

# Inbetriebnahme des Cryogenic Phase Equilibria Test Stand CryoPHAEQTS

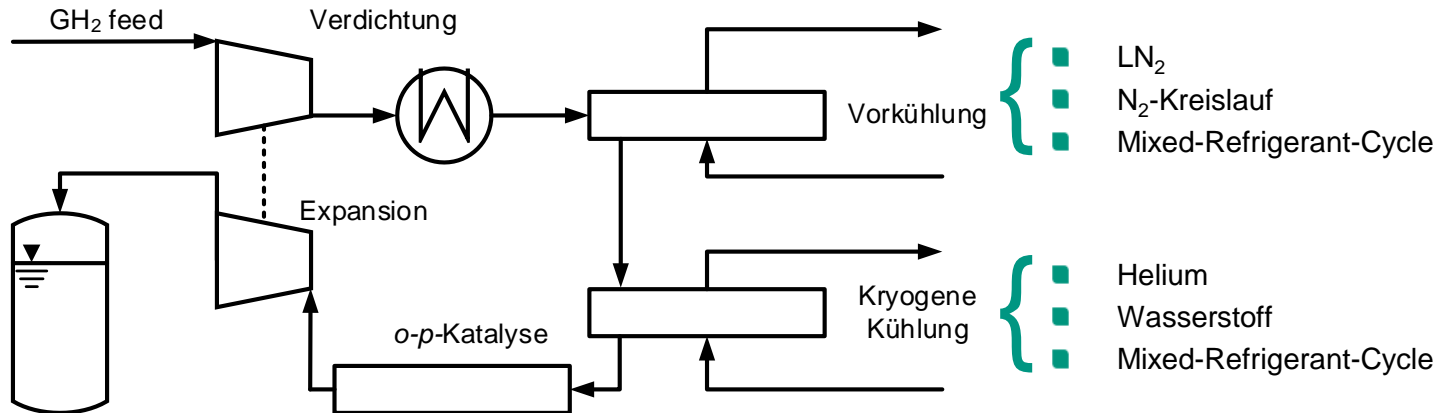
J Tamson, P Blanck, S Grohmann

DKV Tagung 2019, Ulm

Institut für Technische Thermodynamik und Kältetechnik (ITTK)



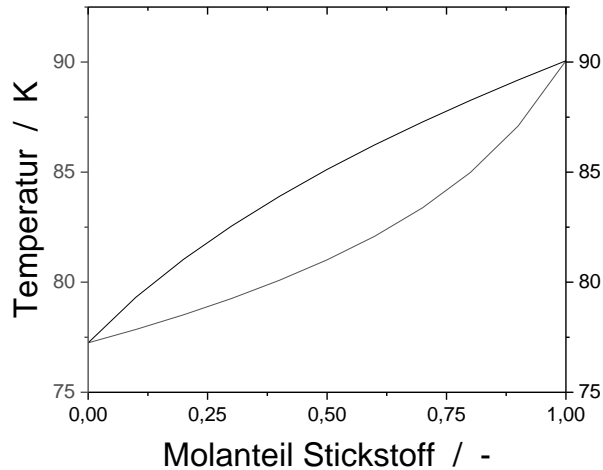
# Motivation: Wasserstoffverflüssigung



Stoffdaten für kryogene Gemische nicht/spärlich vorhanden

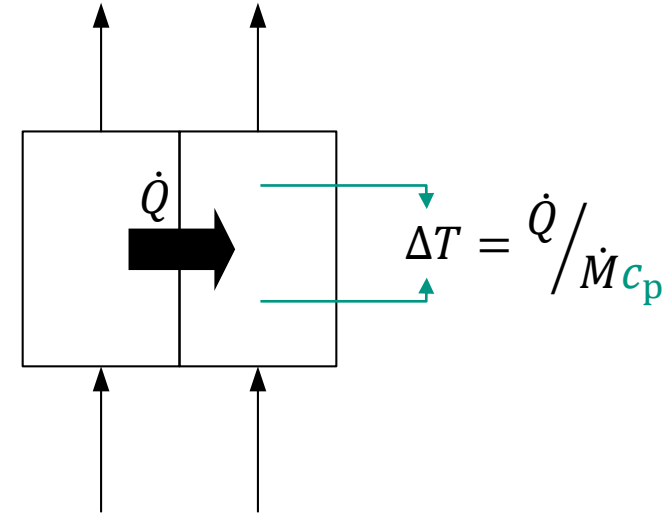
# Benötigte Daten

## ■ Phasengleichgewichtsdaten ( $pTxy$ )



Binäres VLE Sauerstoff-Stickstoff bei 1 bar nach REFPROP 10.0.

