Leitprojekt ElKaWe

06. November 2025 - Smart Materials Summit

Kilian Bartholomé, Sylvia Gebhardt, Michael Wegener

Warum Elektrokalorik?

Eine Disruption in der Kälte- und Klimatechnik

Kühlen, Klimatisieren und Heizen

- Enorm klimarelevantes Thema:

  15 % des globalen Primärenergieverbrauchs
- Ein Megamarkt:

  60 Mrd. $ mit 5.6 % Wachstum (2021)

Herzstück in allen diesen Anwendungen ist der Kompressor:

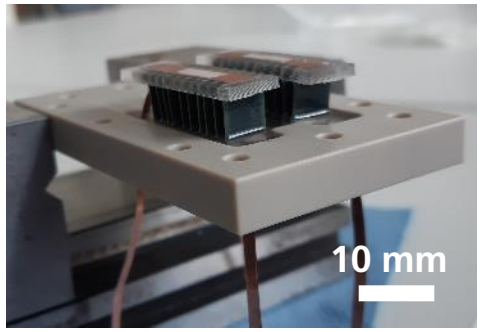
- Das Effizienzpotential im Wesentlichen ausgereizt
- Bedarf an Kältemitteln (z. T. brennbar, klimaschädlich)
- Mechanisch, damit laut

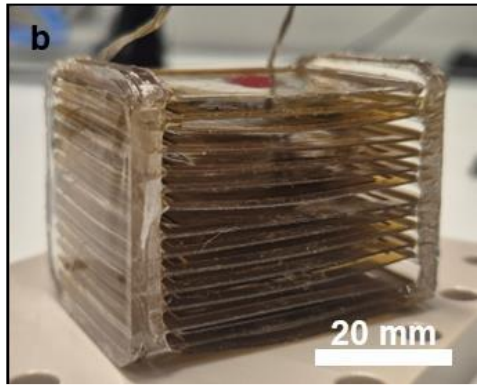
Fraunhofer

Kältetechnik mit Disruptionspotential

Elektrokalorik

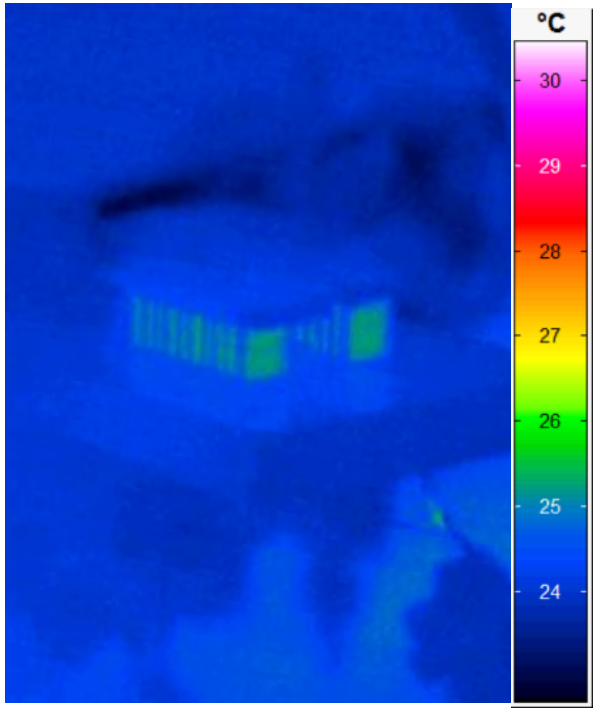
Material





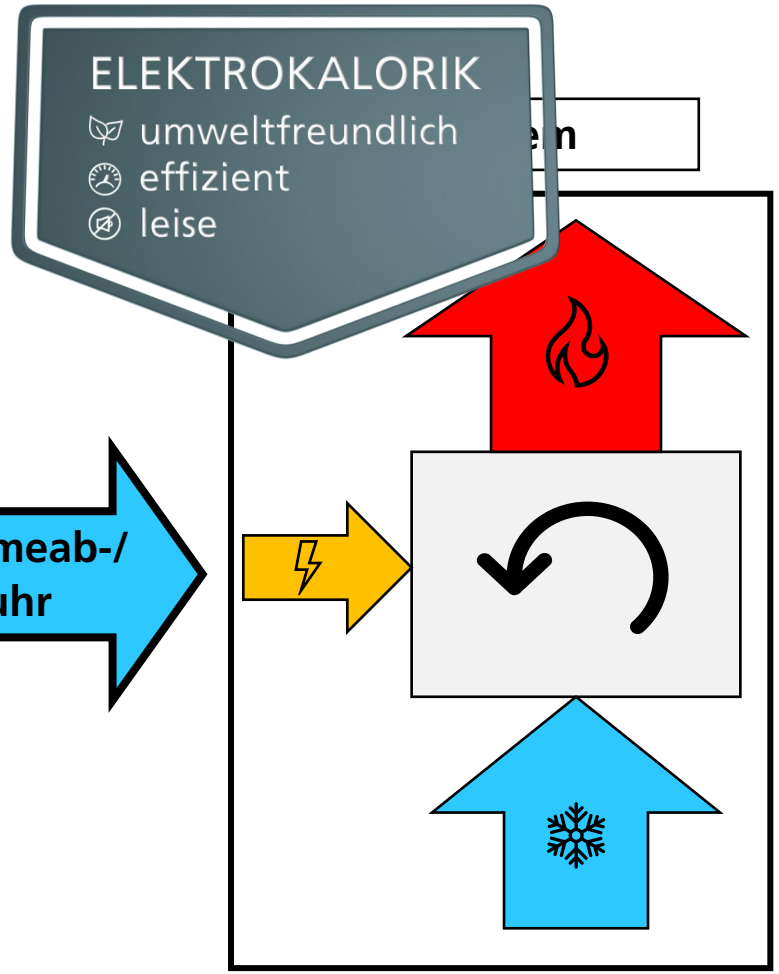
Elektrisches Feld

Effekt



Wärmeab-/ -zufuhr

em

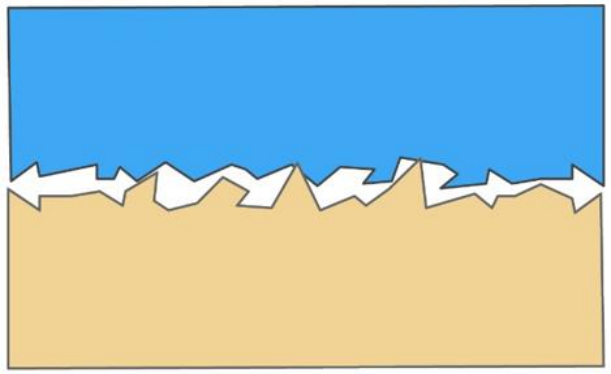


Fraunhofer

Elektrokalorische Systeme

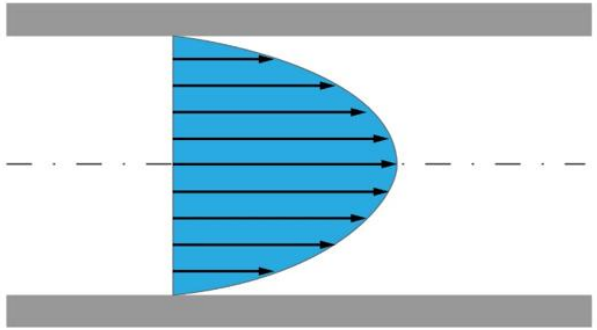
Der Wärmeübertragung als Schlüssel für effiziente Systeme

