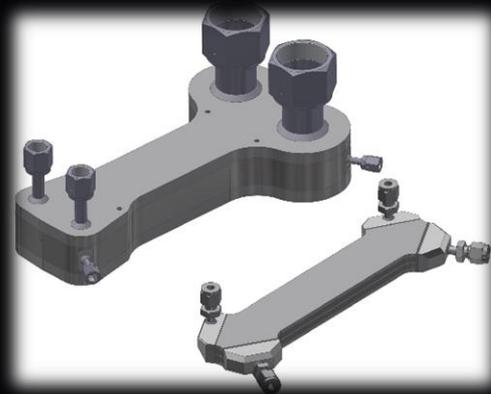


Einsatz eines kompakten, mikrostrukturierten Wärmeübertragers im kryogenen Gemischkältekreislauf

E. Shabagin, S. Grohmann

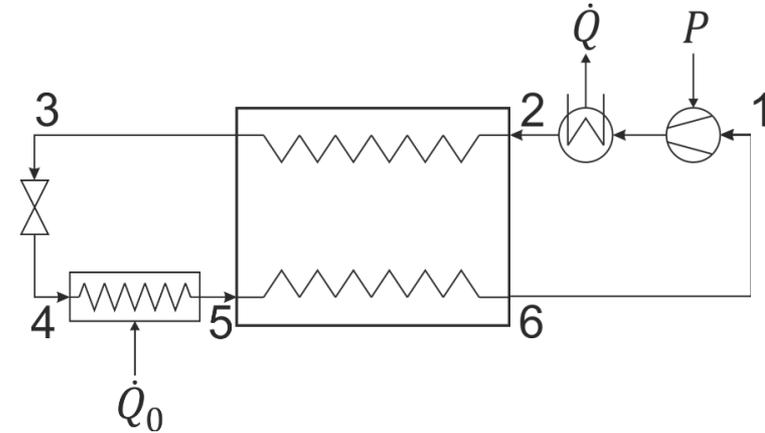
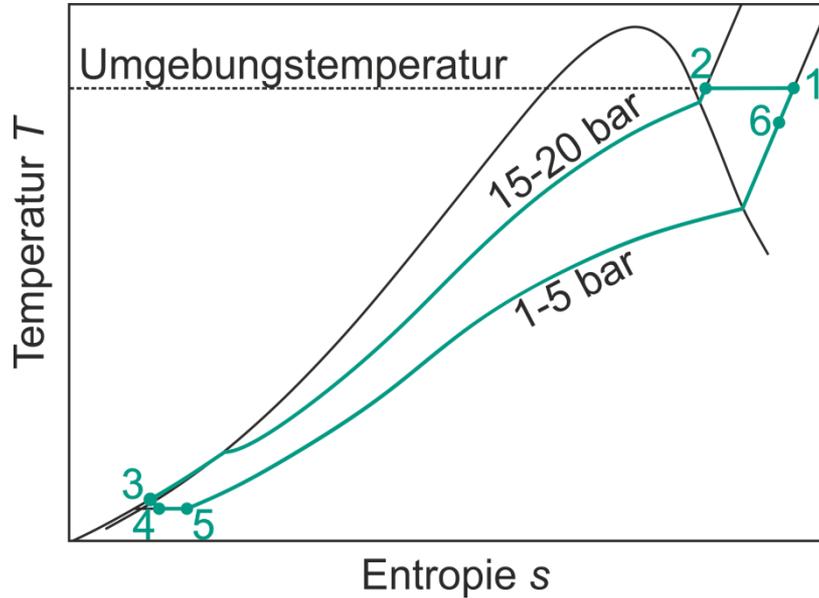
DKV-Tagung, Ulm, AA I.01, 21.11.2019

INSTITUT FÜR TECHNISCHE PHYSIK (ITEP)





Linde-Hampson Gemischkreislauf (CMRC)



