

< Fraunhofer IPM setzt zur Kühlung auf druckbasierte elastokalorische Systeme, die sich als besonders langzeitstabil erweisen.

## GRUPPE KALORISCHE SYSTEME

# Kleiner Kühlschranks, großes Potenzial: Kühlen mit elastokalorischen Materialien

Seit einigen Jahren forschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Fraunhofer IPM an festkörperbasierten Kühltechnologien. Mit Erfolg: Auf der Kühltechnik-Messe Chillventa 2018 stellte das Team den weltweit ersten Mini-Kühlschrank vor, der mithilfe eines elastokalorischen Kühlsystems betrieben wird.

Festkörperbasierte Wärmepumpen auf Basis kalorischer Materialien könnten eines Tages die in der Kühltechnik üblichen Kompressoren ersetzen. Sie sind potentiell effizienter als Kompressoren und kommen ohne schädliche Kältemittel aus.

### Elastokalorische Kühlung – das Prinzip

In elastokalorischen Materialien kommt es unter Zug oder Druck zu einer kristallinen Phasenumwandlung, wobei sich das Material von der Ausgangstemperatur  $T_0$  auf  $T_0 + \Delta T$  erwärmt. Über eine Wärmesenke wird die entstandene Wärme abgeführt und die Temperatur des Materials fällt auf die Temperatur  $T_0$  zurück. Entfernt man die mechanische Spannung, so kühlt sich das Material auf eine Temperatur unterhalb des Ausgangsniveaus ( $T_0 - \Delta T$ ) ab. Beim Verbinden des Materials mit einer zu kühlenden Stelle nimmt es Wärme auf, bis die Ausgangstemperatur erreicht ist. Durch zyklische Be- und Entlastung des Materials und entsprechende Wärmeabfuhr lässt sich ein Kreisprozess für die Kühlung herstellen. Ein solches am Fraunhofer IPM aufgebautes elastokalorisches Kühlsystem hat nun erstmals die Marke von über drei Millionen Zyklen geknackt – ein wichtiger Schritt in Richtung Langzeitstabilität und damit in Richtung Markttauglichkeit. Für eine mögliche Kommerzialisierung liegt die

Messlatte bei um die fünf Milliarden Zyklen. Dass dies eine Herausforderung ist, leuchtet unmittelbar ein, bedenkt man die Funktionsweise elastokalorischer Systeme, die naturgemäß auf Materialermüdung ausgelegt ist: Das schnelle Dehnen und Entlasten des Materials führt zu Mikrorissen und damit früher oder später zum Zerreißen. Elastokalorische Systeme, die den Temperatursprung durch Dehnen des Materials herbeiführen, erreichen denn auch bisher lediglich bis etwa zehntausend Zyklen.

### Drücken statt Ziehen

Fraunhofer IPM setzt vor diesem Hintergrund auf einen alternativen Ansatz: Statt das elastokalorische (EK) Material zu dehnen, wird es mithilfe einer Presse komprimiert. Das am Fraunhofer IPM aufgebaute System arbeitet mit Nitinolstäben von 11 mm Länge und einem Durchmesser von 2,5 mm. Durch das Stauchen kommt es äquivalent zu den zugbelasteten Materialien zu vergleichbaren Temperaturhüben, jedoch ohne Rissbildung. Allerdings bringt der Ansatz gegenüber der Zugvariante durchaus einige Herausforderungen mit sich: Beim Ziehen des elastokalorischen Materials können haarfeine, wenn nötig meterlange Drähte eingesetzt werden, sodass relativ geringe Systemkräfte ausreichen. Vergleichbar dünne

**ELASTOKALORISCHE (EK)-MATERIALIEN** sind Formgedächtnislegierungen, die nach einer Verformung – z. B. durch Ziehen oder Pressen – in ihre ursprüngliche Form zurückfinden. Die kommerziell verfügbare Nickel-Titan-Legierung Nitinol zählt zu den bekanntesten EK-Materialien. Allerdings: Beim Ziehen stellt sich bereits nach wenigen tausend Zyklen Materialermüdung ein. Neue Materialien lassen hoffen, dass diese Grenze in Zukunft deutlich nach oben verschoben wird: Ein deutsch-amerikanisches Forscherteam entwickelte 2015 eine Legierung ( $Ti_{54}Ni_{34}Cu_{12}$ ), die durch Zusetzen von Kupfer zur herkömmlichen Nickel-Titan-Mischung eine Stabilität über mehr als  $10^7$  Zyklen erreicht.