## ■ Kalorische Daten ( $c_p$ )



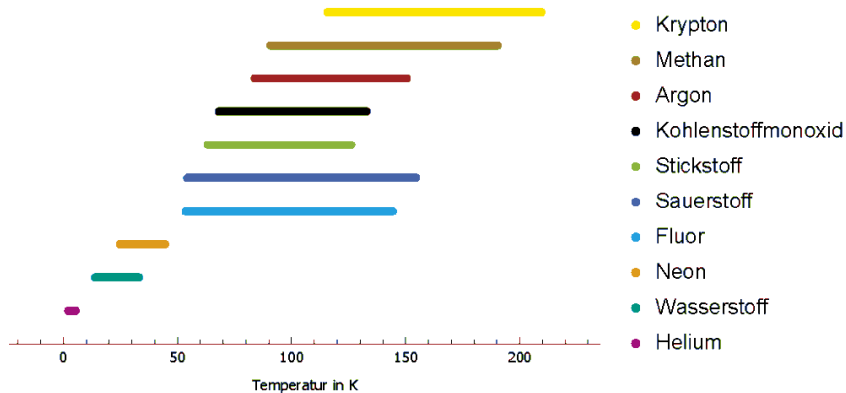
# Prüfstand CryoPHAEQTS

## ■ Phasengleichgewichte messen

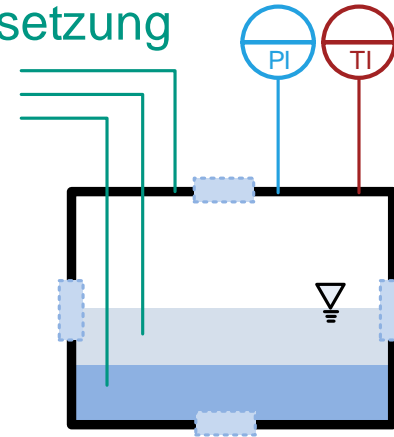
- VLE
- VLLE
- SLE

## ■ Messung $c_p$ in der Dampfphase

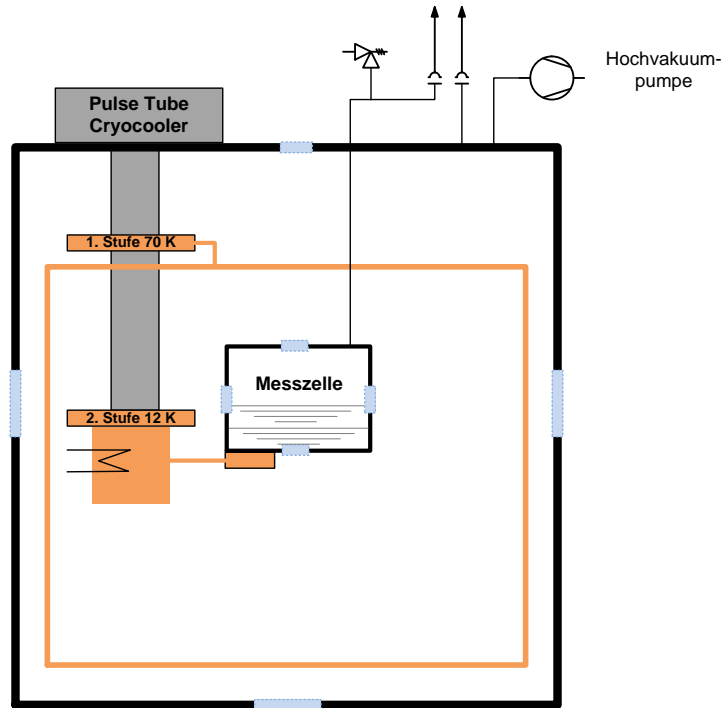
