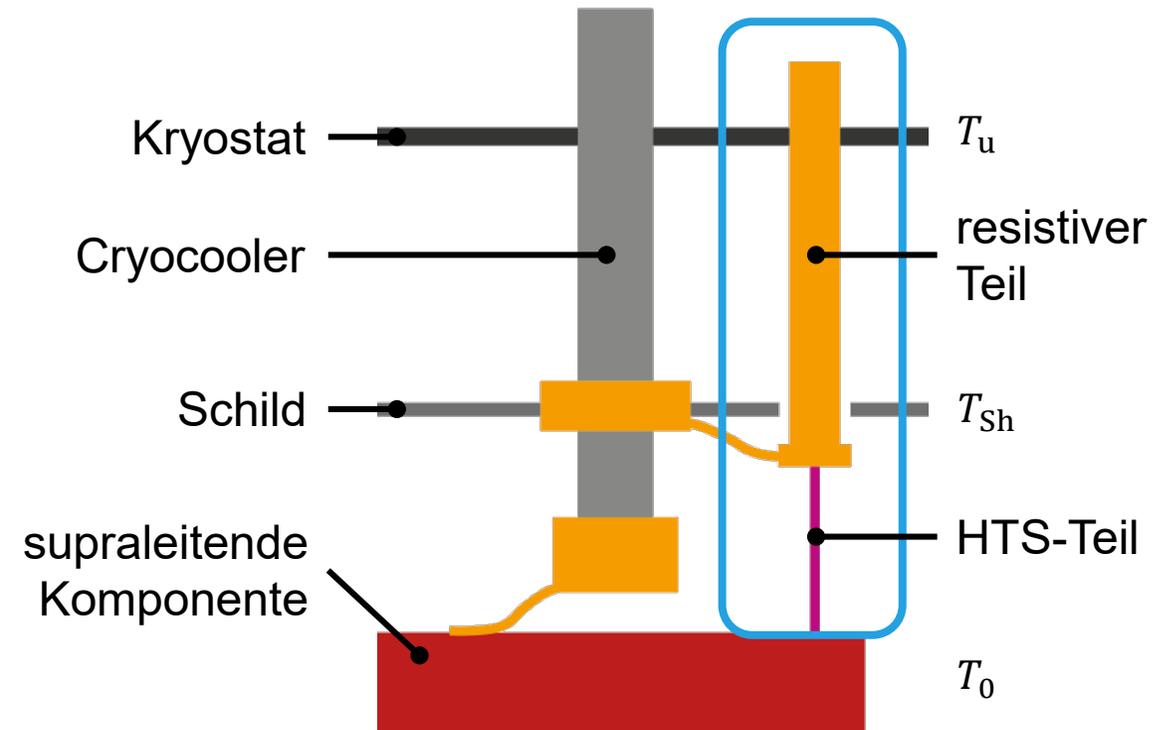


# Aufbau des Compact Accelerator Systems Teststand (COMPASS)

J. Arnsberg, M. Stamm, S. Grohmann – **DKV-Tagung 2022, AA I.19, 18.11.2022**

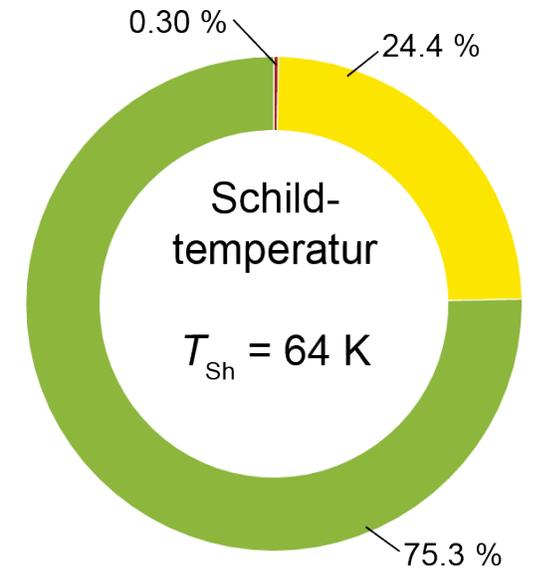
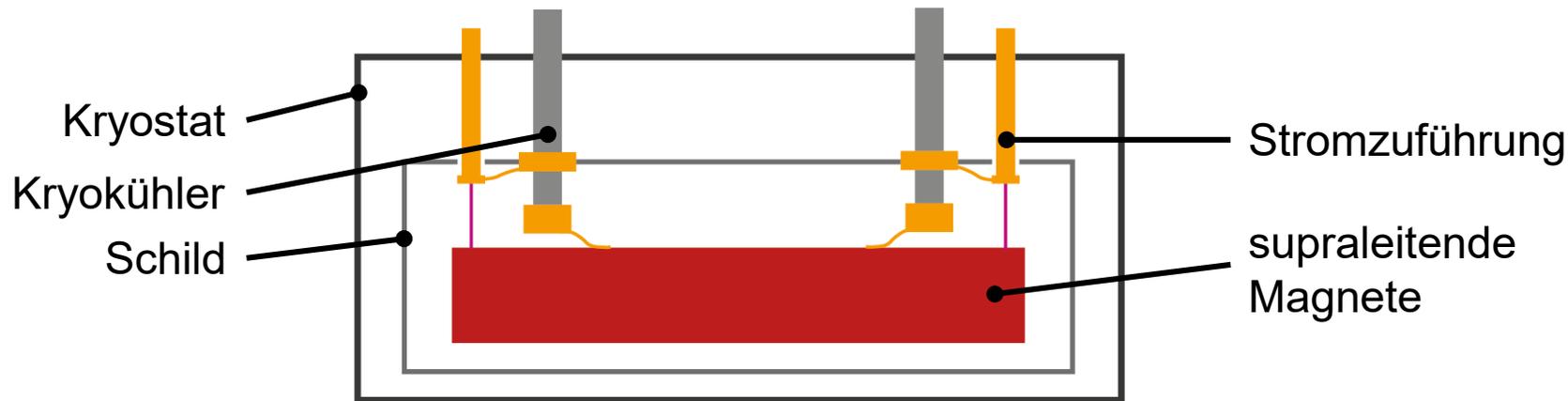
# Motivation

- Energieeffizienz von Beschleunigersystemen im Fokus
  - Senkung des Energieverbrauchs
  - gestiegene Energiekosten
- Stromzuführung (CL) zur Übertragung von elektrischer Energie von  $T_u$  auf  $T_0$
- Aufbau einer **hybriden Stromzuführung**
  - resistiver, metallischer Teil bis ca.  $T_{Sh} = 70\text{ K}$
  - hohtemperatursupraleitender (HTS)-Teil zum Verbraucher