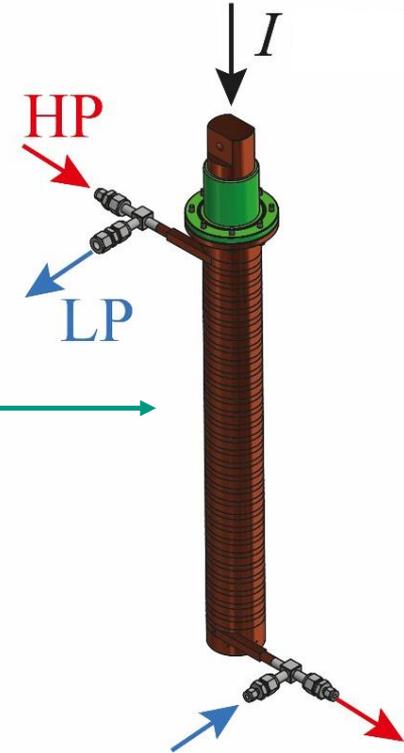
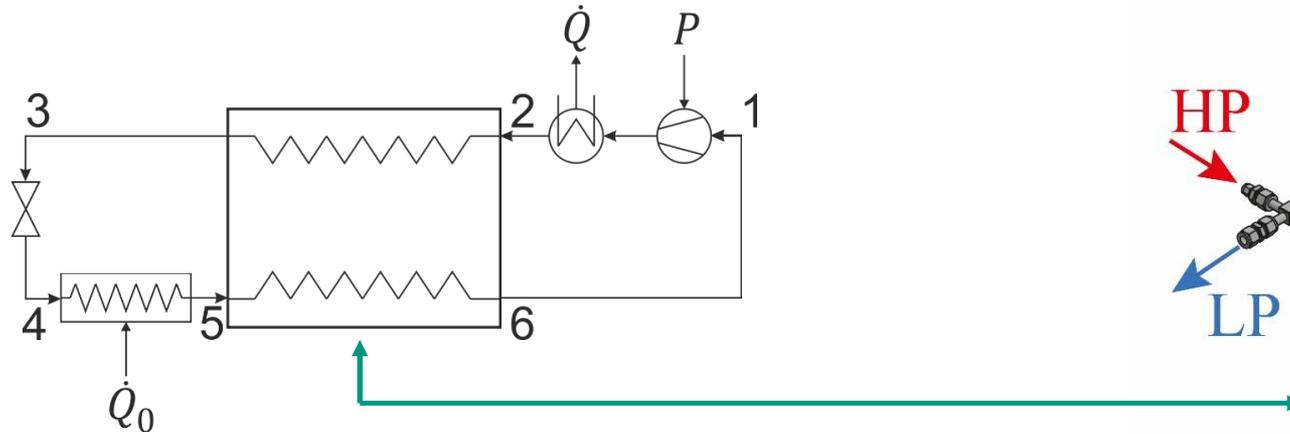
- Arbeitsdruck ($p \leq 20$ bar)
- Kleine Temperaturdifferenzen im WÜ

- Standard Komponenten der Kältetechnik
- Keine Turboexpander im Kalten
- Skalierbar

Quelle: Venkatarathnam, G.: *Cryogenic Mixed Refrigerant Processes*, Springer Verlag, New York, 2008



