsatz sind. Das Team um Daniel Hägele von der Arbeitsgruppe Spektroskopie der kondensierten Materie arbeitet mit dem sogenannten kalorischen Effekt: Manche festen Materialien reagieren mit einer Temperaturveränderung, wenn sie gedehnt werden oder in ein elektrisches Feld oder Magnetfeld eingebracht werden. Wer das selbst ausprobieren möchte, findet eine Anleitung für ein Mini-Experiment auf Seite 66.

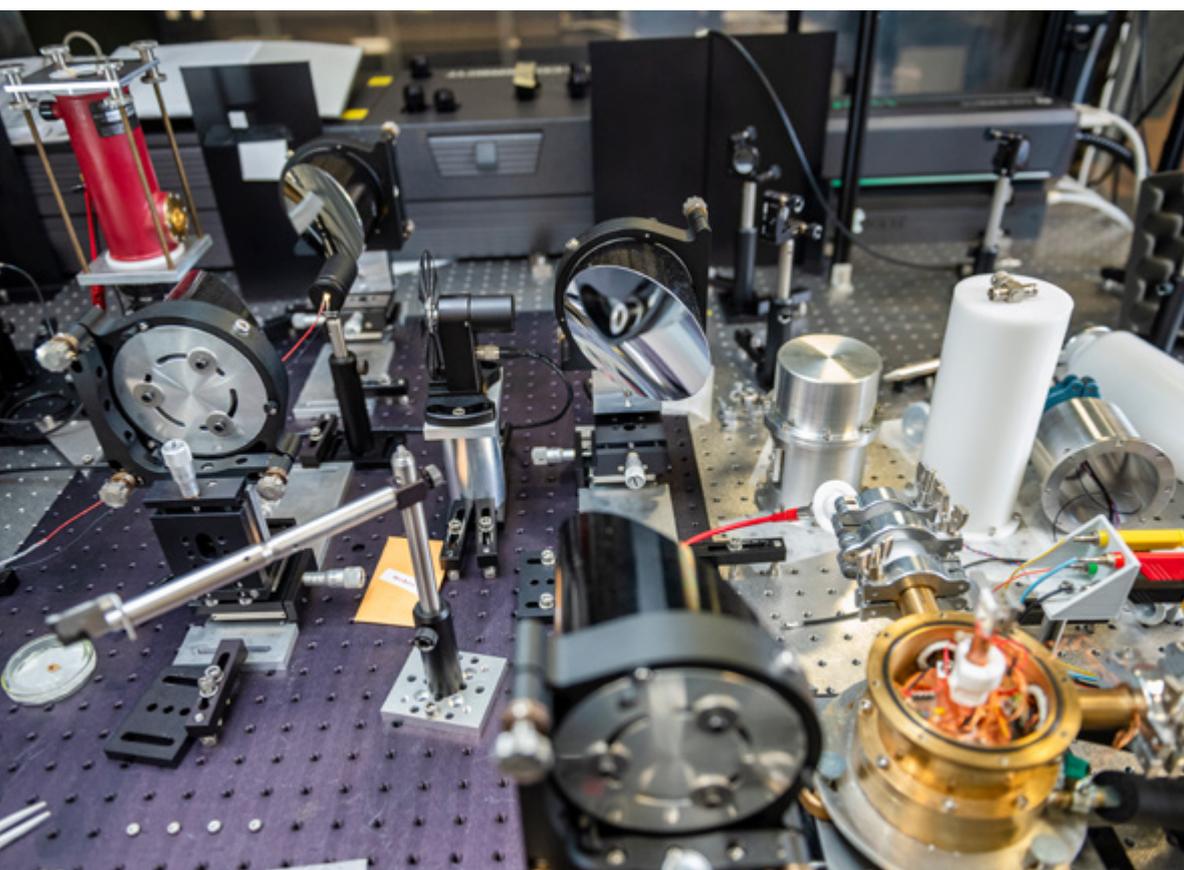
Hägeles Team befasst sich schon viele Jahre mit dem kalorischen Effekt. Zunächst nutzten die Forscher Magnetfelder, um Kälte mit Feststoffen zu erzeugen. Allerdings braucht es dafür Feldstärken wie in einem Kernspintomografen – für einen Kühlschrank oder eine Klimaanlage wäre das nicht praktikabel. Daher arbeiten Hägele und seine Kollegen Jörg Rudolph und Jan Fischer nun mit elektrischen Feldern. „Im Grunde kann man Strom aus der Steckdose nutzen“, sagt Fischer. „Zu Versuchszwecken verstärken wir die Spannung aber auf einige Tausend Volt.“