# Motivation

- Wärmelastberechnung im Rahmen der CompactLight-Designstudie
- Hauptwärmeeinträge für geplantes Kryostatdesign abgeschätzt



Wärmeleitung ■

Wärmestrahlung ■

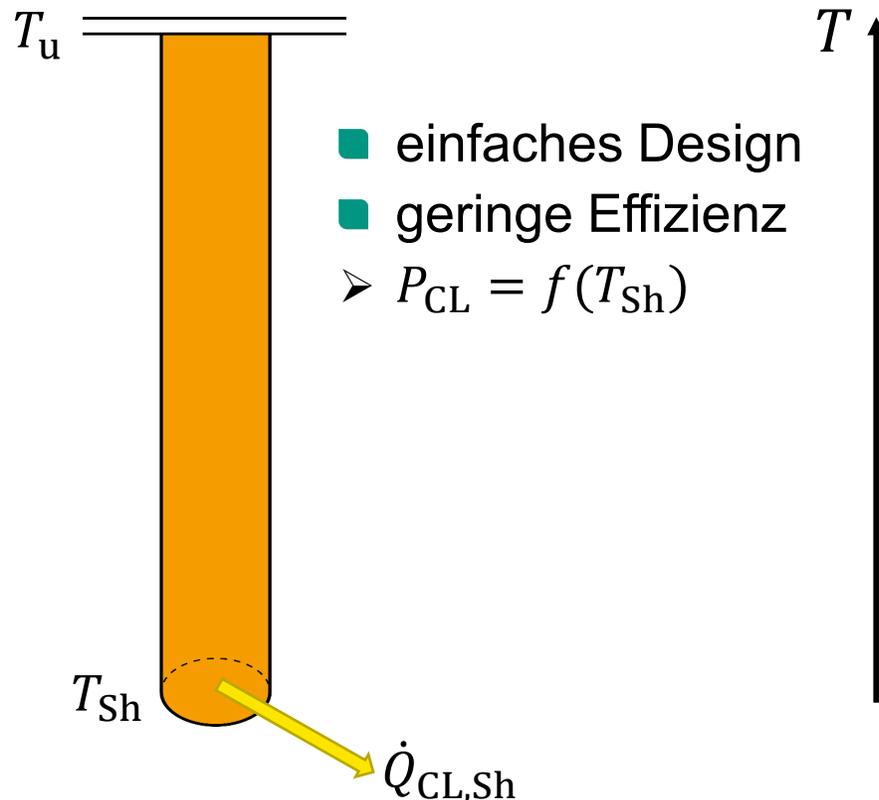
Wärmeeintrag aus Stromzuführungen ■



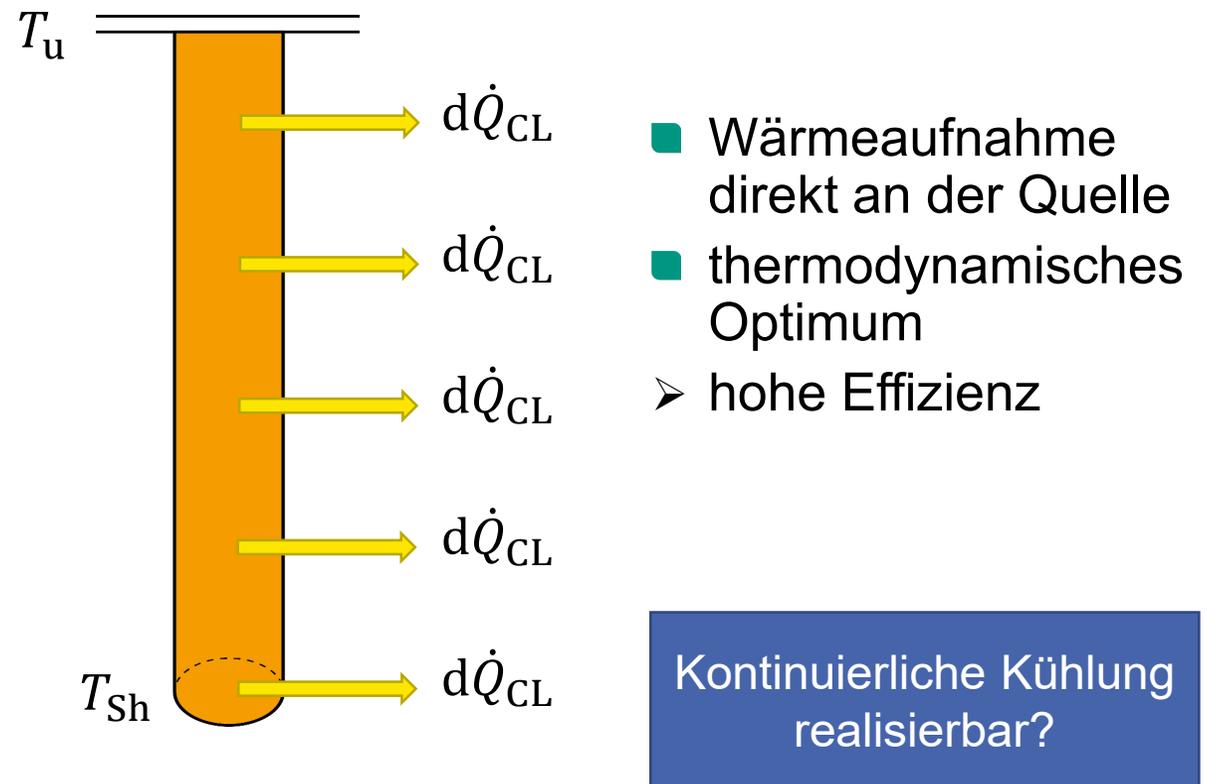
Wärmeeinträge auf das thermische Schild maßgeblich durch Stromzuführungen bedingt