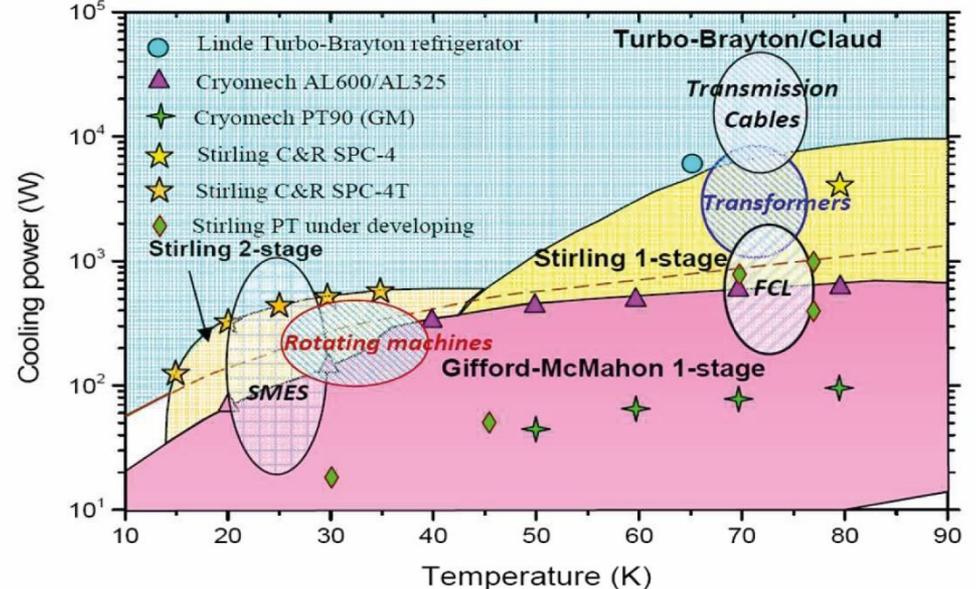
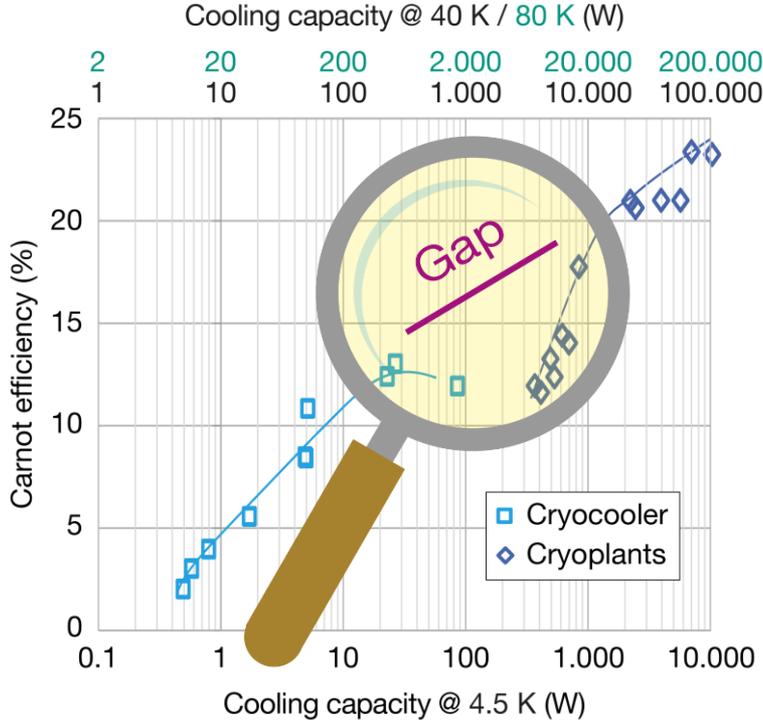
CMRC + Stromzuführung



- Stromzuführung für HTS – Anwendungen (80 K)
- Kombination Wärmeübertrager + Stromzuführung
- Kontinuierliche Kühlung von 300 K bis ≈ 80 K



Wieso CMRC + Stromzuführungen?



Quelle: Bi Y. F.: Cooling and Cryocoolers for HTS Power Applications. Applied superconductivity and electromagnetics, Vol. 4, No. 1, November 2013