Festkörperkontakt



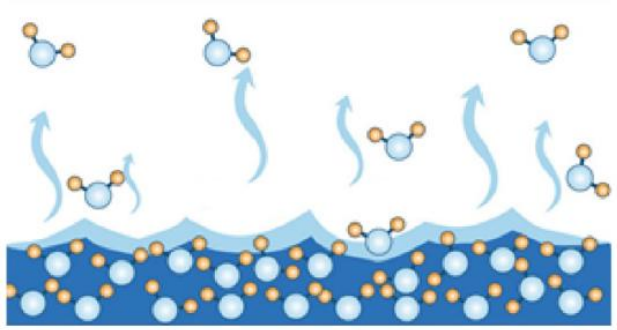
$$10 – 10\,000 \ \frac{W}{m^2\,K}$$

Konvektion



$$100 – 10\,000 \ \frac{W}{m^2\,K}$$

Verdunstung/Kondensation



$$1\,000 – 100\,000 \ \frac{W}{m^2\,K}$$

Fraunhofer

ELEKTROKALORIK
umweltfreundlich
effizient
leise
kostengünstig

Leitprojekt *ElKaWe*

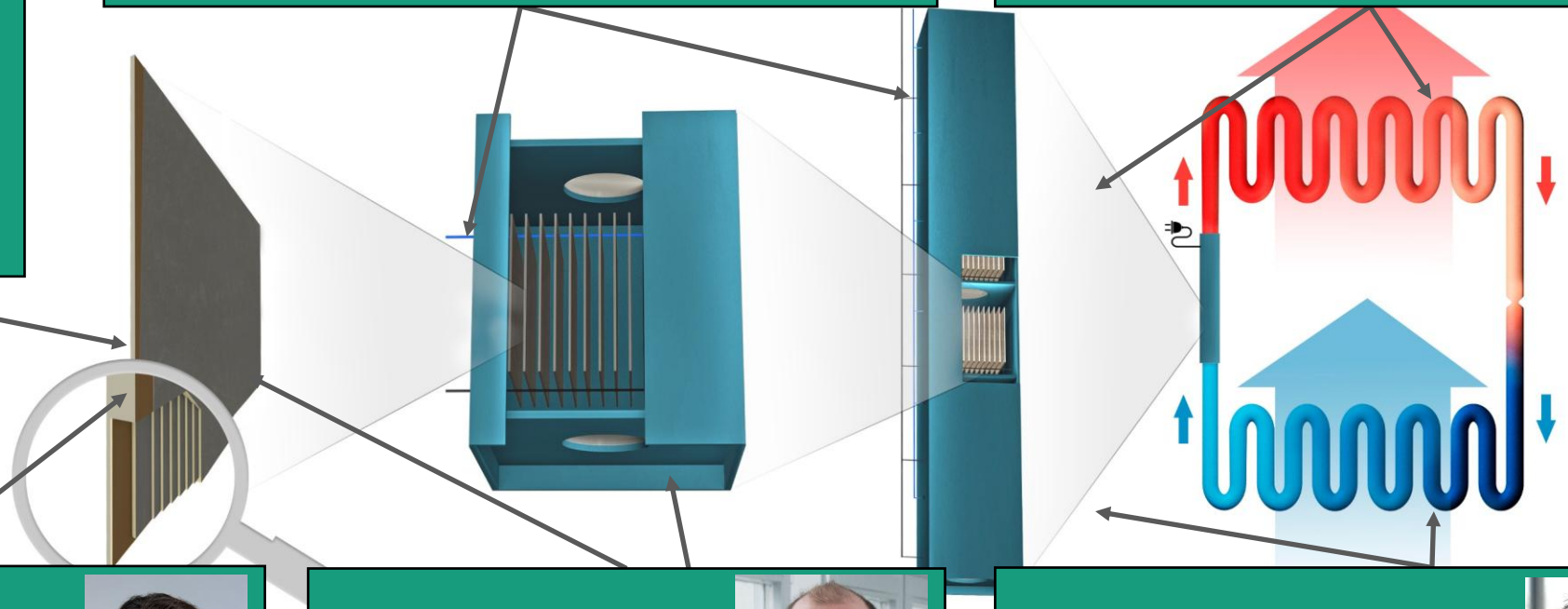
»Polymermaterialien und Komponenten«

»Hybridmaterialien«

Michael Wegener (IAP)

»Elektrische Ansteuerung«
Stefan Mönch (IAF)

»Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität« :
Dirk Lellinger (LBF)



»Keramische Materialien und Komponenten«
Sylvia Gebhardt (IKTS)

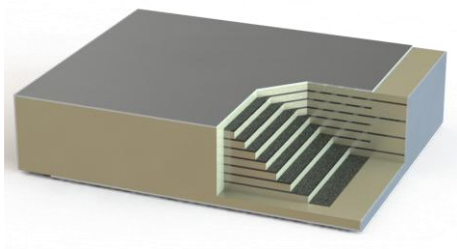
»Beschichtungen«
Fred Fietzke (FEP)

»Gesamtsystem und Simulation«
Kilian Bartholomé (IPM)