# Systemvergleich

## ■ leitungsgekühlte Stromzuführung

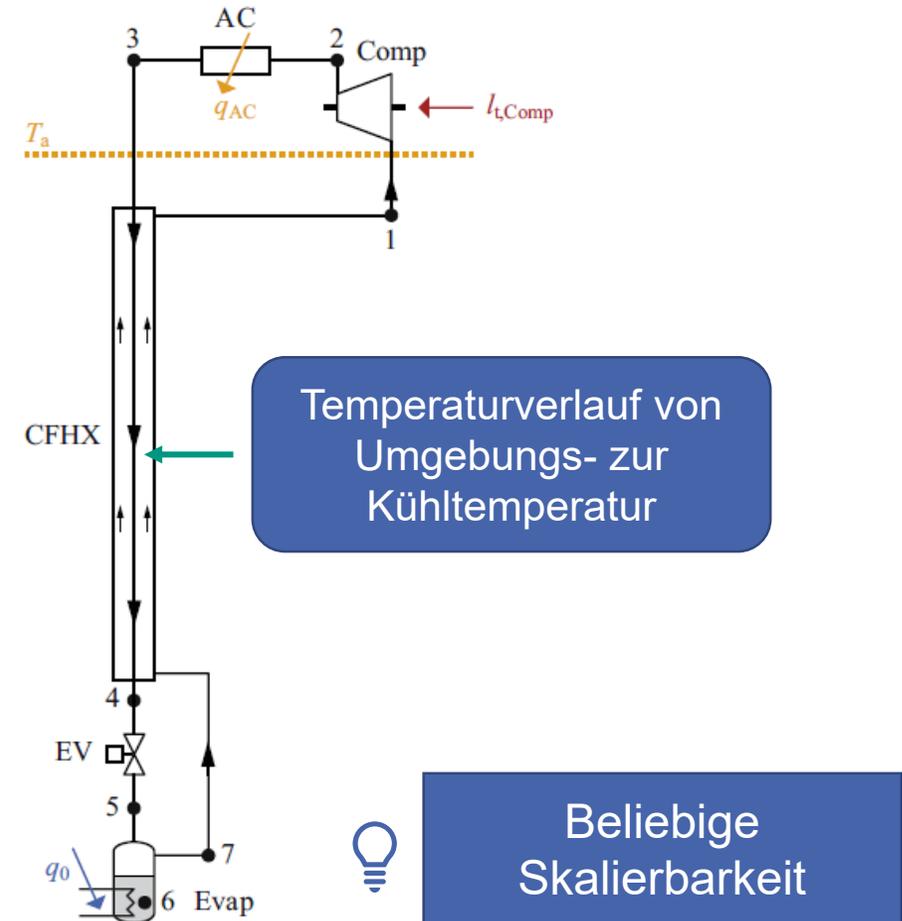
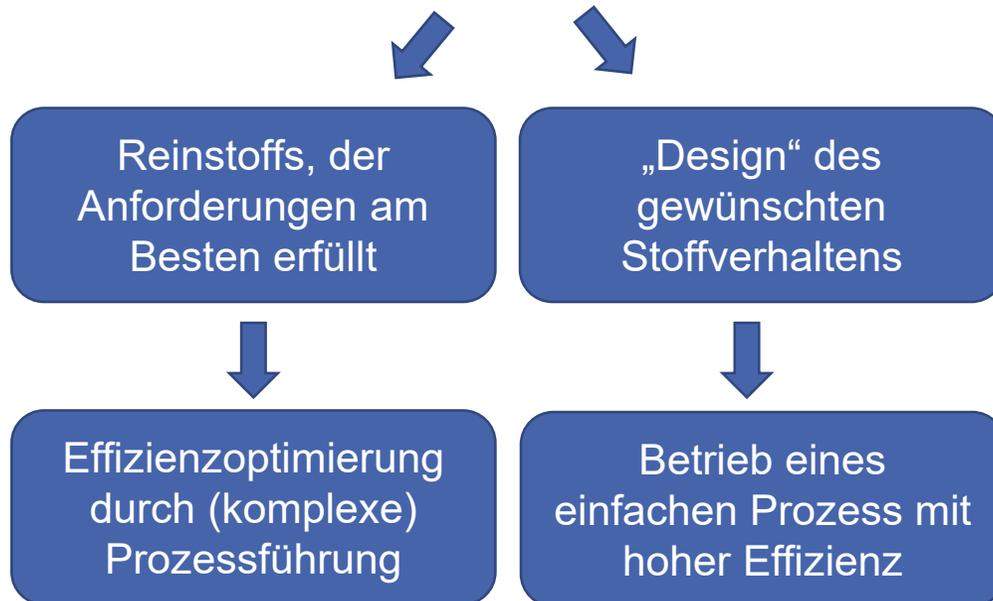


## ■ kontinuierlich gekühlte Stromzuführung



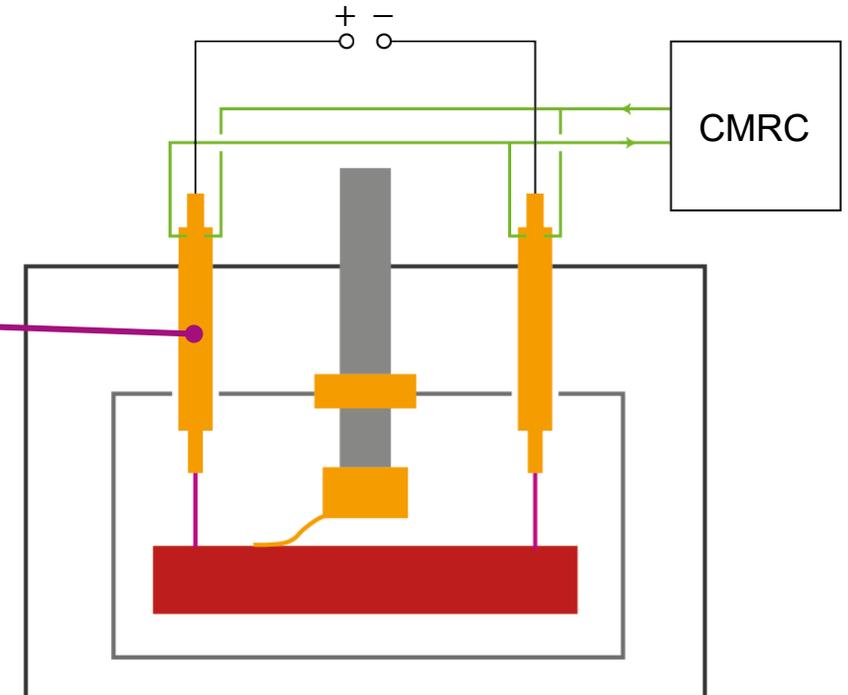
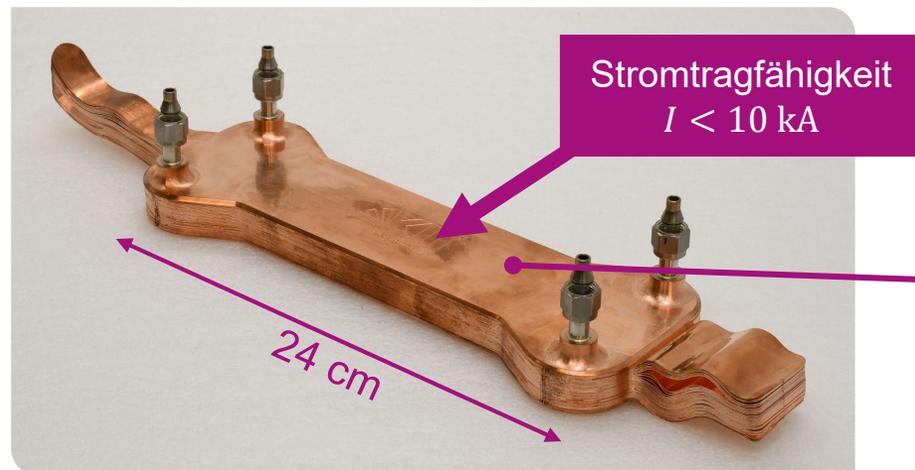
# Kryogene Gemischkältekreisläufe (CMRC)