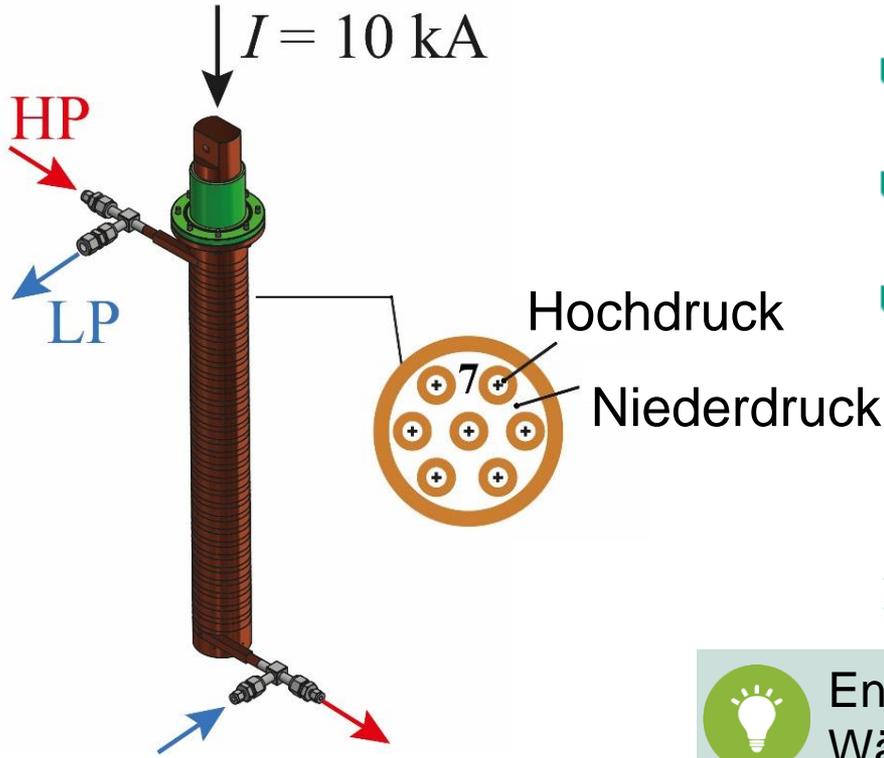
Kälteleistung 20 kA Stromzuführung

➤ 42,5 W/kA → 930 W @ 80K

Quelle: Decker, L.: Overview on cryogenic refrigeration cycles for large scale HTS applications. International Workshop on Cooling System for HTS Applications (IWC-HTS), October 14-16, 2015, Matsue, Japan



Wärmeübertrager / Stromzuführung



- Klassisches Rohre in Rohr Wärmeübertrager – Design
- Kleine Wärmeübertragerfläche im Vergleich zur Fläche für den Stromtransport
- Stromzuführungslänge von etwa 1,0 m
 - Anpassung der Länge und Durchmesser erforderlich um die notwendige Wärmeübertragungsfläche zwischen Fluid und Stromzuführung zu gewährleisten
 - Anpassung für höhere Stromstärken nicht tragbar

➤ **Kompakte Stromzuführung wünschenswert**

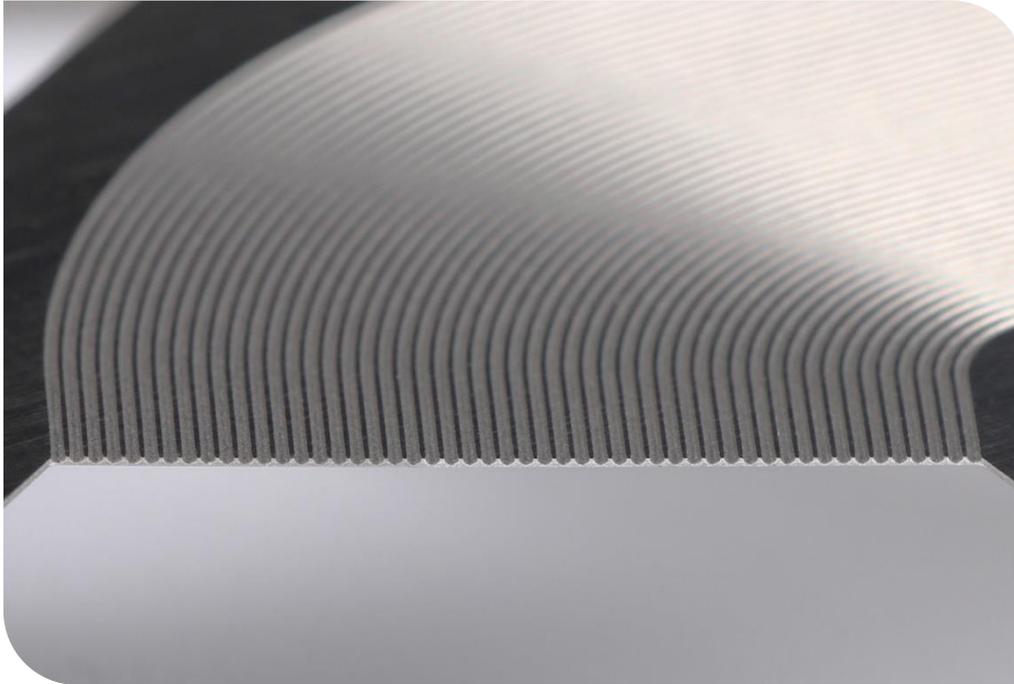


Entwicklung **kompakter, mikrostrukturierter** Wärmeübertrager / Stromzuführungen