Denn das Bochumer Team ist an speziellen Effekten interessiert. Die Forscher bestimmen für verschiedene Materialien, wie diese auf das äußere elektrische Feld reagieren, beispielsweise wie stark sich die Temperatur verändert. Vor allem aber interessieren sie sich für zeitaufgelöste Effekte,

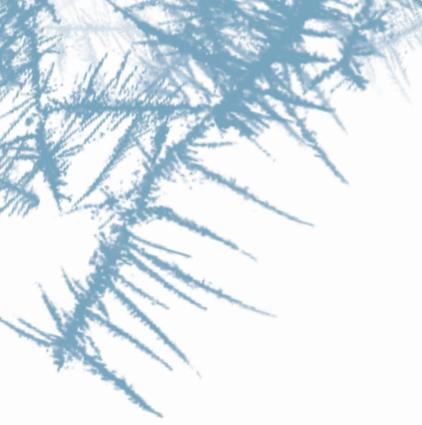
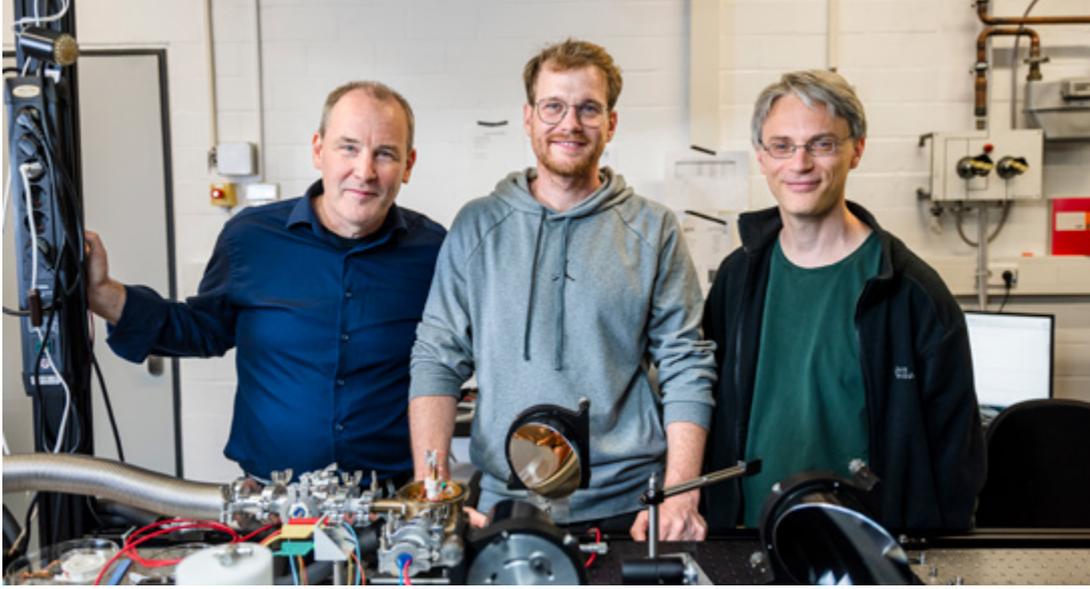
also wie schnell die Temperatur sinkt oder steigt, wenn sich das äußere elektrische Feld verändert. „Wir können Veränderungen von einem Tausendstel Grad in einer Tausendstel Sekunde detektieren – so schnell kann das sonst niemand“, beschreibt Fischer die Besonderheit des Bochumer Ansatzes.