Fraunhofer

Elektrokalorische Komponenten

Bleibasierte keramische Werkstoffe



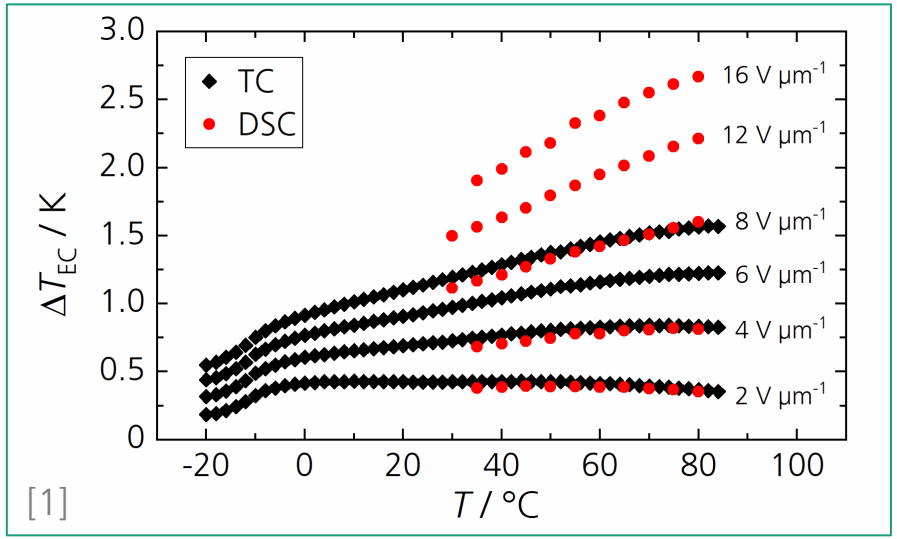
PMN-PT-basierte Komponenten

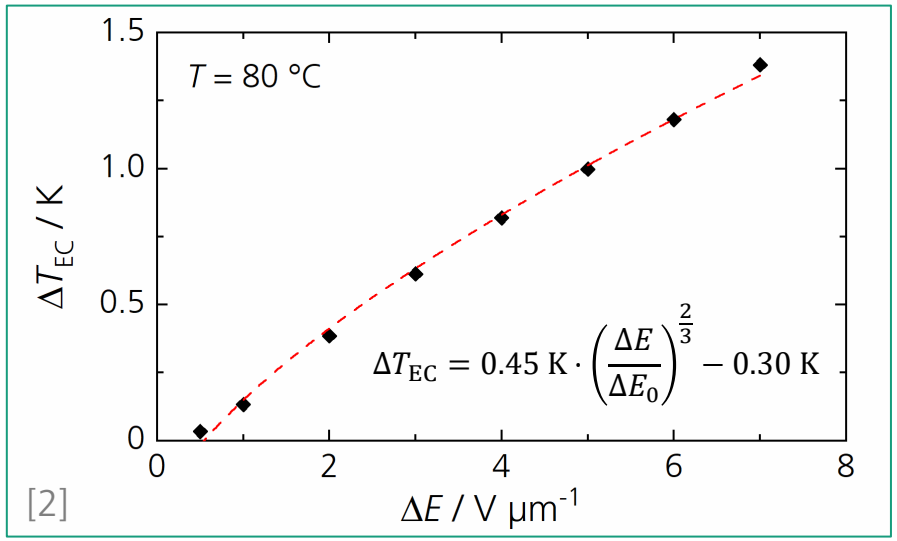
Materialeigenschaften

- **Relaxor ferroelektrisch**: diffuser Phasenübergang
- Elektrokalorischer Effekt über einen großen Temperaturbereich
- Arbeitstemperatur einstellbar über PT-Gehalt

PMN-8PT Multilagenkomponenten

- Hohe Spannungsfestigkeit
- Hohes Kältemittelvolumen
- Höchstes ΔT_{EC} **= 2.7 K** (@ 80 °C, ΔE = 16 V µm^{-1})
- Bei noch höheren elektrischen Feldern (e.g., ΔE = 30 V µm^{-1})
  - ΔT_{EC} **um 4 K** möglich



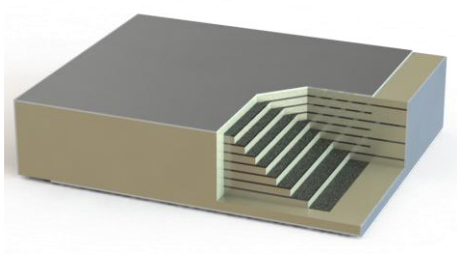


[1] Molin et al., J. Am. Ceram. Soc. *100* (7), **2017**, 2885-2892.
[2] Molin et al., Energy Technol. *6* (8), **2018**, 1543-1552.

Fraunhofer

Elektrokalorische Komponenten

Bleifreie keramische Materialien



$BaTiO_3$-basierte Komponenten

Herstellung von mehrschichtigen keramischen Bauteilen mit Pt-Innenelektroden

BSSnT ohne Modifikation

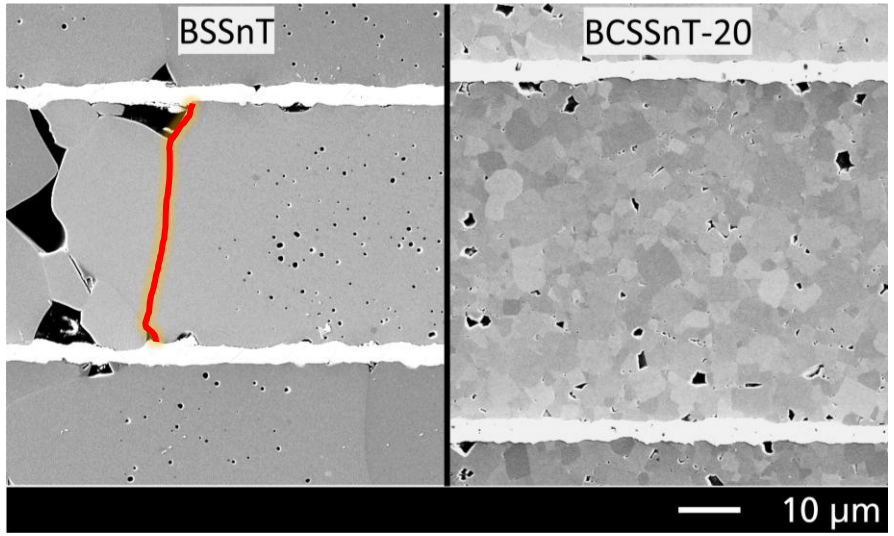
- Abnormales Kornwachstum
- Geringe Durchschlagsfestigkeit