MIKROSTRUKTURIERTE WÄRMEÜBERTRAGER



Prototyp I



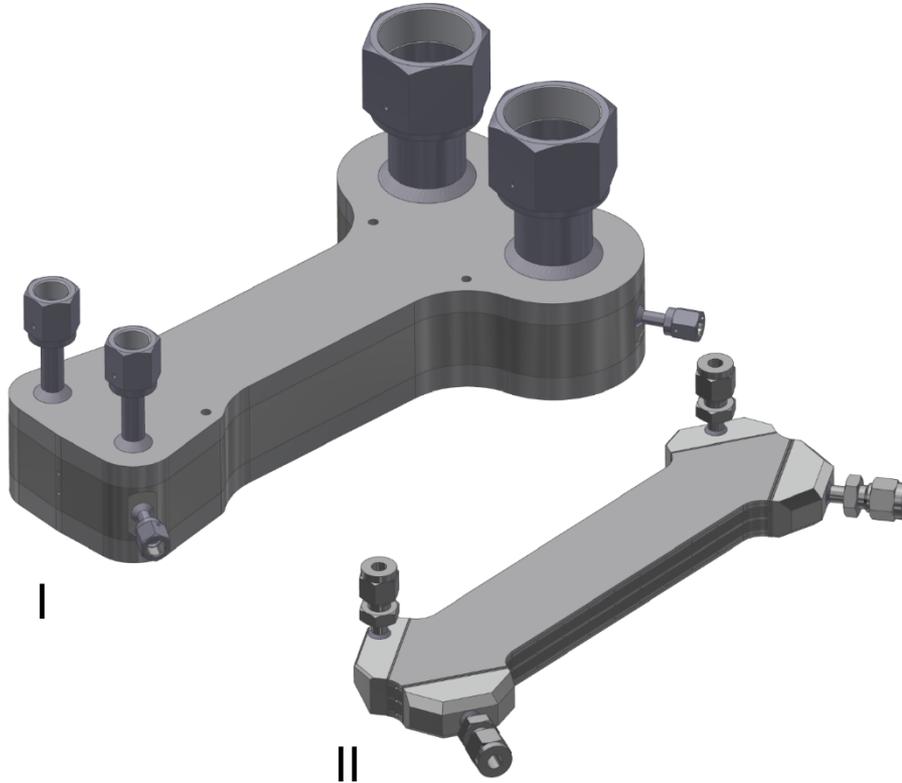
Prototyp I

- Höhe 43 mm
- Breite 50 mm
- Länge 261 mm
- 60 Folien diffusionsgeschweißt
- 50 Kanäle auf einer Folie
 - 0,4 mm breit & 0,2 mm tief
 - 203 mm lang
- 2 Faser-Bragg-Gitter (FBG) Sensoren für die Temperaturmessung

Quelle: Gomse D. et. al.: Entwicklung eines Wärmeübertragers für kryogene Gemischkältekreisläufe, DKV Tagung Kassel, AA I.19, 18.11.2016



Prototyp I und Prototyp II



Prototyp I

- 30 Folien Hochdruck
- 30 Folien Niederdruck → 30 Pakete
- Wärmeübertragungsfläche Hochdruck und Niederdruck jeweils $0,12 \text{ m}^2$

Prototyp II

- 10 Folien Hochdruck
- 20 Folien Niederdruck
- Wärmeübertragungsfläche Hochdruck $0,08 \text{ m}^2$
- Wärmeübertragungsfläche Niederdruck $0,16 \text{ m}^2$
- Reduzierung thermische Masse um 60 %