- Schlüsselkomponente in jedem Kühlsystem ist der **Arbeitsstoff**, insbesondere seine
  - Zustands- und Transportgrößen (EoS)
  - Zustandsänderungen während des thermodynamischen Prozesses / Kreislaufs



# Prototyp einer CMRC-gekühlten, mikrostrukturierten Stromzuführungen

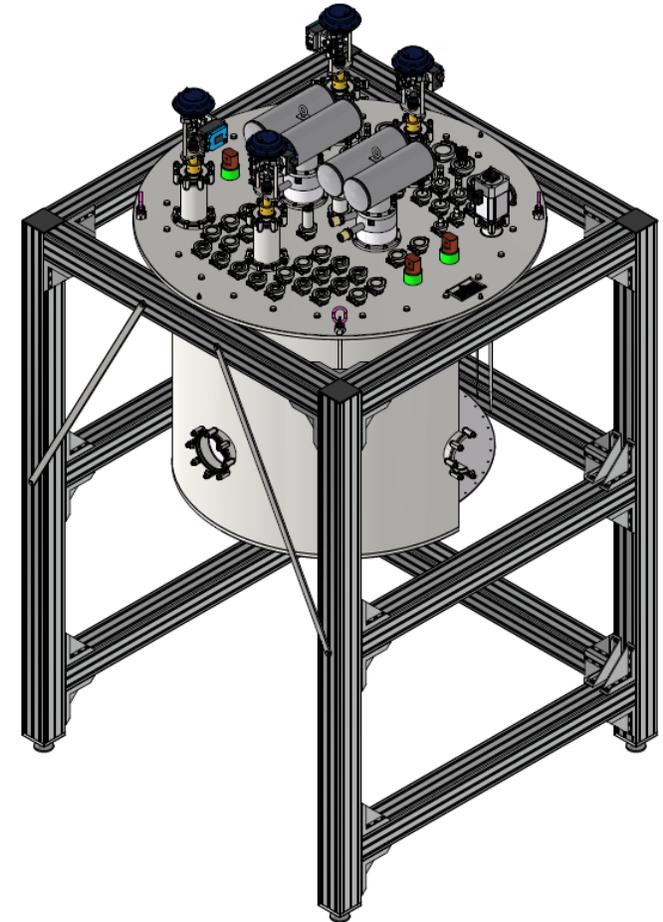
- skalierbare Konstruktion aus einzelnen Folien
- effizienter Betrieb durch geringe Gradienten und Wärmeaufnahme an der Quelle



Skalierbare Technologie für **kompakte, hoch-effiziente** Stromzuführungen **jeglicher** Leistungsklasse

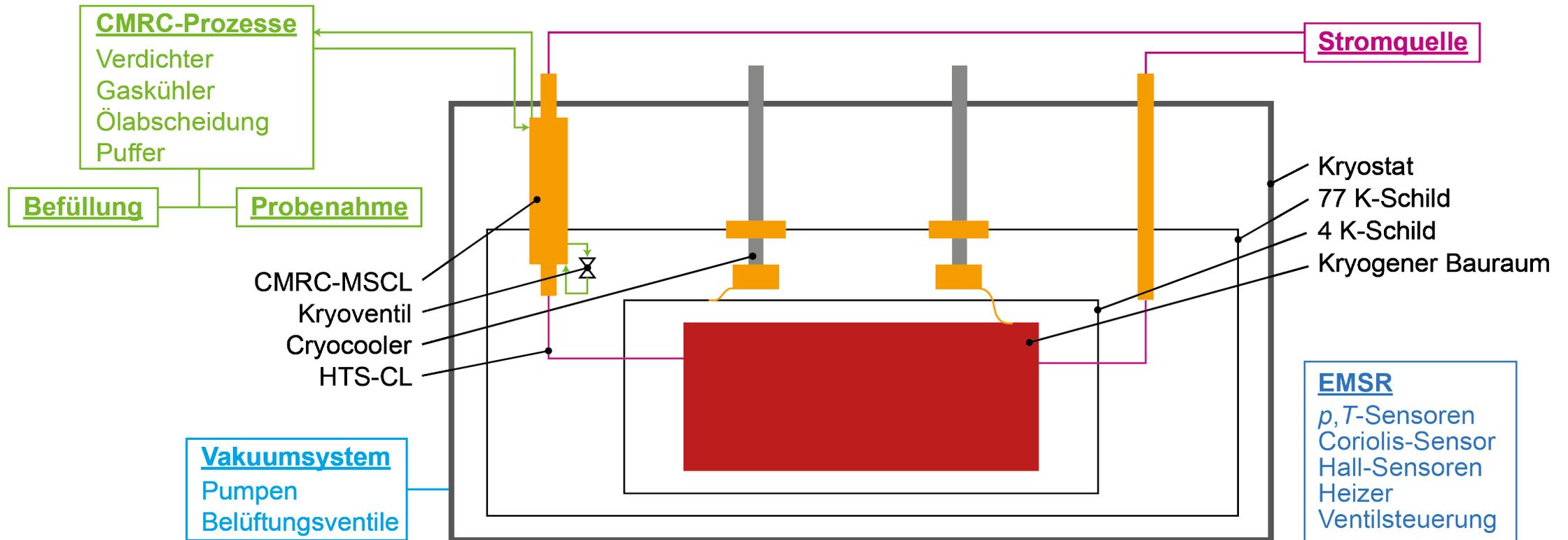
# COMPASS – Allgemeiner Überblick

- Versuchsstand zur Erprobung von CMRC-gekühlten, mikrostrukturierten Stromzuführungen
- Erprobung auch im Zusammenspiel mit
  - supraleitende Magnete und Undulatoren
  - supraleitenden Kavitäten
- zwei Gemischkältekreisläufe, die ein großes Leistungsspektrum abdecken
  - elektrische Stromstärken von 100 A bis 10 kA darstellbar
  - Untersuchung von Gemischkaskaden, die Kälteleistung bei  $T < 78$  K bereitstellen können<sup>[1]</sup>