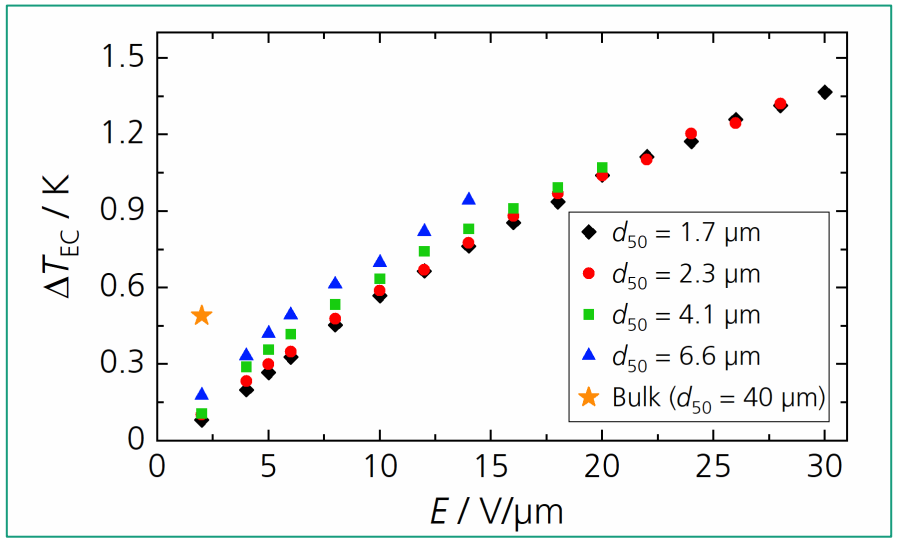
Verfeinerung des Gefüges notwendig

BSSnT mit Modifikation

- Korngröße deutlich reduziert
- Deutliche Verbesserung der Durchschlagsfestigkeit auf **bis zu 30 V/µm**

EC-Effekt hängt stark von der Korngröße ab





[1] Molin et al., Open Ceramics. 23, **2025**, 100829.

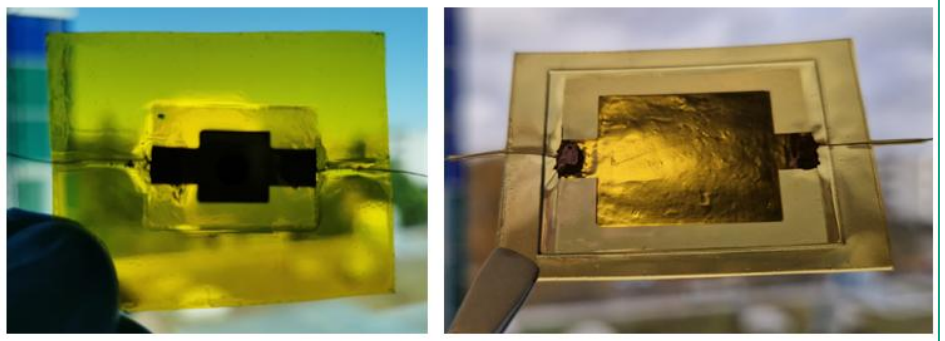
Fraunhofer

Elektrokalorische Komponenten

Polymer-Komponenten

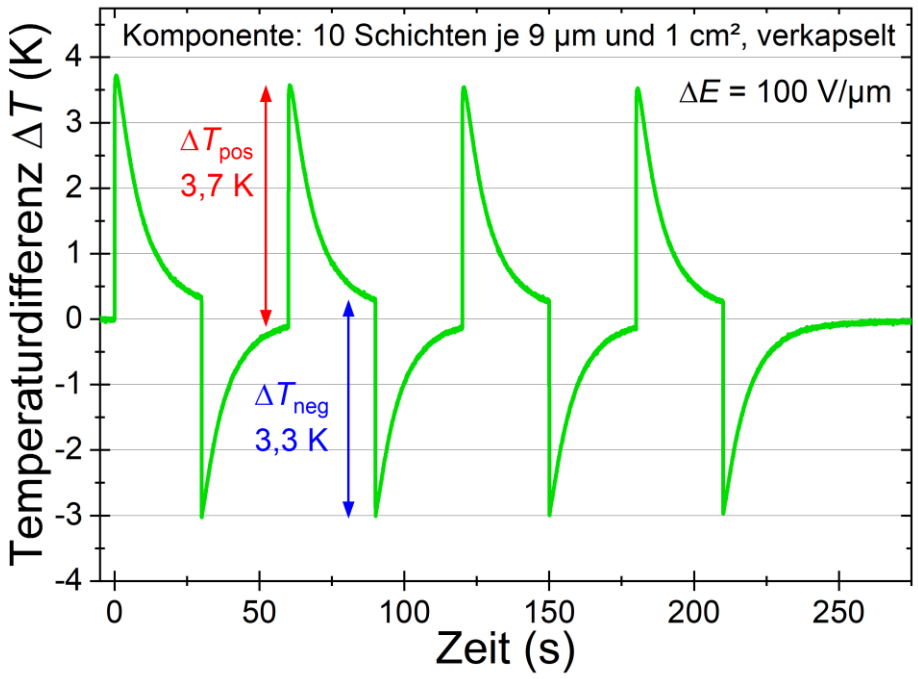
- Erfolgreiche Entwicklung von Polymer-Komponenten aus relaxor-ferroelektrischem P(VDF-TrFE-CFE)
- Entwicklung einer langzeitstabilen superhydrophilen Nanostrukturierung der Polyimid-Verkapselungsfolien
- Erfolgreicher Aufbau von verkapselten Polymer-Komponenten
  - Ohne Beeinträchtigung der superhydrophilen Nanostrukturierung
  - Mit Temperaturhüben von $\Delta T \approx 3{,}5$ K bei $E = 100$ V/µm

Terpolymer-Komponenten, mit PI-Folie verkapselt



10 Schichten je 9 µm und 1 cm²

4 Schichten je 20 µm und 3,96 cm²



Maria Barrera et al., Surface & Coatings Technology 505, 132080 (2025)