Quelle: Gomse D. et. al.: Development of heat exchanger technology for cryogenic mixed-refrigerant cycles, PhD dissertation, KIT (to be published)

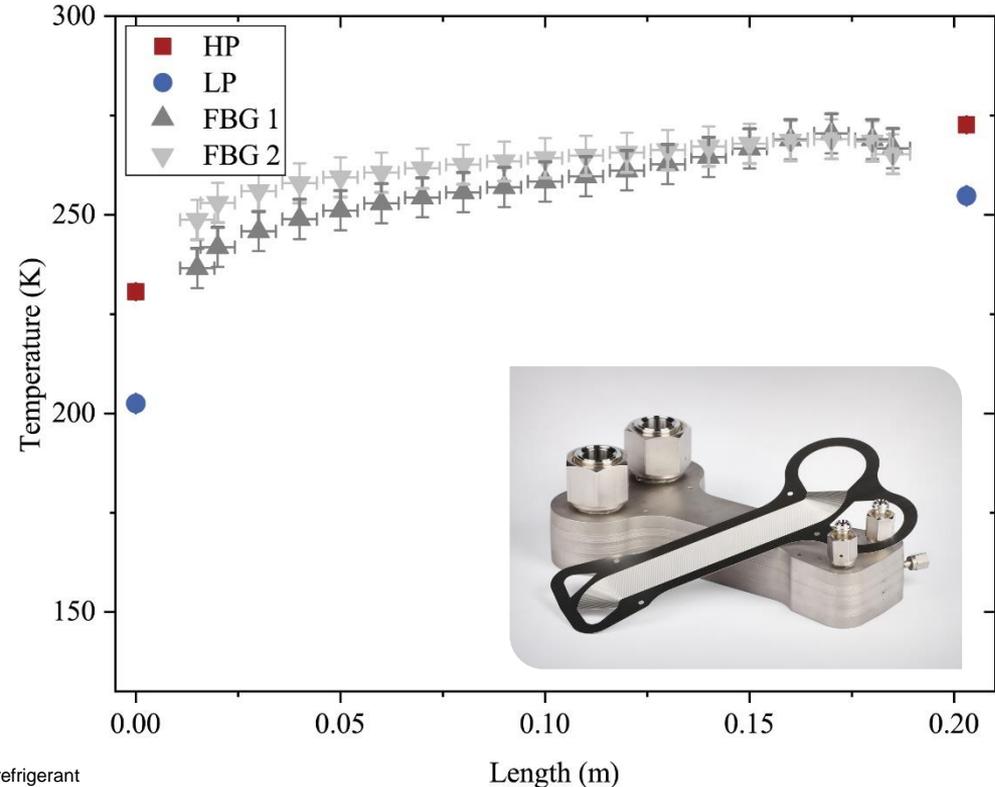
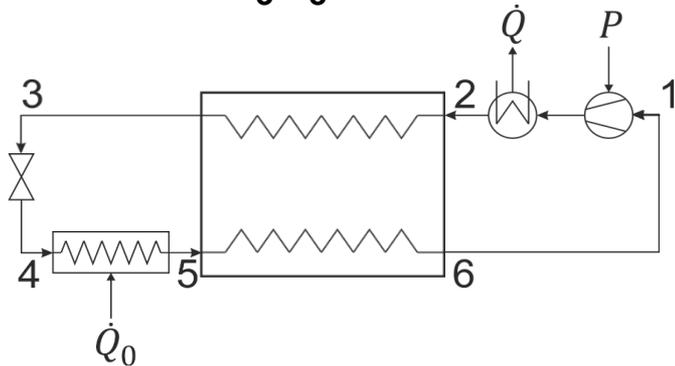
EXPERIMENTE