Dass die Gruppe sich für diese winzigen Veränderungen interessiert, mag auf den ersten Blick paradox erscheinen. „Eigentlich suchen wir Materialien mit möglichst großen Temperatureffekten“, gibt Hägele zu. „Aber manchmal muss man klein anfangen.“ Die kleinen Veränderungen auf der Zeitskala verraten den Forschern viel über die grundlegenden Prozesse, die zu den Temperaturveränderungen in den Feststoffen führen. Hinzu kommt, dass Materialien, die schnell ihre Temperatur ändern können, für die Anwendung besonders interessant wären. „In einem kalorischen Kühlprozess wird die Wärme päckchenweise abtransportiert“, erklärt Jörg Rudolph. „Für die Effizienz ist es von Vorteil, wenn man die Wärmepäckchen schnell hintereinander wegschaffen kann.“

Nicht zuletzt ermöglichen die schnellen Messungen auch einen unverfälschten Blick auf die Materialeigenschaften. Denn die sich erwärmenden und abkühlenden Proben tauschen im Lauf der Zeit Wärme mit ihrer Umgebung aus, zum Beispiel mit der Unterlage, auf der sie montiert sind. Erfolgt



Blitzschneller Versuchsaufbau: Die Probe befindet sich in einer Vakuumkammer mit Kühlelement (geöffneter Messing-Zylinder vorne rechts). Die von der Probe ausgehende Wärmestrahlung wird über vier Spiegel fokussiert und zu einem Infrarot-Detektor (roter Zylinder links) geleitet. Der Detektor misst die Wärmestrahlung. Wird eine Spannung an die Probe angelegt, registriert der Detektor die Veränderungen in der abgestrahlten Wärmemenge.



Daniel Hägele, Jan Fischer und Jörg Rudolph (von links) forschen zum elektrokalorischen Effekt.

die Messung sehr schnell, ist keine Zeit für diesen Wärmetransfer, und die Forscher können den reinen kalorischen Effekt messen.

Was aber macht die Bochumer Technik so schnell? „Temperatur messen – das klingt vielleicht im ersten Moment einfach“, sagt Jörg Rudolph. „Kleine Temperaturunterschiede genau zu messen, ist jedoch erstaunlich kompliziert. Man kann nicht einfach ein Thermometer an die Probe halten.“ Zum einen ist die Probe dafür viel zu klein, nämlich weniger als einen Millimeter dick. Zum anderen würde ein Wärmeaustausch zwischen Probe und Thermometer stattfinden und die Messungen verfälschen.

Daher hat sich Daniel Hägele schon vor Jahren einen Versuchsaufbau speziell für diese Art von Messungen ausgedacht, den sein Team nun weiter optimiert hat. Die von der Probe ausgestrahlte Wärmeenergie wird dabei berührungslos mit einem Infrarot-Detektor gemessen. Der Versuchsaufbau steht in einem klimatisierten Raum auf einem schwingungsstabilisierten Tisch, dessen Installation einige Komplika-

tionen mit sich brachte. „Der Tisch wiegt eine Tonne, wir konnten ihn nicht einfach in den Aufzug stellen. Um ihn ins Labor zu bekommen, mussten wir zwei Fenster ausbauen und ihn mit einem Kran hineinbefördern lassen“, erinnert sich Daniel Hägele. „Er darf auch nur an einer bestimmten Stelle im Raum stehen, damit er nicht durch den Boden brechen kann“, ergänzt Jörg Rudolph.

Mittlerweile steht der Aufbau seit Jahren sicher im Labor, sodass Hägele, Rudolph und Fischer schon viele Materialien vermessen konnten. Neben den schnellen Temperaturveränderungen können sie eine zweite Materialeigenschaft der Feststoffe, die Polarisation, erfassen, und zwar parallel zur Temperatur – eine weitere Besonderheit des Bochumer Versuchsaufbaus. Nützlich ist das, weil hoch polarisierbare Materialien Vorteile bei der Kälteerzeugung mit sich bringen.

Neben etablierten Materialien wie der seltenen Erde Gadolinium und verschiedenen Metalllegierungen untersuchen die Bochumer auch andere Materialklassen wie Keramiken und Kunststoffpolymere. Diese haben ebenfalls vielversprechende Kandidaten hervorgebracht. Ein Fokus liegt dabei auf umweltfreundlichen und ungiftigen Materialien. Aus einigen davon haben andere Gruppen bereits Demonstratoren gebaut. „Dass unsere Grundlagenforschung einen so konkreten Anwendungsbezug hat, ist toll“, findet Jörg Rudolph. „Das gibt zusätzliche Motivation bei der Arbeit.“

Die Kühlung basierend auf dem kalorischen Effekt ist dabei ein mehrstufiger Prozess. Denn in der Regel schafft ein Material auf einen Schlag nur eine Abkühlung von drei bis vier, maximal sechs Grad Celsius. Ein Kühlsystem könnte aber aus mehreren Kammern bestehen, an deren Übergängen jeweils eine Abkühlung um einige Grad erfolgt, sodass insgesamt eine ausreichend große Kühlung erzielt würde.