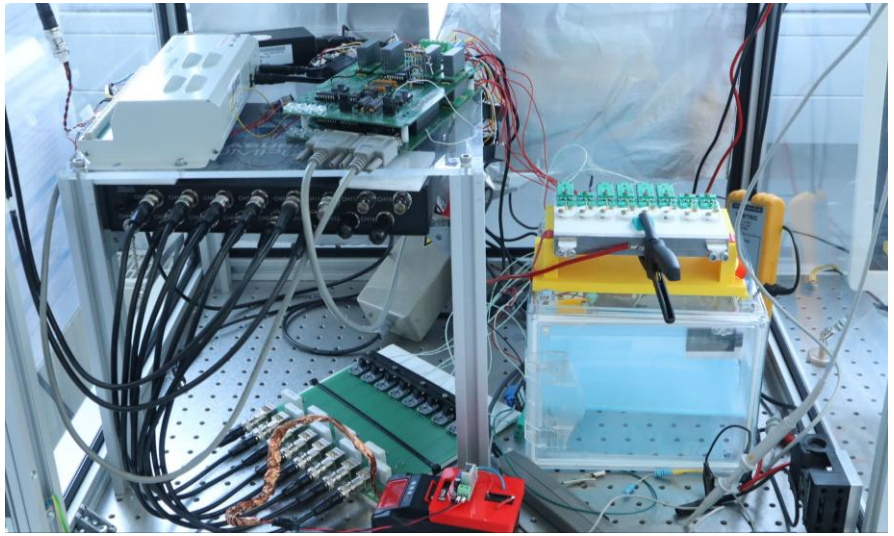
Fraunhofer

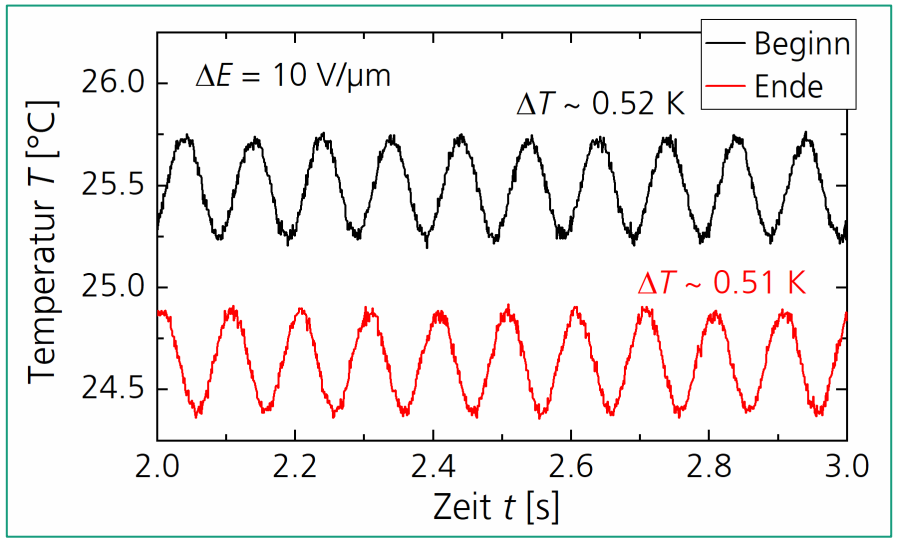
Elektrokalorische Komponenten

Langzeitstabilität

- Aufbau eines Prüfstands für die zyklische elektrische Beanspruchung und Charakterisierung von 8 MLC-Komponenten

- Charakterisierung von PMN-Komponenten @ ΔE = 10 V/µm
  - Kein Ausfall von Proben
  - Keine signifikante Verringerung des Temperaturhubs nach > 70 Mio. Zyklen





Fraunhofer

Elektrokalorische Komponenten

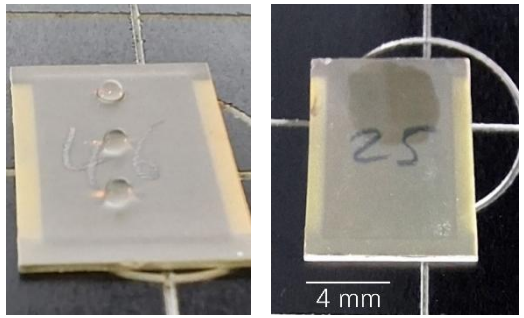
Beschichtungen

Ziel

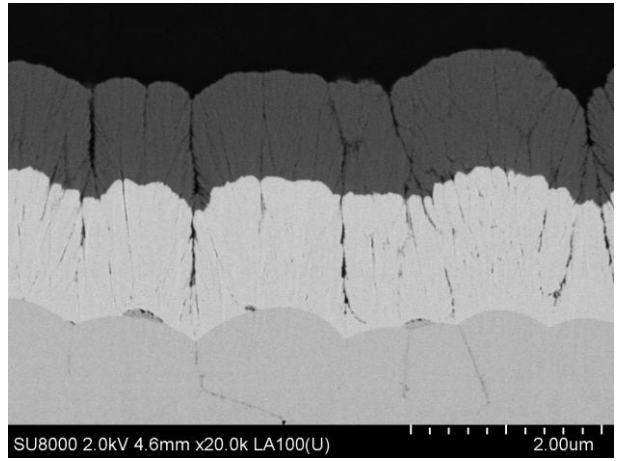
Hydrophile Beschichtungen, Isolations- und Elektrodenschichten auf aktiven Komponenten

Ergebnis

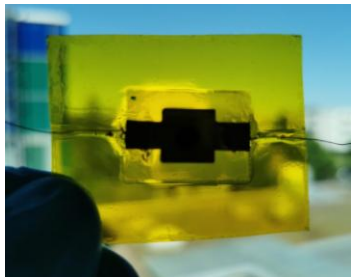
- Langzeit-superhydrophiler (> 1 Jahr) Schichtstapel WO_3-TiO_2/SiO_2 auf Keramik-Komponenten
- Langzeit-superhydrophile Nanostrukturierung von PI-Folien, Laminierung auf Polymer-Komponenten



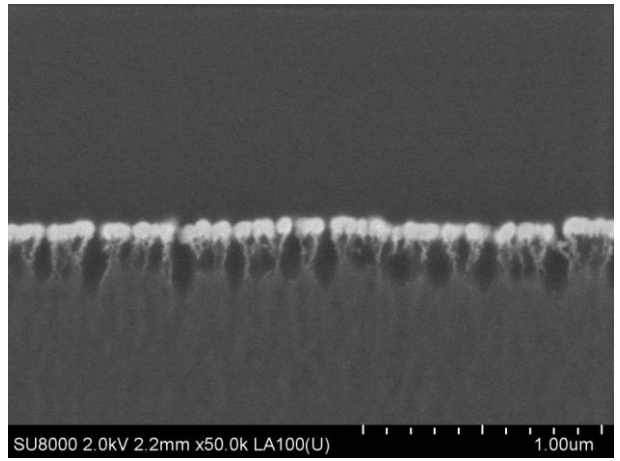
Wassertropfen auf unbeschichteter (links) sowie beschichteter PMN-Komponente