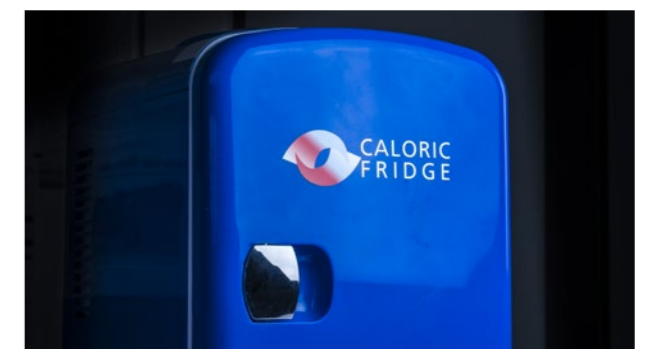
Drähte würden beim Stauchen einfach wegnicken. Daher ist die Länge der Stäbe – und damit die für den Wärmeübertrag zur Verfügung stehende Oberfläche – in druckbasierten Systemen geringer als in Zugsystemen.

### Patentiertes Konzept zum Wärmeübertrag

Den geringeren Wärmeübertrag aufgrund des ungünstigeren Aspektverhältnisses gleicht das von Fraunhofer IPM entwickelte System durch ein besonders effizientes patentiertes Konzept zum Wärmeübertrag zwischen EK-Material und Wärmeübertragereinheit aus. Üblicherweise wird dieser Wärmeübertrag durch aktives Pumpen eines Fluids bzw. durch Presskontakte zwischen elastokalorischem Material und Wärmeübertrager realisiert. Fraunhofer IPM setzt auf einen passiven Ansatz mit latentem Wärmeübertrag, auf dem auch sogenannte Heatpipes oder Thermosiphons basieren. Der Wärmeübertrag wird dabei über Verdampfen und Kondensieren eines Fluids, in diesem Fall Wasser (latent), realisiert. Das Fluid befindet sich in einem hermetisch abgeschlossenen, von allen Fremdgasen befreiten Rohr und liegt sowohl in flüssiger als auch in gasförmiger Form vor. Einzelne elastokalorische Segmente werden in Reihe geschaltet und als thermische Dioden konzipiert, sodass Wärme segmentweise in eine Richtung transportiert und jeweils eine Seite des Segments gekühlt und die andere erwärmt wird. Der Wärmeübergangskoeffizient erreicht Werte bis  $100 \text{ kW} / (\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und ist somit um Größenordnungen höher als bei alternativen Wärmeübertragungskonzepten. Der Ansatz ermöglicht Zyk-

lusfrequenzen von über 10 Hz – eine essentielle Voraussetzung für kostengünstige, marktfähige Systeme.

Der Prototyp des elastokalorischen Mini-Kühlschranks zeigt, dass festkörperbasierte Kühlkonzepte die nötige Langzeitstabilität erreichen können. Bis zur Marktreife gibt es jedoch noch einiges zu tun: Derzeit optimiert das Team Systemdesign und Komponenten, u. a. mithilfe von Simulationen, und arbeitet an Strategien zur vollständigen Rekuperation der zur Komprimierung eingesetzten Druckenergie, um Kühlleistung und Energieeffizienz zu steigern. Außer an elastokalorischen Kühlkonzepten arbeitet Fraunhofer IPM auch erfolgreich an magnetokalorischer Kühltechnik. Lesen Sie dazu das Interview mit unserem Kooperationspartner Dr. Jochen Kopitzke vom Kühltechnik-Hersteller Philipp Kirsch GmbH (S. 22–23).



Prototyp eines am Fraunhofer IPM entwickelten elastokalorisch betriebenen Mini-Kühlschranks.