

Kalorische Systeme

Festkörperbasiertes Kühlen und Heizen

Rund 50 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs entfallen auf die Erzeugung von Wärme und Kälte. Neue Technologien für effizientes Kühlen und Heizen sind ein wichtiger Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz.

Am Markt erhältliche Kältesysteme und Wärmepumpen arbeiten fast ausschließlich auf Basis von Kompressoren. Diese werden seit mehr als hundert Jahren v. a. in der Kältetechnik eingesetzt, haben jedoch einige Nachteile. Fraunhofer IPM entwickelt kalorische Wärmepumpen zum Kühlen und Heizen als Alternative zur Kompressortechnologie.

Die Kältetechnik ist eines der am schnellsten wachsenden Felder für zusätzlichen Energiebedarf. In Deutschland entfallen pro Jahr über 72 000 GWh Strom auf die technische Kälteerzeugung. Heute übliche kompressorbasierte Kühlsysteme führen die Wärme über den veränderten Aggregatzustand eines Kältemittels ab. Viele dieser Kältemittel sind klimaschädlich, giftig oder leicht entzündlich und können mitunter nur bei hohen Drücken betrieben werden. Die EU schränkt den Einsatz dieser Kältemittel daher zunehmend ein.

Für viele Anwendungen – etwa im Kühlschrank oder Automobil – sind kleine, leichte und geräuscharme Kühlsysteme gefragt. Sie sollen wartungsfrei über lange Zeiträume funktionieren, unempfindlich gegenüber hohen Temperaturschwankungen und Vibration sein und vor allem ohne schädliche Kältemittel auskommen.

Festkörperbasierte Kühlsysteme auf Basis kalorischer Materialien sind eine zukunftsweisende Alternative zur kompressorbasierten Kälte- und

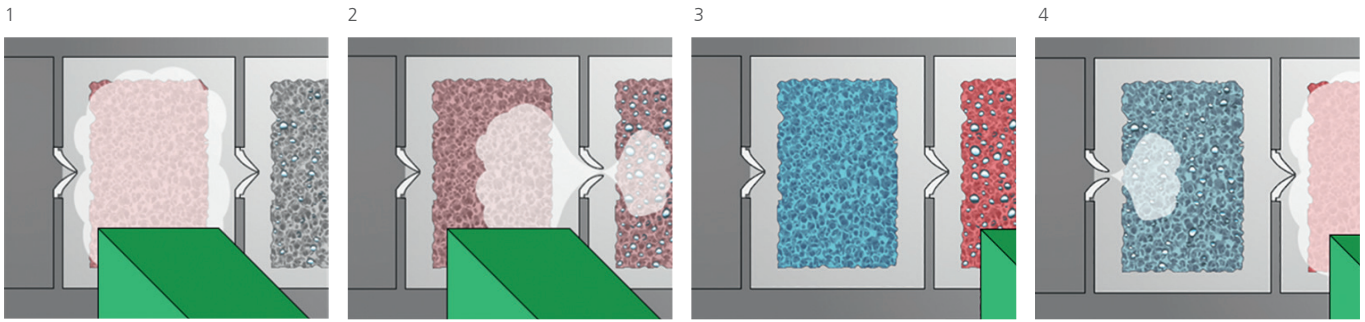
Wärmetechnik. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene magnetokalorische Kühlsysteme realisiert. Aber auch mit elasto- und elektrokolorischen Materialien lassen sich Wärmepumpen bauen, die herkömmlichen Kühlsystemen im Hinblick auf Energieeffizienz um bis zu 30 Prozent überlegen sind.

Effiziente Wärmepumpen – ohne schädliche Kältemittel

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. Führt man diese Wärme ab, 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

Vorteile

- **Effizient** Erhöhung des Wirkungsgrads gegenüber konventionellen Systemen um 20–30 Prozent möglich
- **Klimafreundlich** Verzicht auf schädliche Kältemittel
- **Wartungsarm** Ohne verschleißanfällige Teile
- **Geräuschlos** Überall einsetzbar



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 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).

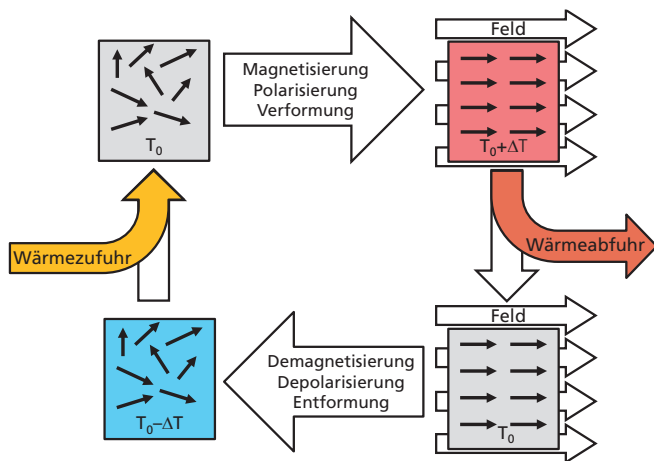
die Ausgangstemperatur erreicht ist. So entsteht eine effiziente Wärmepumpe, die ohne schädliche Kältemittel auskommt.

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, kompressorbasierten 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. Das Prinzip dieses sogenannten Thermo-siphons ermöglicht Wärmeübergangskoeffizienten, die um Größenordnungen höher sind als bei der üblichen Wärmeübertragung mittels Wärmeleitung oder Konvektion.



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 Wärme abgeführt werden kann. Das kalorische Material kühlt auf die Ausgangstemperatur T_0 ab.

Demagnetisierung / Depolarisierung / Entspannung: Wird das Feld entfernt, kühlt das kalorische Material auf eine niedrigere Temperatur als zu Beginn des Zyklus ab ($T_0 - \Delta T$).

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

Kontakt

Dr. Kilian Bartholomé
 Gruppenleiter Kalorische Systeme
 Telefon +49 761 8857-238
 kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM
 Georges-Köhler-Allee 301
 79110 Freiburg
 www.ipm.fraunhofer.de