Experiment 1 – Prototyp I

Mischung 1

30 mol % N_2
25 mol % CH_4
15 mol % C_2H_6
30 mol % C_3H_8



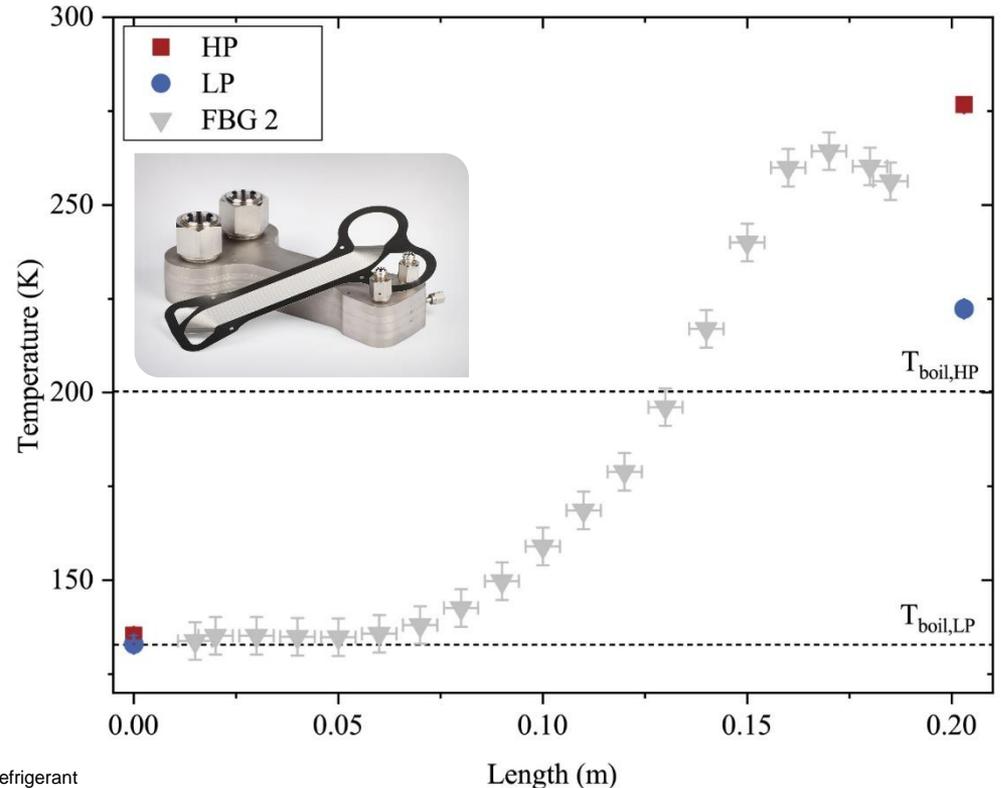
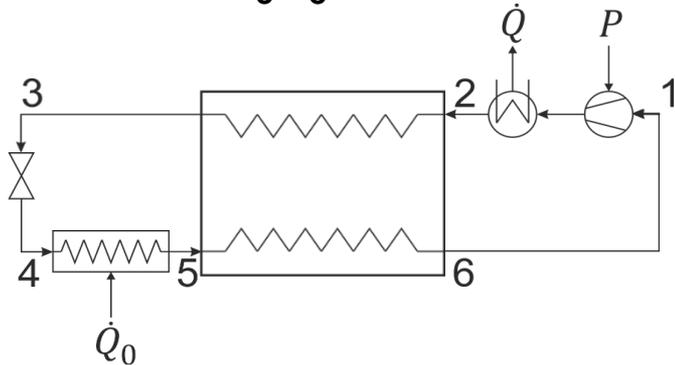
Quelle: Gomse D. et. al.: Development of heat exchanger technology for cryogenic mixed-refrigerant cycles, PhD dissertation, KIT (to be published)



Experiment 2 → 3 – Prototyp I

Mischung 2 → 3

0 mol % N_2 → 14 %
 30 mol % CH_4 → 26 %
 30 mol % C_2H_6 → 26 %
 40 mol % C_3H_8 → 34 %