WO_3-TiO_2/SiO_2-beschichtete PMN-Keramik



Laminierte Polymer-Komponente



Hydrophilisierte PI-Folie

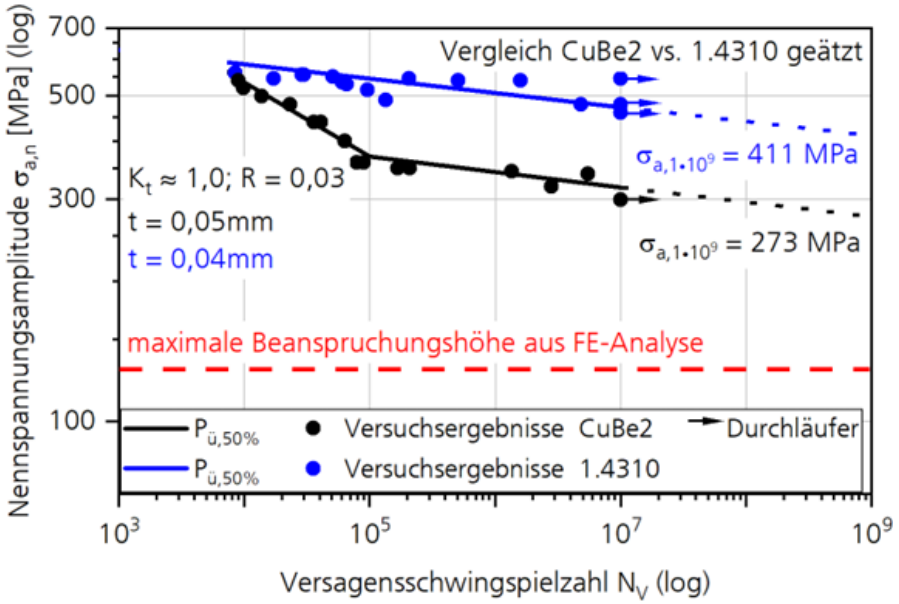
Fraunhofer

Systemkomponenten

Langzeitstabilität Ventile

- Erfolgreiche Entwicklung und Anwendung eines Belastungssystems zur Simulierung von Betriebslasten auf passive Ventile

- Passive Überdruckventile zeigen
  - Sehr gutes Öffnungsverhalten + geringen Widerstand
  - Sehr gute Langzeitstabilität mit einer extrapolierten Versagensschwingspielzahl von über $1 \cdot 10^9$



Fraunhofer

Systemkomponenten

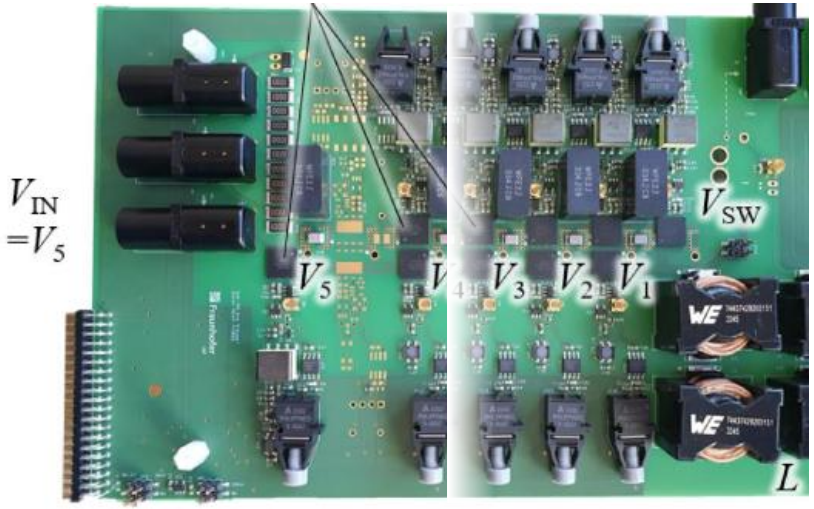
Elektrische Ansteuerung

Ansteuer-Elektronik für Polymer- und Keramik-Segmente

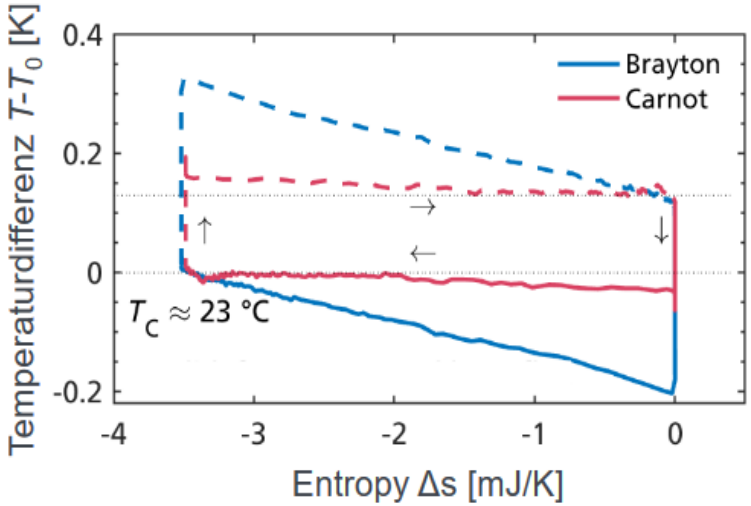
- > 99.7% elektr. Umladewirkungsgrad mit 7-Level Wandler
- Effizientes Umladen mit 240-Leveln ohne Spule demonstriert
- Ansteuerung von EK-Last 10x effizienter als zu Projektbeginn

Mobile Elektronik für elektrokalorischen Demonstrator

- Carnot-ähnlicher Kreisprozess durch Feldvariation demonstriert
- System-Messungen mit Elektronik und finalem Demonstrator



