

1 14 Prozent des deutschen Stromverbrauchs entfallen auf die Kälteerzeugung. Effizientere Kühltechnik wäre daher ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz.

2 So könnte ein magnetokalorisches Kühlsystem aussehen. Es kommt ohne klimaschädliche Kältemittel aus.

## KALORISCHE SYSTEME FESTKÖRPERBASIERTES KÜHLEN UND HEIZEN

Am Markt erhältliche Kühlsysteme und Klimaanlageanlagen arbeiten fast ausschließlich auf Basis von Kompressoren. Diese werden seit mehr als einhundert Jahren zur Kühlung eingesetzt. Dabei benötigen sie viel Energie und arbeiten mit Kältemitteln, die umweltschädlich, giftig oder leicht entzündlich sind und mitunter nur bei hohem Druck betrieben werden können. Hinzu kommt, dass sie den aktuellen Anforderungen bestimmter Märkte nicht mehr gerecht werden.

---

### Effizient kühlen ohne klimaschädliche Kältemittel

---

Gefragt sind vor allem kleine und leichte Kühlsysteme, die wartungsfrei über lange Zeiträume funktionieren und unempfindlich gegenüber hohen Temperaturschwankungen und Vibration sind – etwa für den Einsatz im Kühlschrank oder Automobil.

Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien sind eine zukunfts-

weisende Alternative zur kompressorbasierten Kältetechnik. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene magnetokalorische Kühlsysteme realisiert. Aber auch mit elasto- und elektrokalarischen Materialien lassen sich Wärmepumpen bauen, die ohne schädliche Kältemittel auskommen und den herkömmlichen Kühlsystemen im Hinblick auf Energieeffizienz um bis zu 30 Prozent überlegen sind.

Kalorische Materialien zeigen eine starke, reversible Wärmereaktion bei Anlegen eines entsprechenden Feldes (Magnetfeld, elektrisches Feld oder mechanische Kraft) und kühlen sich nach dessen Entfernen wieder ab. Dabei sinkt die Temperatur unter die Ausgangstemperatur. Dieser Effekt lässt sich für den Aufbau eines Kühlkreislaufs nutzen: Das erwärmte Material wird mit einer Wärmesenke verbunden, um die entstandene Wärme abzuführen. Verbindet man es mit einer zu kühlenden Stelle, nimmt es Wärme auf, bis die Ausgangstemperatur erreicht ist. So entsteht eine

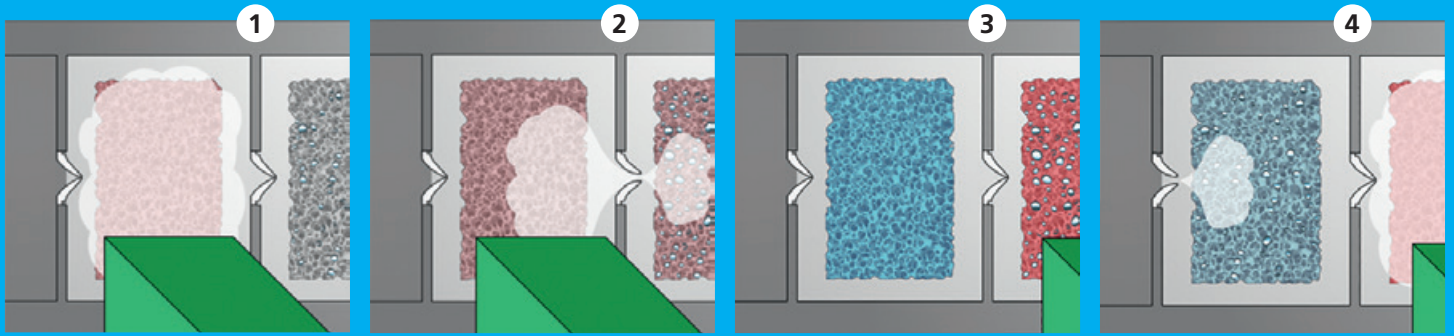
### Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM

Heidenhofstraße 8  
79110 Freiburg

#### Ansprechpartner

Dr. Kilian Bartholomé  
Stv. Abteilungsleiter, Gruppenleiter  
Kalorik und Thermoelektrik  
Telefon +49 761 8857 238  
kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de

[www.ipm.fraunhofer.de](http://www.ipm.fraunhofer.de)



effiziente Wärmepumpe, die ohne schädliche Kältemittel auskommt (Abb. 4).