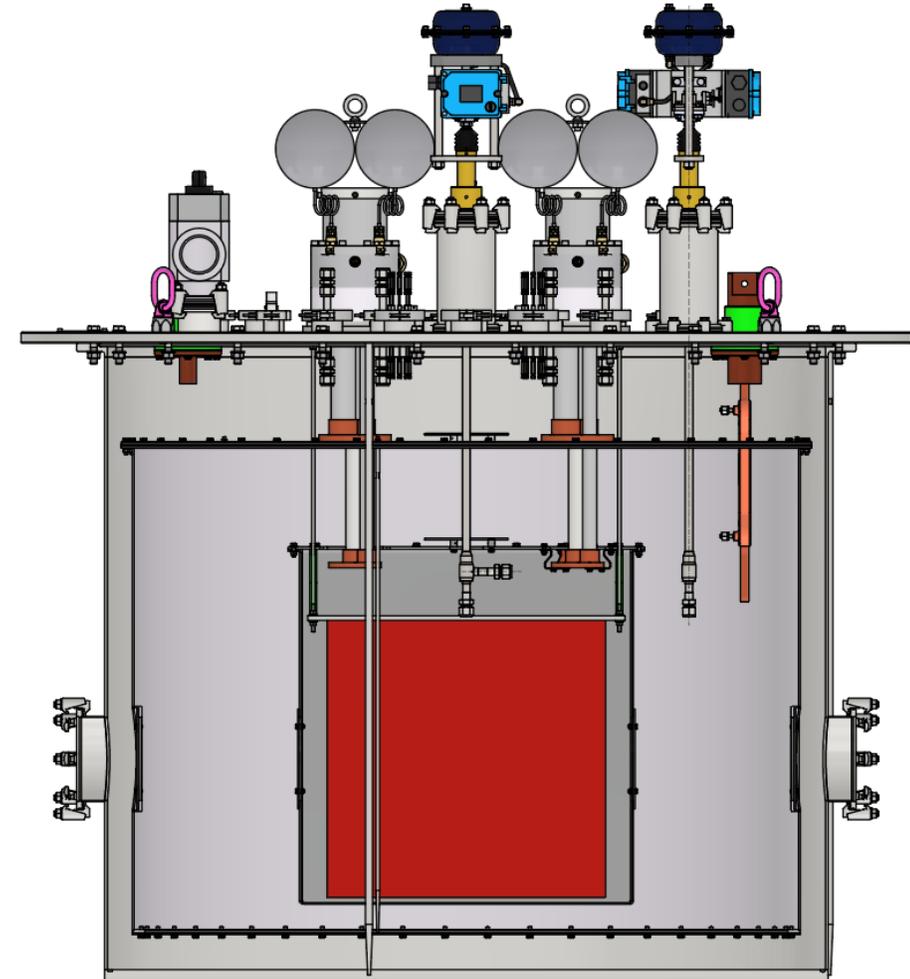
[1] Kochenburger, 2019

# COMPASS – Schematischer Überblick



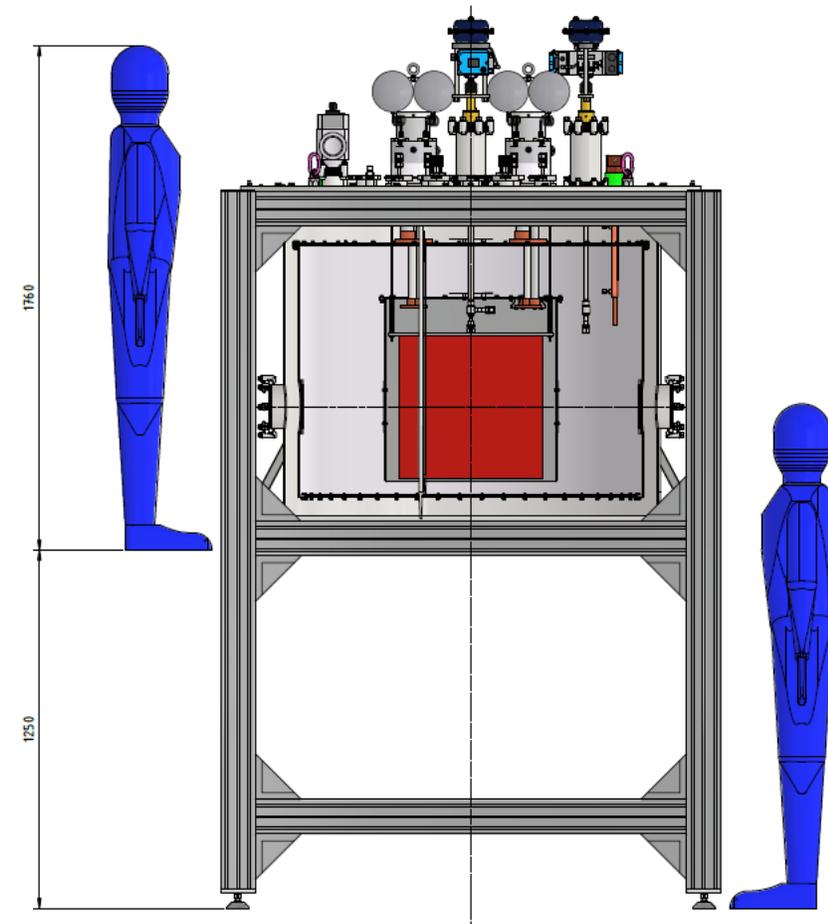
# COMPASS – Kryostatdesign

- Kryostatbehälter mit 1300 mm Durchmesser
- Cryomech PT425 Cryocooler zur Kühlung von Schilden und Komponenten
  - 77 K-Schild durch 1. Stufe
  - 4 K-Schild durch 2. Stufe
- Möglichkeit zur Magnetfeldmessung in supraleitenden Magneten oder Kavitäten
  - kryogener Bauraum 50x50x50 cm<sup>3</sup>
  - Stromzufuhr über zwei separate Stromkreisläufe
  - Zugangsflansche an Seiten

