

Fokus Elektrokalorische Wärmepumpen

Kalorik statt Kompressor: Eine werkstoffbasierte Technologie soll Wärmepumpen effizienter machen.



Elektrokalorische Komponenten:
Für eine besonders effiziente Wärmeabfuhr wurden keramische Mehrlagenkomponenten in eine Heatpipe integriert.

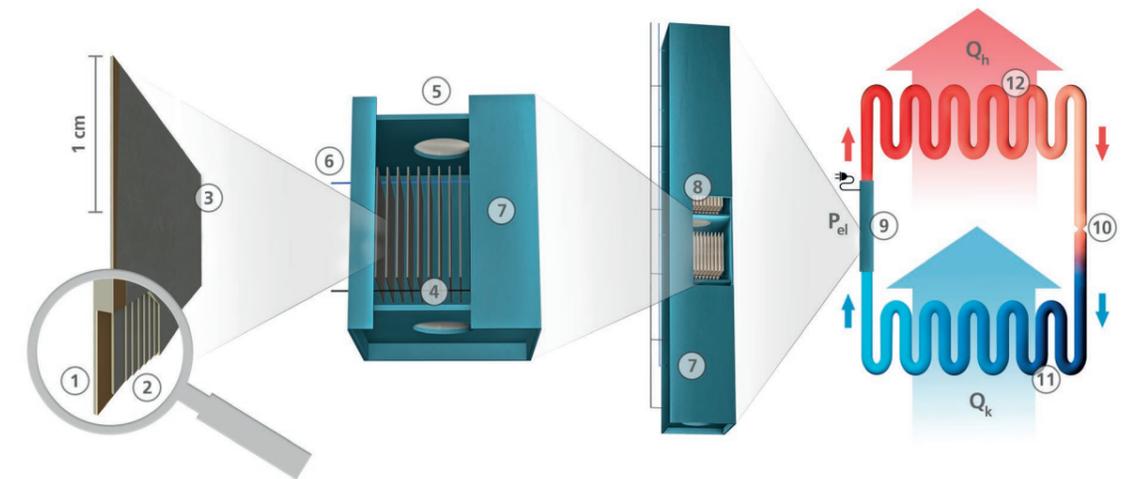
»Verdichten« lautet das Credo bei der Kälteerzeugung, seit Carl von Linde 1873 sein Patent für eine Kälteerzeugungsmaschine anmeldete. Kühlschränke, Klimaanlage und Wärmepumpen zum Heizen arbeiten bis heute nach dem Kompressor-Prinzip. Als Alternative zum Kompressor richtet sich das Augenmerk verschiedener Forschungsgruppen seit einigen Jahren auf kalorische Kühlsysteme. Hier wurden – auch am Fraunhofer IPM – in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte gemacht. Kompressoren erreichen in der Regel lediglich 40 bis 50 Prozent des sogenannten Carnot-Limits, also des maximal möglichen Wirkungsgrads. Bei kalorischen Wärmepumpen liegt die theoretisch erreichbare Leistungszahl deutlich höher. Zudem arbeiten die meisten Kompressoren noch immer mit brennbaren oder auch klimaschädlichen Kältemitteln.

Keine aufwändigen Materialien, kein Verschleiß

Fraunhofer IPM forscht seit mehr als sieben Jahren auf dem Gebiet der Kalorik und hat

bereits durchschlagende Erfolge bei der Entwicklung magneto- und elastokalorischer Wärmepumpen erzielt und in renommierten Fachzeitschriften publiziert. Auch das Thema elektrokalorische Wärmepumpen nimmt nun Fahrt auf: Im Fraunhofer-Leitprojekt EIKaWe arbeiten wir als Projektkoordinator seit 2019 gemeinsam mit fünf weiteren Fraunhofer-Instituten an der Entwicklung der Technologie. Unter den kalorischen Technologien ist die Elektrokalorik (EK) am wenigsten erforscht. Dabei hat sie einige spezifische Vorteile gegenüber den alternativen kalorischen Ansätzen: Elektrokalorische Systeme kommen ohne teure Materialien und aufwändige Mechanik aus – ein Plus in puncto Kosten, Baugröße und Langzeitstabilität.