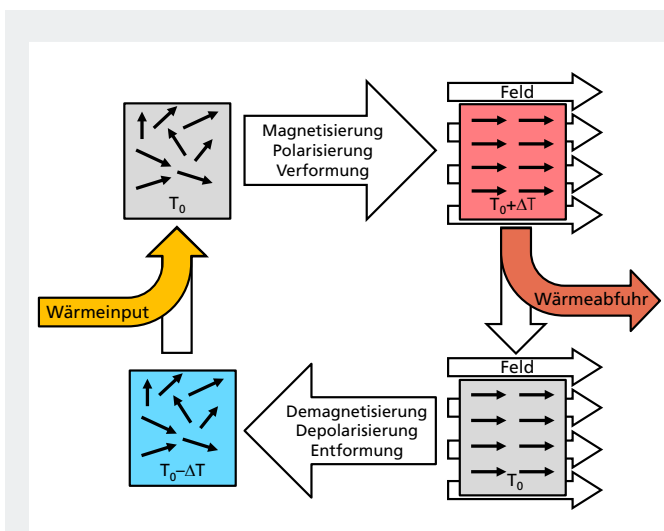
**Wärmeübertrag mit Heatpipes steigert Wirkungsgrad**

In den vergangenen Jahren wurden weltweit verschiedene, vor allem magnetokalorische Kältesysteme mit hohen Kühlleistungen und großen Temperaturspannen realisiert. Es entstanden Kühlzyklen mit Temperaturspannen von bis zu 50 K bzw. Kühlleistungen von mehreren Kilowatt. Allerdings konnte mit diesen Prototypen bisher keine Steigerung im Wirkungsgrad gegenüber konventionellen, kompressor-basierten Kühlsystemen gezeigt werden. Entscheidend für den Wirkungsgrad kalorischer Kühlkreisläufe ist eine effiziente Wärmeübertragung. Nahezu alle bisher realisierten Prototypen basieren auf dem »Active

Magnetic Regeneration (AMR)« Konzept. Dabei wird das Material mit einem gepumpten Fluid umspült, das die Wärme von der Quelle zur Senke überträgt. Aufgrund der niedrigen Zyklusfrequenz und der hohen erforderlichen Pumpenergie erweist sich der AMR-Ansatz als ineffizient.

Fraunhofer IPM setzt für die Optimierung des Wärmetransports erstmalig auf den latenten Wärmeübertrag, analog zu Heatpipes. In diesem patentierten Verfahren wird die Wärme durch Verdampfen und Kondensieren eines Fluids, beispielsweise Wasser oder Ethanol, in einem hermetisch abgeschlossenen Volumen übertragen (Abb. 3). Das Prinzip dieses sogenannten Thermosiphons ermöglicht Wärmeübergangskoeffizienten, die um Größenordnungen höher sind als bei der üblichen Wärmeübertragung mittels Wärmeleitung oder Konvektion.

**3 Effiziente Wärmeabfuhr am Beispiel eines magnetokalorischen Kühlkreislaufs:** Die Wärme wird nach dem Prinzip einer thermischen Diode in nur eine Richtung »weitergeschoben«: Durch die im Magnetfeld erzeugte Wärme verdampft Flüssigkeit im MK-Material (1). Der Druck im Segment steigt. Das Überdruckventil öffnet sich, sodass Dampf in das Nachbarelement gelangt (2). Nach Abschalten des Magneten kühlt das MK-Material auf unter die Ausgangstemperatur ab (3) Der Dampfdruck sinkt. Es entsteht ein Unterdruck gegenüber dem vorangehenden Segment. Gasförmiges Fluid strömt nach, Wärme wird aus dem vorangehenden Segment aufgenommen. (4)



**Kalorischer Zyklus**

**Magnetisierung / Polarisierung / Verformung**

Das kalorische Material erwärmt sich bei Anlegen eines entsprechenden Felds von der Ausgangstemperatur  $T_0$  auf  $T_0 + \Delta T$ .

**Wärmeabfuhr**

Das kalorische Material wird mit einer Wärmesenke verbunden, sodass die entstandene Wärme abgeführt werden kann. Das kalorische Material kühlt auf die Ausgangstemperatur  $T_0$  ab.

**Demagnetisierung / Depolarisierung / Entspannung**

Wird das Feld entfernt, kühlt sich das kalorische Material ab und befindet sich auf einer niedrigeren Temperatur  $T_0 + \Delta T$  als zu Beginn des Zyklus.

**Wärmezufuhr**

Das kalorische Material wird mit dem zu kühlenden System verbunden und nimmt Wärme auf bis die Ausgangstemperatur  $T_0$  erreicht ist.