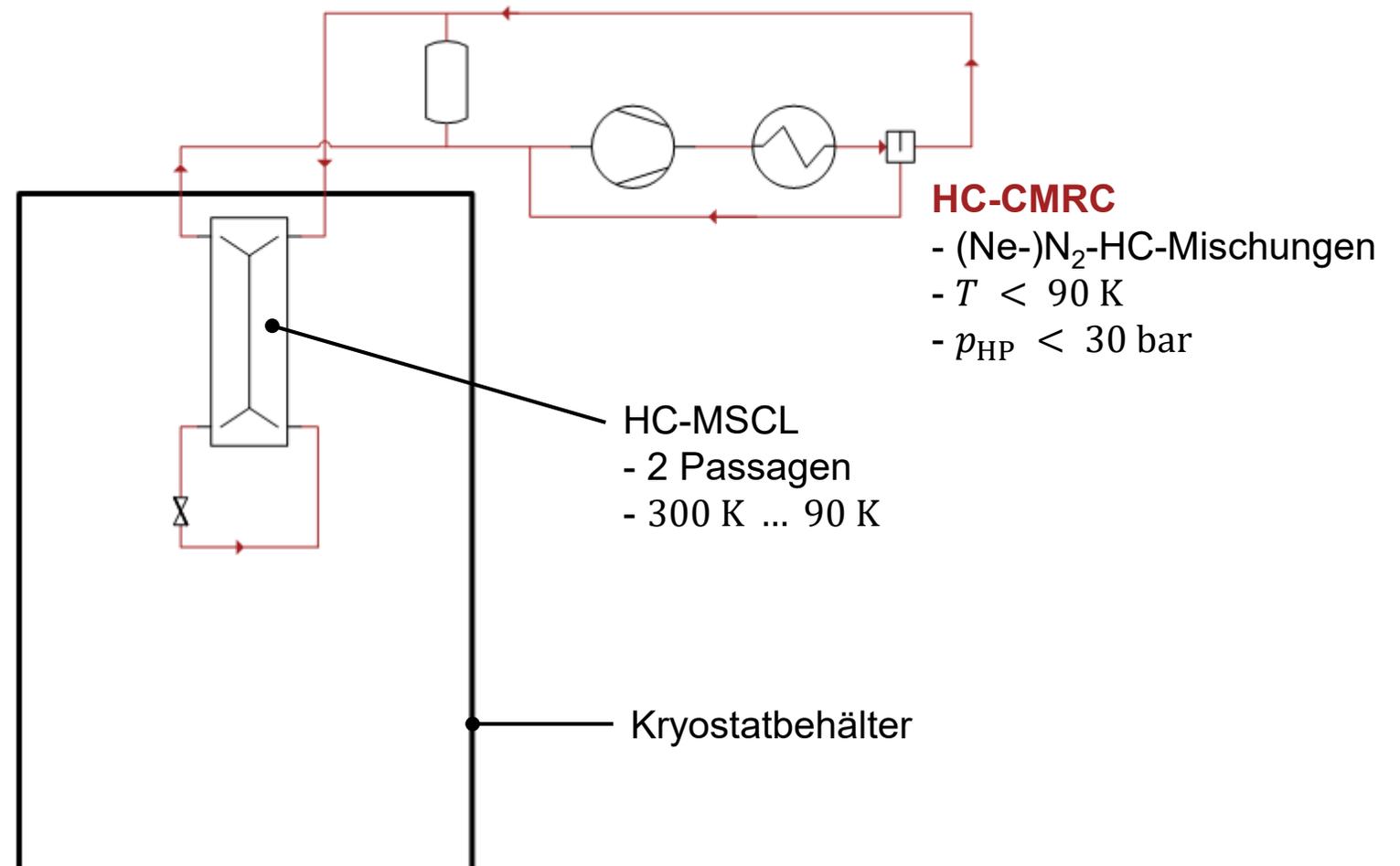


# COMPASS – Aufstellung

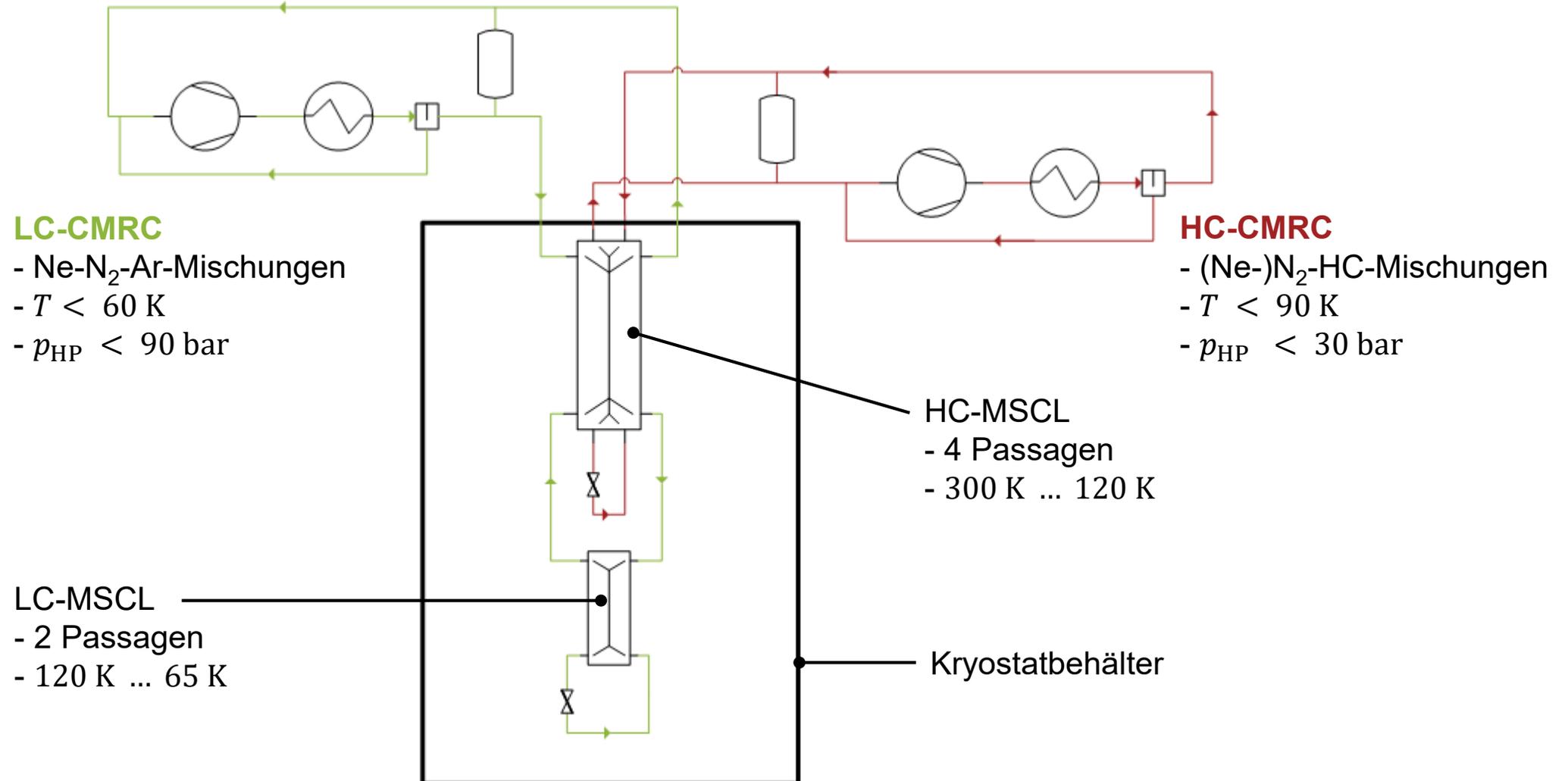
- Kryostat wird auf Gestell aufgehängt
  - Deckel in 2.5 m Höhe auf Gestell befestigt
  - Behälter von unten montiert
  - Absenkung des Behälters über Hebeegerät
    - keine Bewegung des Deckels nötig
    - permanent verlegte Rohrleitungen
    - Vermeidung von Leckagen an Leitungen und Kapillaren
  