>99.7% effiziente Ansteuer-Elektronik für Elektrokalorik



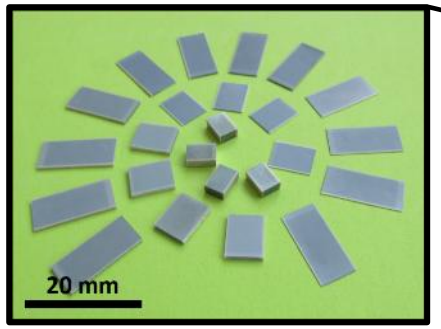
Carnot-ähnlicher Kreisprozess

Fraunhofer

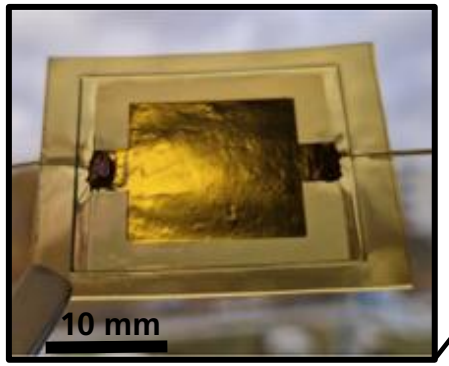
Elektrokalorisches System

Experimenteller Aufbau

Material

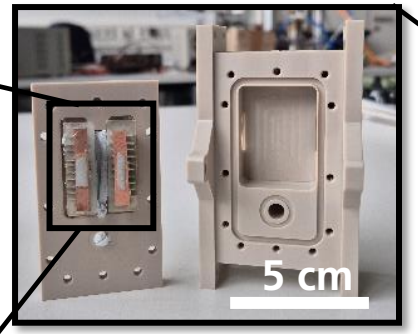


Keramiken

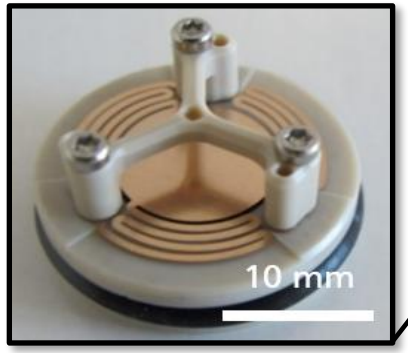


Polymere

Segment

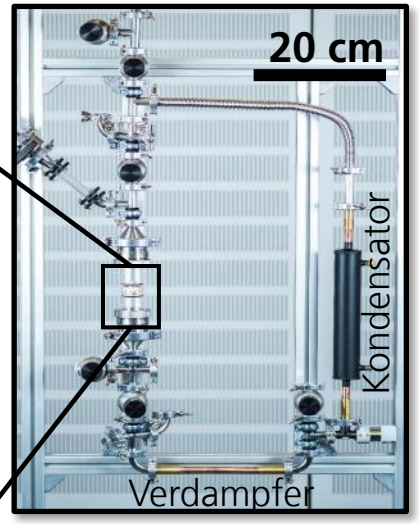


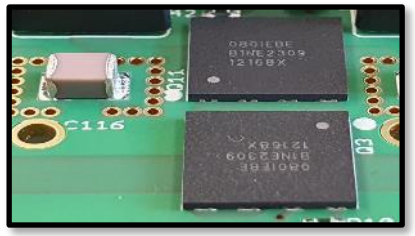
Elektrische Isolation
Thermische Stabilisierung