Anders als bei herkömmlichen Kühlschränken würde die Kälte dann nicht mehr mithilfe eines Gases oder einer Flüssigkeit erzeugt, sondern mit einem festen Material. „Einen Festkörper zu verwenden ist von Vorteil, weil darin mehr Atome pro Kubikzentimeter vorliegen“, erklärt Hägele. „Damit ließen sich kompaktere Kühlgeräte bauen.“ Und potenziell auch effizientere. Nützlich könnte das nicht nur für Kühlschränke und Klimaanlage sein, sondern beispielsweise auch für die Wasserstoffverflüssigung. Anwendungen gäbe es in einer immer wärmer werdenden Welt jedenfalls genug.

Text: jwe, Fotos: dg



Das digitale Abbild des selbst entwickelten Versuchsaufbaus. Hier können die Forschenden überwachen, ob die Messungen reibungslos laufen.



Ein einfaches Beispiel für einen kalorischen Effekt: Wird ein Luftballon gedehnt, erhitzt sich das Gummi, wie hier im Thermobild zu sehen.

REDAKTIONSSCHLUSS



Fotos: RUB, Marquard

Festkörperphysik – das mag zunächst abstrakt klingen. Aber einige Phänomene, mit denen diese Disziplin arbeitet, lassen sich leicht erfahren, zum Beispiel der kalorische Effekt. Manche Materialien können durch eine bestimmte Behandlung Wärme oder Kälte erzeugen, etwa indem man sie in ein Magnetfeld einbringt oder indem man sie dehnt. Das lässt sich leicht mit einem Luftballon ausprobieren, der für das Experiment nicht aufgepustet sein sollte: 1) Den Ballon ruckartig auseinanderziehen. 2) Das gedehnte Gummi an die Lippen halten. Das Material hat sich erwärmt. 3) Den Ballon anschließend von den Lippen entfernen und – weiterhin gedehnt – ein paar Sekunden in die Luft halten, sodass das Gummi auf Umgebungstemperatur abkühlen kann. 4) Dann den Ballon zusammenschnappen lassen. 5) Jetzt schnell wieder an die Lippen halten. Der entspannte Ballon ist nun kälter als die Umgebungsluft. Wie man den kalorischen Effekt eines Tages für den Bau von Kühlschränken nutzen könnte, lesen Sie auf Seite 20.

IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, v.i.S.d.P.)

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Christian Albert (Geowissenschaft), Prof. Dr. Birgit Apitzsch (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Thomas Bauer (Fakultät für Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Maren Lorenz (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Günther Meschke (Prorektor für Forschung und Transfer), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Nils Pohl (Elektro- und Informationstechnik), Prof. Dr. Markus Reichert (Sportwissenschaft), Prof. Dr. Tatjana Scheffler (Philologie), Prof. Dr. Gregor Schöner (Informatik), Prof. Dr. Sabine Seehagen (Psychologie), Prof. Dr. Roland Span (Maschinenbau), Prof. Dr. Martin Tegenthoff (Medizin), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Lisa Bischoff (lb); Raffaella Römer (rr)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Schiefersburger Weg 105, 50739 Köln, Tel.: 0176 / 29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de

COVER: Roberto Schirdewahn

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfoto für Seite 16: Andreas Pflitsch, Seite 20: Damian Gorczany, Seite 32: Jennifer Herzog-Niescery, Seite 40: Roberto Schirdewahn, Seite 50: Katja Marquard

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ: Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum, www.einrichtungen.rub.de/de/agentur-fuer-markenkommunikation

DRUCK: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, Van-Delden-Str. 6-8, 48683 Ahaus, info@ld-medienhaus.de, www.ld-medienhaus.de

ANZEIGEN: Dr. Julia Weiler, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de

AUFLAGE: 3.900

BEZUG: Rubin erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter news.rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de gekündigt werden.

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

Die nächste Ausgabe von RUBIN erscheint am 3. Juni 2024.