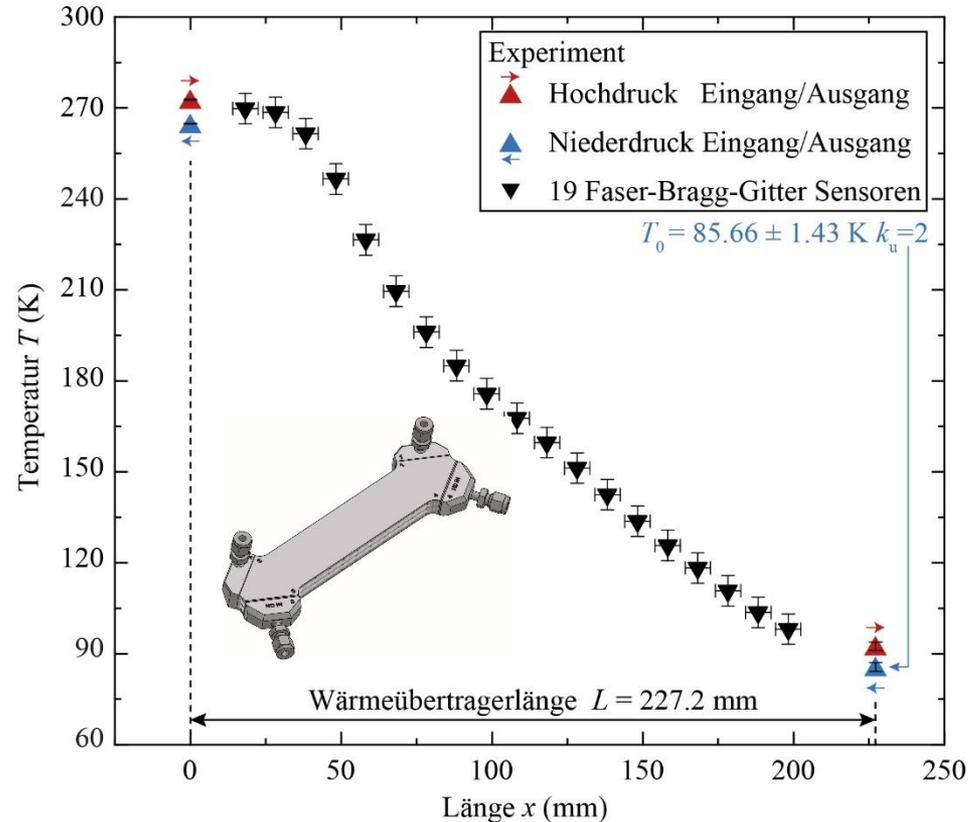
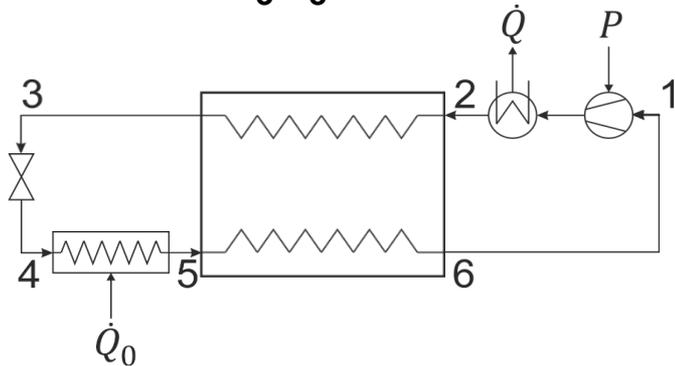
Quelle: Gomse D. et. al.: Development of heat exchanger technology for cryogenic mixed-refrigerant cycles, PhD dissertation, KIT (to be published)



Experiment 1 – Prototyp II

Mischung 1

- 30 mol % N_2
- 25 mol % CH_4
- 15 mol % C_2H_6
- 30 mol % C_3H_8



ZUSAMMENFASSUNG



Zusammenfassung und Ausblick

■ Prototyp I

- Hohe thermische Masse
- Anpassung der Kältemittelmischung beim Kaltfahren notwendig
- $T_0 \approx 130$ K bei Nulllast

■ Prototyp II

- 60 % geringere thermische Masse und größere Wärmeübertragerfläche im Vergleich zu Prototyp I
- $T_0 \approx 85$ K bei Nulllast

■ Entwicklung eines Prototypen für den Stromtransport

- Kombination Wärmeübertrager & Stromzuführung

