

Kalorische Kühlung

Kompressorbasierte Systeme zur Kälteerzeugung wie handelsübliche Haushaltskühlschränke, Gefriergeräte oder auch industrielle Kühlanlagen hinterlassen mit einem hohen Stromverbrauch und oft umweltbelastenden Kältemitteln einen unerwünschten ökologischen Fußabdruck, der z. B. einen nicht wiederumkehrbaren CO₂-Anstieg zur Folge hat. Zusätzlich verlangen auch noch gesetzliche Vorgaben jetzt schon eine Minimierung des Einsatzes z. B. von FKW als Kältemittel in Kältesystemen. Abhilfe schaffen könnte hier die Nutzbarmachung sogenannte kalorischer Materialsysteme zur Kühlung, weil diese ohne Kältemittel auskommen und prinzipiell höhere Wirkungsgrade versprechen als kompressorbasierte Kühlgeräte. Je nach Ausprägung befinden sich diese heute bereits im Prototypenstadium.

Die kalorische Kühlung gehört zu den festkörperbasierten Kühlmethoden und wird durch kalorische Materialeffekte erzeugt. Je nachdem, ob der Effekt auf Magnetisierung, Polarisierung oder Verformung basiert, unterscheidet man magneto-, elektro- und elastokalorische Kühlsysteme. Der magnetokalorische Effekt ist in allen ferromagnetischen Materialien mit unterschiedlich starker Ausprägung sichtbar, die sich in einem Magnetfeld befinden. Der elektrokakorische Effekt ist z. B. bei Keramiken innerhalb eines elektrischen Feldes beobachtbar, wo es zu einer Richtungsänderung der Polarisierung kommt. Und der elastokalorische Effekt zeigt sich bei einem elastischen Material wie z. B. bei Formgedächtnislegierungen unter mechanischer Belastung, die hier zu einer Änderung der Kristallstrukturen führt. Unabhängig vom jeweiligen Effekt laufen die Kühlkreisläufe aber komplett äquivalent ab. Zuerst wird im kalorischen Material unter magnetischer, elektrischer oder mechanischer äußerer Einwirkung eine starke, reversible Temperaturerhöhung initiiert. Anschließend wird die Wärme in eine externe Wärmesenke abgeführt, z. B. unter Nutzung einer Kühlflüssigkeit auf Wasserbasis. Hierdurch pendelt sich die Temperatur des kalorischen Materials wieder auf die Ausgangstemperatur ein. Dann führt das Zurückfahren des äußeren

Einflusses (Entmagnetisierung, Entpolarisierung oder Entspannung) zu einer Abkühlung des kalorischen Materials unterhalb der Ausgangstemperatur. Zu guter Letzt wird dann das kalorische Material mit dem zu kühlenden System verbunden und nimmt von diesem Wärme auf, bis es die Ausgangstemperatur wieder erreicht hat. Der immer wiederkehrende Kreisprozess und die ständige Wärmeabfuhr gewährleisten somit den gewollten Kühlungsmechanismus.

Die kalorische Kühlung ist überall dort potenziell einsetzbar, wo die kompressorbasierte Kühlung derzeit auch genutzt wird. Hierbei sind Anwendungen wie z. B. die Kühl- und Klimatechnik in Gebäuden oder im Automobilbereich, Kühlschränke in Haushalt, Industrie und Wissenschaft, Server- und Schaltschränkkühlungen und die Kryotechnik denkbar. Zusätzlich zeigt das Verfahren Potenzial für einen Einsatz als Kühlverfahren von Elektronik und Optoelektronik sowohl im Automobilbereich als auch in der Luft- und Raumfahrt. Mittels der kalorischen Materialeffekte ist neben einer Kühl- auch eine Heizwirkung möglich, diese wird aber bedingt durch ein geringes Forschungsinteresse derzeit nicht so intensiv verfolgt.

Vielversprechende Prototypen mit kalorischem Kühleffekt sind teils schon vor 20 Jahren erschienen und haben eindrucksvoll ihre Machbarkeit gezeigt. Die kalorische Kühlung ist durch eine energieeffiziente, umweltfreundliche, geräusch- und wartungsarme Arbeitsweise charakterisiert und verfügt außerdem über einen theoretischen Wirkungsgrad von 50 bis 60 %, während dieser Wert bei der kompressorbasierten Kühlung um 45 % liegt. Durch den Wegfall des Kompressors wäre nicht nur der Energiebedarf der kalorischen Kühlsysteme geringer, außerdem wäre eine kompaktere Bauweise des Kühlsystems möglich. Insgesamt wäre z. B. auf Basis des magnetokalorischen Kühleffekts im Vergleich zu kompressorbasierten Kühlsystemen eine Steigerung der Energieeffizienz um 20 bis 50 % realistisch. Des Weiteren wird den kalorischen Kühlsystemen eine noch höhere Lebensdauer, bedingt durch eine

hohe Resistenz gegenüber Erschütterungen und Vibrationen, vorhergesagt.

Trotz aller vielversprechenden Innovationen existiert jedoch noch eine Vielzahl kalorischer Materialien, die den gewünschten Anforderungen nicht gerecht werden und teils nur moderate Temperaturänderungen erreichen. Für eine zukünftige Umsetzung in Kühlsystemen sind kalorische Materialien z. B. mit hoher Wärmeleitfähigkeit, einer niedrigen spezifischen Wärmekapazität sowie einer guten chemischen und mechanischen Stabilität notwendig. Wenige Materialien für die magnetokalorische Kühlung sind schon kommerziell erhältlich, und zahlreiche weitere Materialien werden untersucht. Demgegenüber befindet sich die Erforschung von Materialien sowohl für die elektro- als auch die elastokalorische Kühlung noch im Grundlagenstadium. Die Entwicklung der Materialien für die kalorische Kühlung ist also lange noch nicht abgeschlossen und erfordert weitere Ansätze. Auch wenn jetzt schon Forschungsergebnisse als auch Prototypen der kalorischen Kühleffekte zeigen, dass leistungsstarke, effiziente und klimafreundliche Kühlsysteme mit gleichzeitig hohem Wirkungsgrad möglich sind, ist eine industrielle Umsetzung erst mittel- bis langfristig denkbar. Da der magnetokalorische Effekt schon seit Jahrzehnten in der Forschung das größte Interesse genießt, zeigt dieser das größte Potenzial für eine zukünftige Anwendbarkeit solcher Kühlsysteme. Durch das rege Forschungsinteresse an dem elektro- als auch dem elastokalorischen Effekt in den letzten Jahren versprechen diese aber ebenfalls eine vielversprechende zukünftige Praxistauglichkeit.

So ist letztlich damit zu rechnen, dass die kalorische Kühlung tatsächlich in der Klima- und Kältetechnik als innovatives Kühlverfahren ohne den Einsatz klimaschädlicher, gasförmiger Kältemittel genutzt werden und insbesondere eine ernstzunehmende Alternative zu den aktuellen konventionellen Kühlverfahren sein wird.

Dr. Baycan Yildirim