Wie in allen kalorischen Systemen funktioniert das Pumpen von Wärme auch in EK-Systemen mithilfe kalorischer Materialien: In diesem Fall sind es Keramiken oder Polymere. Sie erwärmen sich beim Anlegen eines elektrischen Felds und kühlen ab, sobald das Feld entfernt wird. Die beim Anlegen des elektrischen



Aufbau einer elektrokalorischen (EK) Wärmepumpe: Die EK-Komponenten bestehen aus den EK-Materialien (1) inklusive Elektroden (2) und Beschichtung (3). Mehrere dieser Komponenten (4) sowie Rückschlagventile (5) und elektrische Zuleitung (6) werden in ein gasdichtes Gehäuse (7) integriert und zu einem EK-Segment zusammengefügt. Mehrere solcher EK-Segmente (8) in Reihe geschaltet ergeben das EK-System (9) und zusammen mit einer Drossel (10), dem Verdampfer (11) und dem Kondensator (12) eine EK-Wärmepumpe.

Felds entstehende Wärme wird über eine Wärmesenke abgeführt, sodass das Material wieder auf die Ausgangstemperatur abkühlt. Sobald das Feld entfernt wurde, kann das Material also thermische Energie aus einer Wärmequelle aufnehmen. Dieser zu einem sehr hohen Grad reversible Effekt lässt sich als elektrokalorischer Zyklus etablieren – und damit als Basis für sehr energieeffiziente Kühlsysteme und Wärmepumpen.

Hohe Zyklusfrequenz: schneller Wärmeübertrag für hohe Leistungsdichte

Trotz der technologischen Vorteile wird sich die Elektrokalorik am Markt nur dann etablieren können, wenn sie auch von den Kosten her konkurrenzfähig ist. Dies setzt Systeme mit hoher Leistungsdichte voraus, d. h.: Mit möglichst wenig EK-Material muss möglichst viel Wärme gepumpt werden. Wieviel Wärme ein solches System pumpen kann, hängt von der Zyklusfrequenz ab. Und diese wiederum hängt davon ab, wie schnell die Wärme vom kalorischen Material abgeführt werden kann. Ein am Fraunhofer IPM entwickeltes, patentiertes Konzept für den Wärmeübertrag funktioniert nach dem Prinzip einer Heatpipe durch Verdampfen und Kondensieren einer Flüssigkeit. So wird Wärme bis zu hundertfach schneller übertragen als bei üblichen Entwärmungskonzepten, die z. B. auf dem aktiven

Pumpen von Flüssigkeiten basieren. Das Konzept wurde bereits in am Institut entwickelten elektrokalorischen Systemen erprobt und erreicht Zyklusfrequenzen von bis zu 10 Hz.

Entscheidend: Material und Systemaufbau

Für die EK-Wärmepumpe der Zukunft müssen vor allem zwei Dinge optimiert werden: Die Güte des EK-Materials und der Systemaufbau, der optimal auf das Material abgestimmt sein muss. Im Rahmen des EIKaWe-Projekts arbeiten die Forschungspartner an der Realisierung von EK-Funktionsmaterialien mit hoher Gütezahl und entsprechenden Herstellungsprozessen. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung der Elektronik, die Beschichtung der Komponenten sowie Zuverlässigkeitsprüfungen. Fraunhofer IPM ist verantwortlich für Auslegung, Bau und Charakterisierung des Systems mit Blick auf den optimierten Wärmeübertrag. Bislang erreichte das Team mit einem Laboraufbau eine Leistungsdichte von 1,8 W pro eingesetztem Gramm des elektrokalorischen Materials – mehr als eine Größenordnung über bisher bekannten vergleichbaren Systemen.



Projektwebseite EIKaWe



Effizient und ohne bewegliche Teile heizen und kühlen – das ist nur mit Elektrokalorik möglich!«

Dr. Kilian Bartholomé,
Gruppenleiter