- ITEM-Gestell bis 2500 kg belastbar
  
- zwei Arbeitsplattformen zur Arbeit am Kryostaten



# CMRC-Prozess

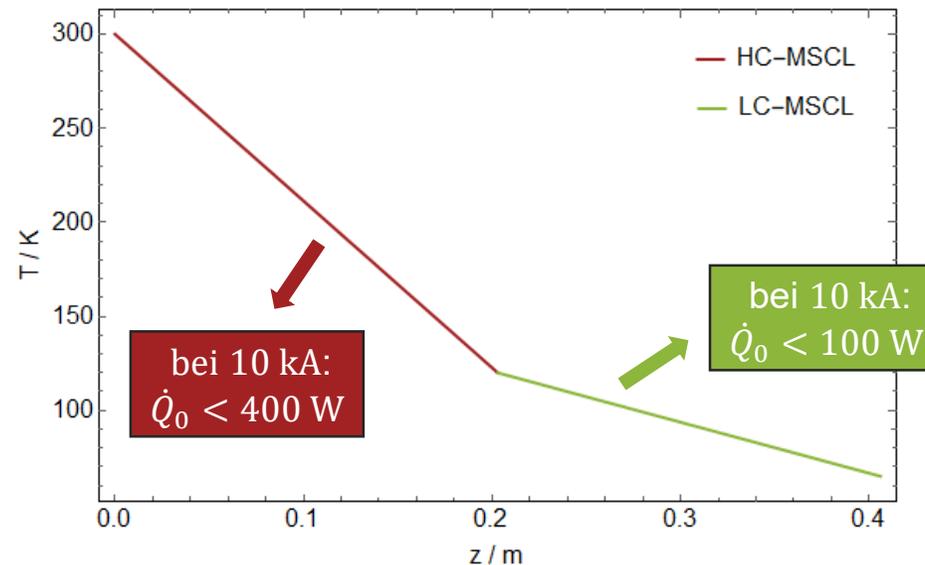
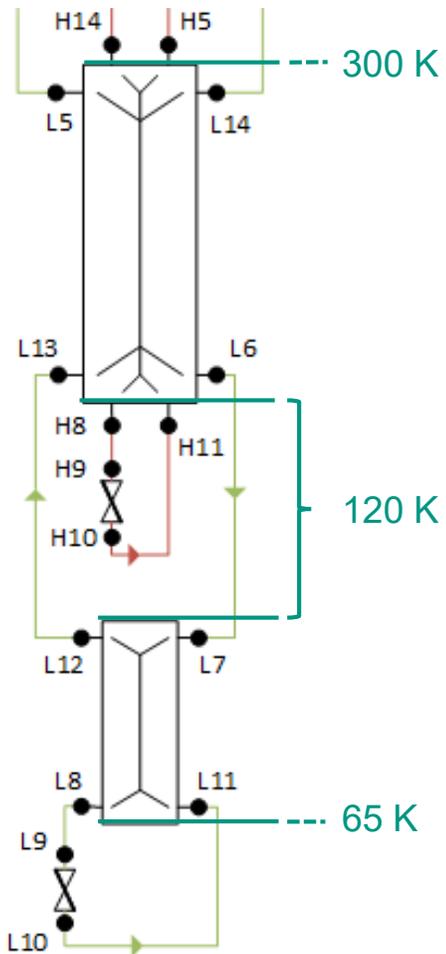


# CMRC-Kaskade



# Abschätzung der Kälteleistung

- Berechnung der Wärmelast bei  $I = 10 \text{ kA}$  aufgrund ohmscher Verluste und parasitärer Wärmeströme
- Annahmen
  - lineare Temperaturprofile in beiden MSCLs
  - Geometrie des mechanischen Prototypen für beide MSCLs
  - MSCL aus Kupfer mit  $RRR = 50$

