

1 Druck erzeugt Wärme:
Werden elastokalorische Materialien verformt, erwärmen sie sich. Dieser reversible Effekt lässt sich für den Aufbau von Wärmepumpen nutzen.

GRUPPE KALORIK UND THERMOELEKTRIK

Effiziente elastokalorische Wärmepumpen

Wärmepumpen arbeiten fast ausschließlich mit Kompressoren – unabhängig davon, ob sie zur Kühlung oder als Heizung eingesetzt werden. Sie belasten die Umwelt mit Kältemitteln und erreichen eine vergleichsweise geringe Effizienz. Fraunhofer IPM entwickelt effiziente elastokalorische Wärmepumpen als Alternative zur Kompressor-Technologie – zentrale Innovation ist ein neuartiges Konzept zum Wärmeübertrag.

Klimageräte im Haus und Auto, Kühlschränke oder Erdwärmehisungen – sie alle arbeiten mit Wärmepumpen. Die darin eingesetzten Kältemittel sind zumeist schädlich oder gefährlich, sodass die EU die Nutzung ab 2020 mehr und mehr reglementiert. Neue Technologien für den milliardenschweren Wärmepumpen-Markt sind also dringend gefragt. Festkörperbasierte kalorische Systeme auf Basis magneto-, elektro- oder elastokalorischer Materialien werden seit einigen Jahren als eine vielversprechende Alternative gehandelt, an der auch Fraunhofer IPM intensiv forscht.

Elastokalorische (EK)-Materialien können zwei verschiedene Kristallstrukturen annehmen. Unter Druck kommt es 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. Verbindet man das Material mit einer zu kühlenden Stelle, so nimmt es Wärme auf, bis die Ausgangstemperatur erreicht ist. Durch zyklische Be- und Entlastung des Materials und entsprechende Wärmeabfuhr lässt sich ein

Kreisprozess herstellen. So entsteht eine effiziente, Wärmepumpe zum Kühlen oder Heizen – ohne schädliche Kältemittel. Formgedächtnislegierungen wie etwa die kommerziell verfügbare Nickel-Titan-Legierung Nitinol zählen zu den Materialien mit einem ausgeprägten elastokalorischen Effekt, der einen großen Temperaturhub ermöglicht.

Latenter Wärmeübertrag erhöht Effizienz

In einem Versuchsaufbau erzielten Wissenschaftler am Fraunhofer IPM bei Anlegen eines Drucks von 750 MPa an Nitinol-Stäben eine Temperaturdifferenz von 15 K. Einzelne Forscherteams erreichen einen vergleichbaren Temperaturhub. Entscheidend für die Gesamteffizienz einer elastokalorischen Wärmepumpe ist jedoch der Wärmeübertrag zwischen EK-Material und Wärmeübertragereinheit. Gängige Konzepte realisieren diesen durch aktives Pumpen eines Fluids. Der Nachteil: Das Pumpen verringert die Systemeffizienz und limitiert die Zyklusfrequenz des Systems auf wenige Hertz. Mit dem Konzept des latenten Wärmeübertrags verfolgt Fraunhofer IPM erstmalig einen passiven Ansatz, der bereits in Heatpipes oder Thermosiphons genutzt wird. Der Wärmeübertrag wird dabei über Verdampfen und

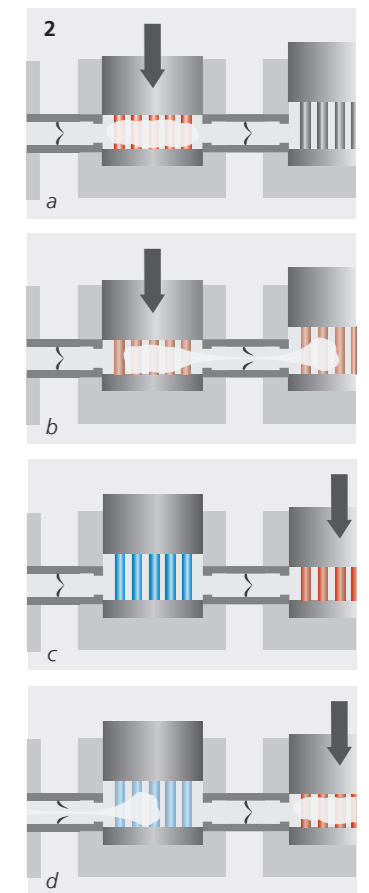
DER ELASTOKALORISCHE EFFEKT wurde bereits im frühen 19. Jahrhundert beim schnellen Dehnen und Loslassen von indischem Gummi beobachtet. Etwa fünfzig Jahre später berichtete der Physiker J.P. Joule von kleinen reversiblen Temperaturänderungen in Metallen und Holz, hervorgerufen durch Krafteinwirkung. Erst in den 1980er Jahren wurden Studien zu latenter Wärmeentwicklung und damit verbundenen Temperaturänderungen in NiTi und Cu-basierten Materialien durchgeführt.

Kondensieren eines Fluids, z. B. Wasser oder Ethanol, (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. Der Wärmeübergangskoeffizient beim Verdampfen erreicht Werte bis $100 \text{ kW} / (\text{m}^2 \text{K})$ und ist somit um Größenordnungen höher als bei klassischen Systemen. 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. Erste Abschätzungen zeigen, dass der Transport von einem Segment zum nächsten innerhalb von Millisekunden erfolgen kann, sodass das System mit einer Frequenz von über 10 Hz betrieben werden kann. Die patentierte Kombination von latentem Wärmeübertrag und thermischer Diode in einer elastokalorischen Wärmepumpe verspricht eine hohe Pumpleistung sowie eine hohe Effizienz.

Erste Prototypen realisiert

Bisher haben die Wissenschaftler in einem ersten System einen Temperaturhub von 10 K mit kommerziellen verfügbaren EK-Materialien realisiert. Nächstes Ziel ist der Bau einer EK-Wärmepumpe als Demonstrator, der eine Pumpleistung von 100 Watt und einen Temperaturhub von 35 K bei einer Leistungszahl von über 5 realisiert. Dafür sind noch eine Reihe von Herausforderungen zu bewältigen: Das Material muss seine Zyklusstabilität beweisen. Die angestrebte Leistungszahl ist nur bei größtmöglicher

2 Funktionsweise eines elastokalorischen Segments:
Phase 1 – Komprimierung:
(a) Das EK-Material wird durch eine externe Kraft komprimiert und erwärmt sich, die vorhandene Flüssigkeit verdampft. (b) Dadurch steigt der Dampfdruck im Segment, das Ventil nach rechts öffnet sich, das gasförmige Fluid entweicht und überträgt latente Wärme ins nächste Segment.
Phase 2 – Entspannung:
(c) Die externe Kraft wird entfernt, das EK-Material kühlt ab. (d) Der Dampfdruck sinkt, es entsteht ein Unterdruck gegenüber dem vorangehenden Segment. Gasförmiges Fluid strömt nach, Wärme wird aus dem vorangehenden Segment aufgenommen.



Rekuperation der elastischen Verformung möglich. Ein entsprechendes Konzept zur Energierückgewinnung mittels Exzenter soll dafür entwickelt werden. Auch hier sind umfangreiche Simulationen und Designoptimierung notwendig.