Ventile

System



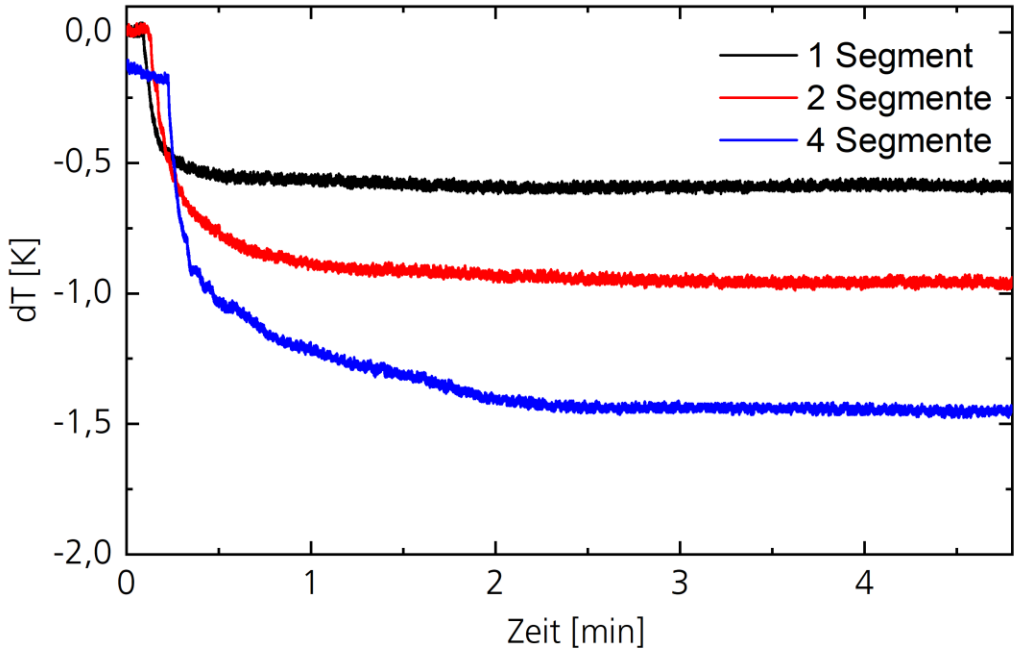


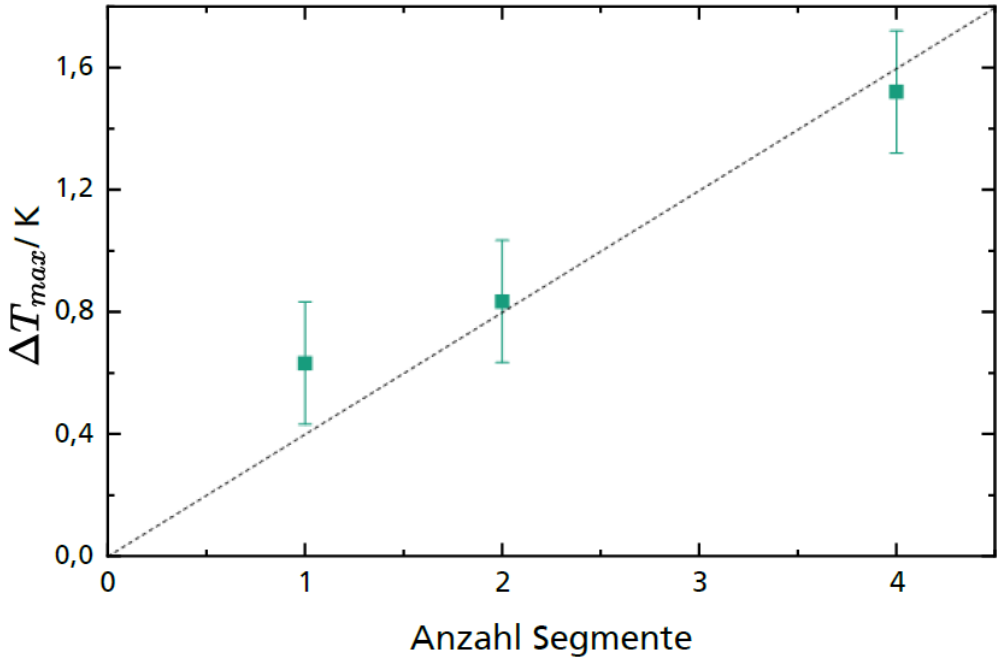
Elektronik

Fraunhofer

Elektrokalorisches System

Experimentelle Daten



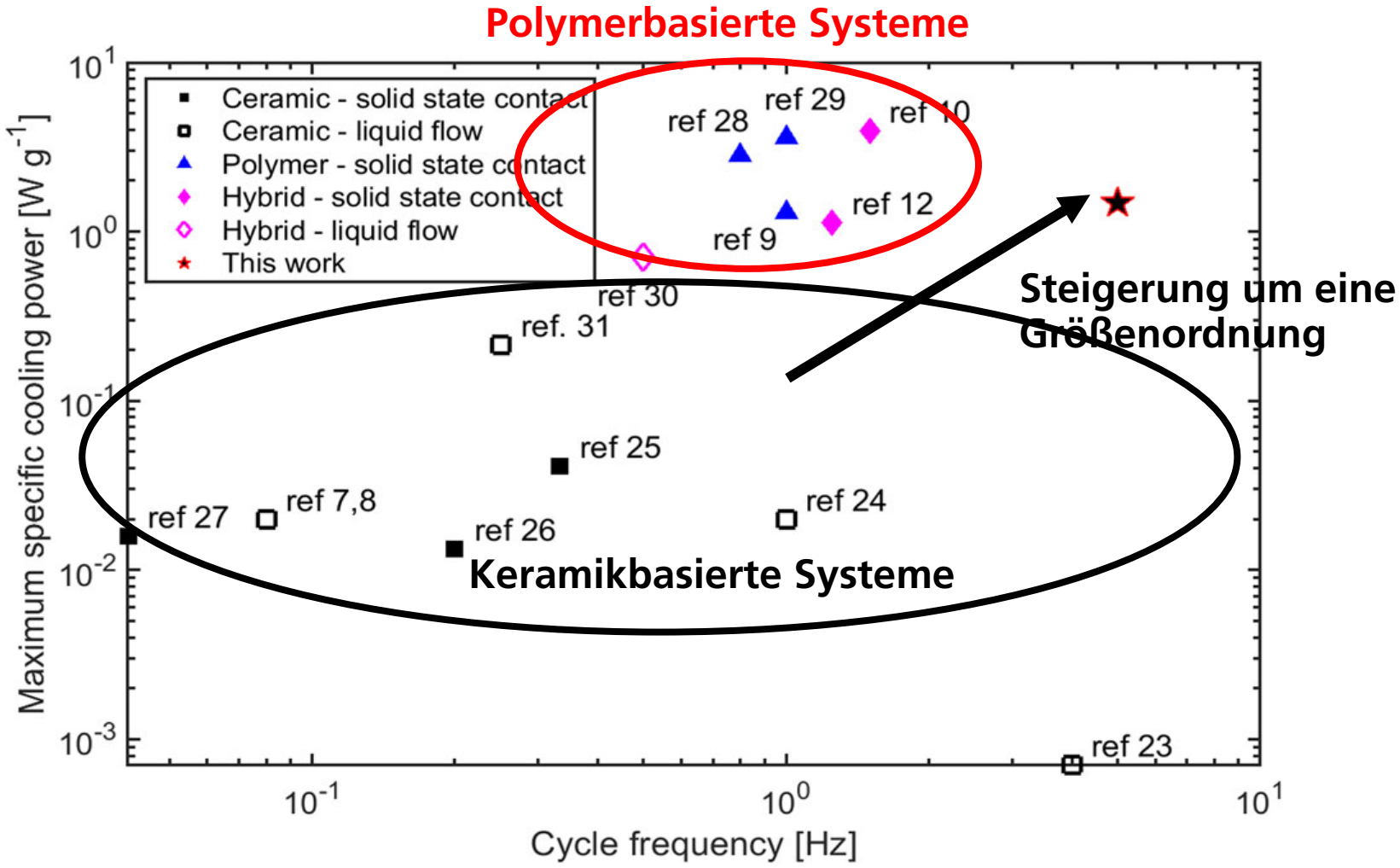


→ Erfolgreiche Demonstration des Systemansatzes mit allen relevanten Komponenten!

Fraunhofer

Elektrokalorisches System

Vergleich mit Literatur



Metzdorf, J., Corhan, P., Bach, D. *et al.* Electrocaloric cooling system utilizing latent heat transfer for high power density. *Commun Eng* **3**, 55 (2024).

Fraunhofer

Elektrokalorisches System

Exist-Forschungstransfer

projektträger jülich

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

EXIST

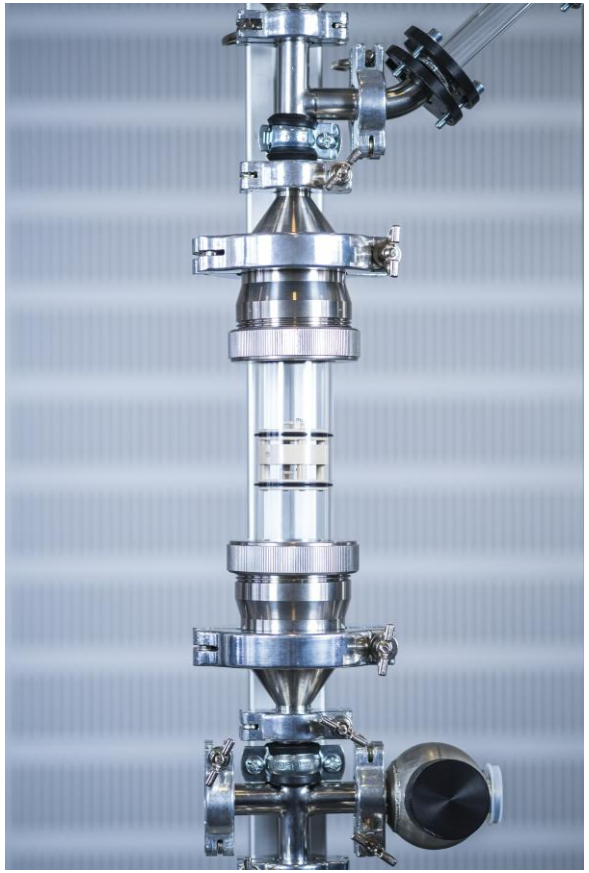
Ziele des Exist-Projektes

Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen des Fraunhofer Leitprojekts ElKaWe:

- Entwicklung eines Demonstrators (100 W, 20 K Temperaturhub)
- Vorbereitung der Ausgründung & Markteintritt

Marktstrategie

- Einstieg über Nischenmärkte: Schaltschrankklimatisierung & Laserkühlung
- Skalierung in gewerbliche Kühlung (Volumenmarkt)



Acknowledgment

ElKaWe-Team

Fraunhofer

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Kilian Bartholomé
Gruppenleiter Kalorische Systeme
Fraunhofer – Institut für Physikalische Messsysteme IPM
Tel. +49 761 8857-238
kilian.bartholome@ipm.fraunhofer.de