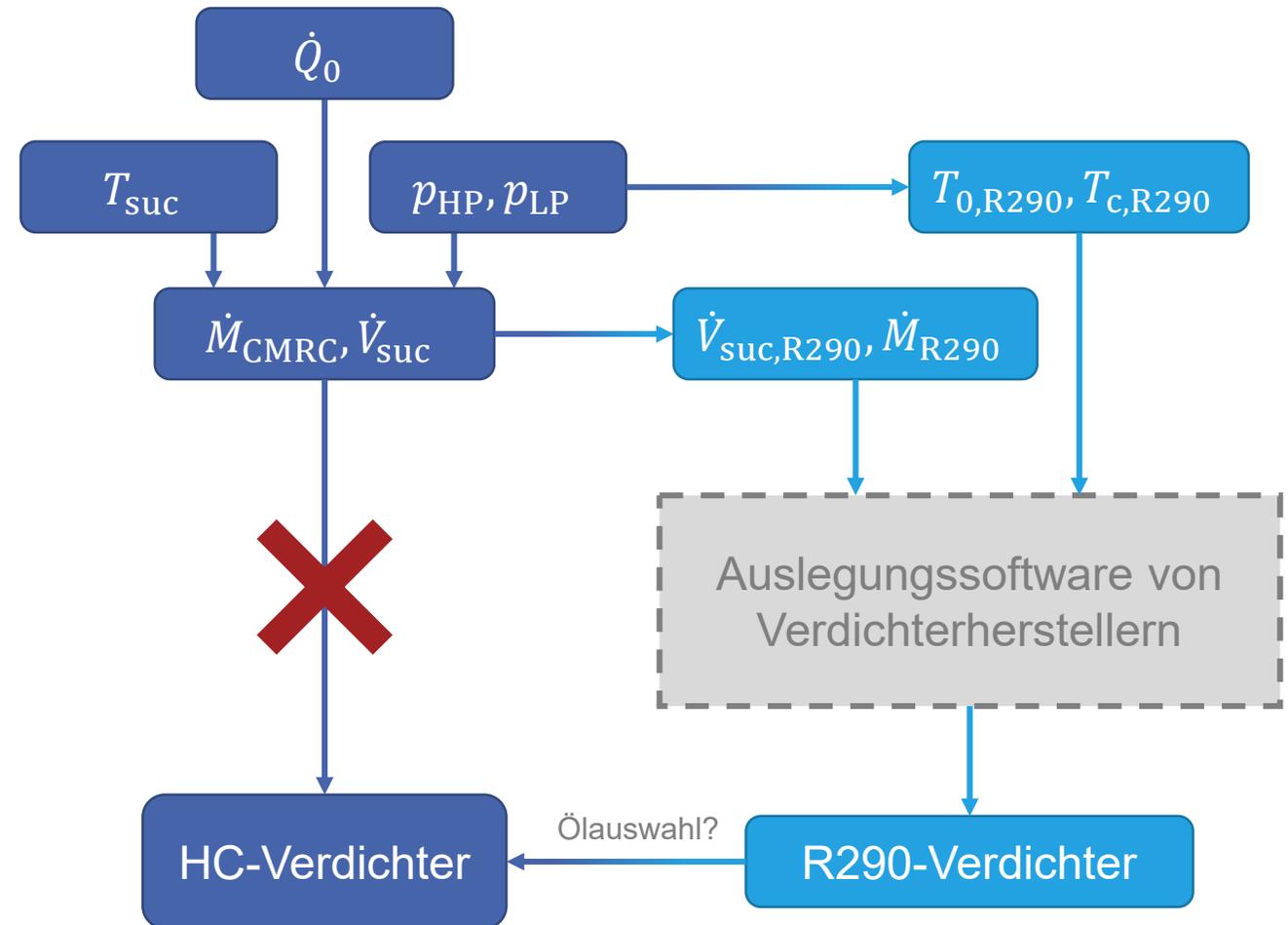


**Kälteleistungen:**

- HC-CMRC: 500 W
- LC-CMRC: 100 W

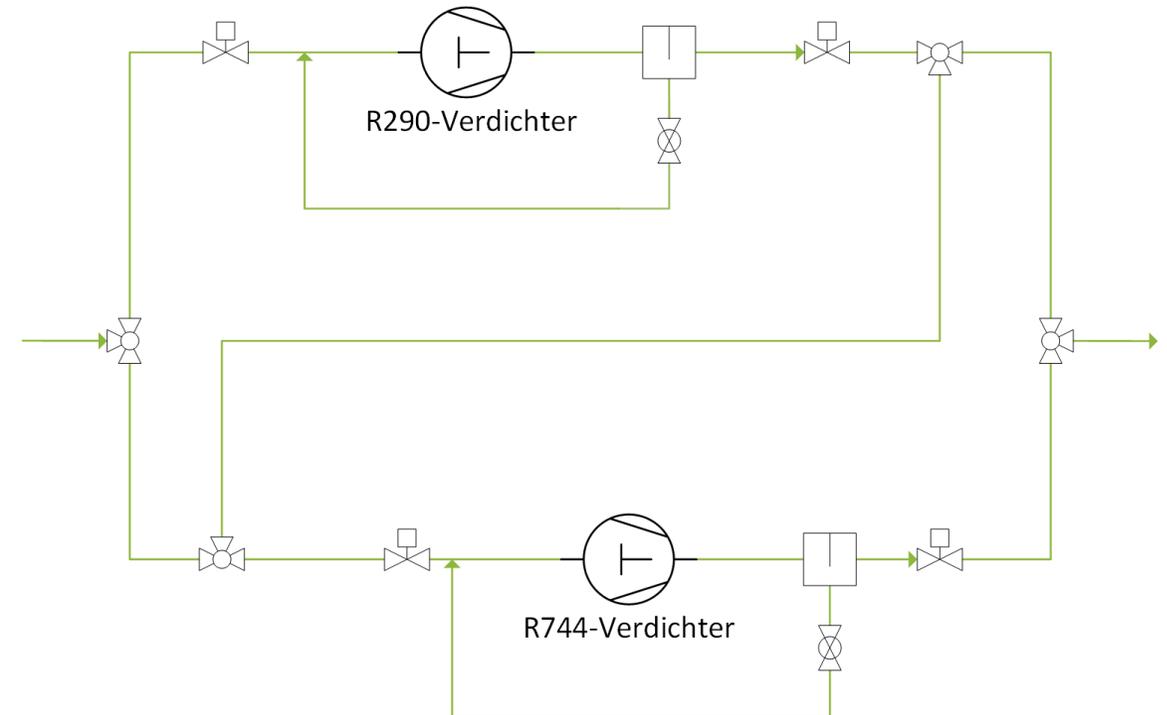
# Verdichterauswahl

- Grundlage: benötigte Kälteleistung
- Randbedingungen:  $p_{HP}, p_{LP}, T_{suc}$
- Problem: keine Verdichter für spezielle Kältemittelgemische erhältlich
- Propan-(R290)-Verdichter für HC-CMRC
  - Umrechnung der Randbedingungen in Reinstoffdaten
  - Kompatibilität Verdichteröl
- CO<sub>2</sub>-Verdichter für LC-CMRC für anspruchsvolle Hochdrucklagen



# LC-CMRC – Flexibilität bei geringeren Lasten

- Zusätzlich zum CO<sub>2</sub>-Verdichter ist ein weiterer R290-Verdichter vorgesehen
- Verdichterbetrieb
  - einzeln, R290- oder R744-Verdichter
  - seriell, R290- als Vorstufe für R744-Verdichter
- Möglichkeit des Betriebs der LC-CMRC-Stufe auch bei Wärmelasten von 100 W mit konventionellen Drücken ( $p_{HP} < 25 \text{ bar}$ )



Maximale Flexibilität zur Abdeckung verschiedener Betriebsbedingungen

# Zusammenfassung

- Stromzuführungen mit maßgeblichem Wärmeeintrag auf kryogene Systeme
    - Optimierung von Stromzuführungen erfordert Kühlung entlang der gesamten Länge
      - CMRC-gekühlte, mikrostrukturierte Stromzuführungen als effiziente, skalierbare Technologie
  - COMPASS-Versuchsstand ermöglicht Erprobung von CMRC-gekühlten, mikrostrukturierten Stromzuführungen unter realer Last
  - Auslegung der CMRC-Kreisläufe für Stromstärken von wenigen 100 A bis 10 kA
- ➔ Hohe Flexibilität von COMPASS erlaubt Erprobung von Stromzuführungen verschiedener Leistungsklassen



# Quellenangaben

[1] T. Kochenburger, „Kryogene Gemischkältekreisläufe für hochtemperatursupraleitende Anwendungen“, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2019.