## ■ Einsatzstoffe: kryogene Gase



0 – 15 MPa    15 – 300 K  
Analyse der Zusammensetzung     $p$      $T$

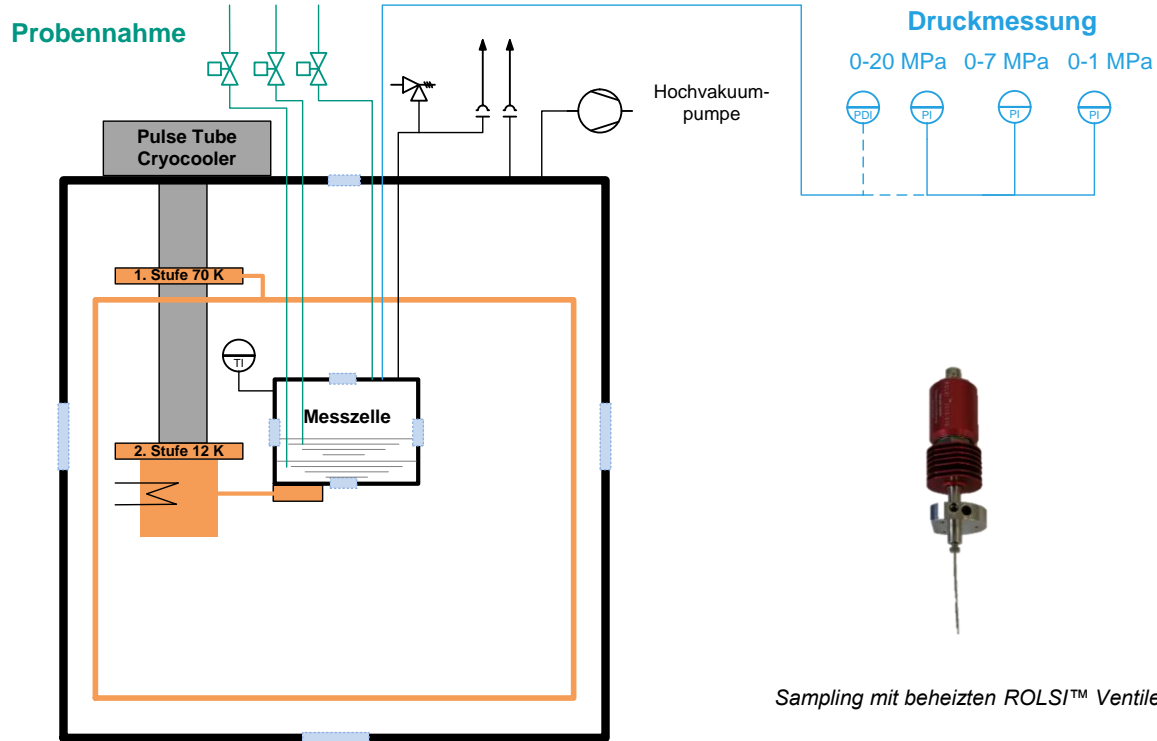


# Verfahrensschema 1/4



*Messzelle im Prüfstand CryoPHAEQTS.*

# Verfahrensschema 2/4

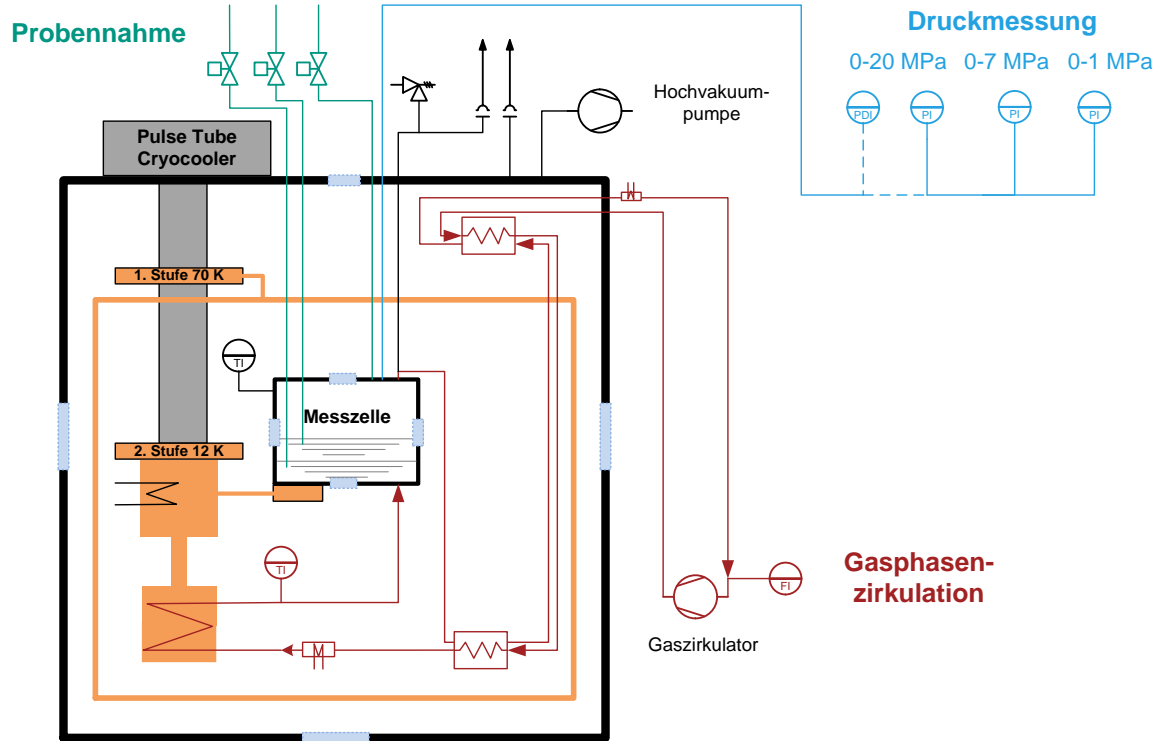


Sampling mit beheizten ROLSI™ Ventilen

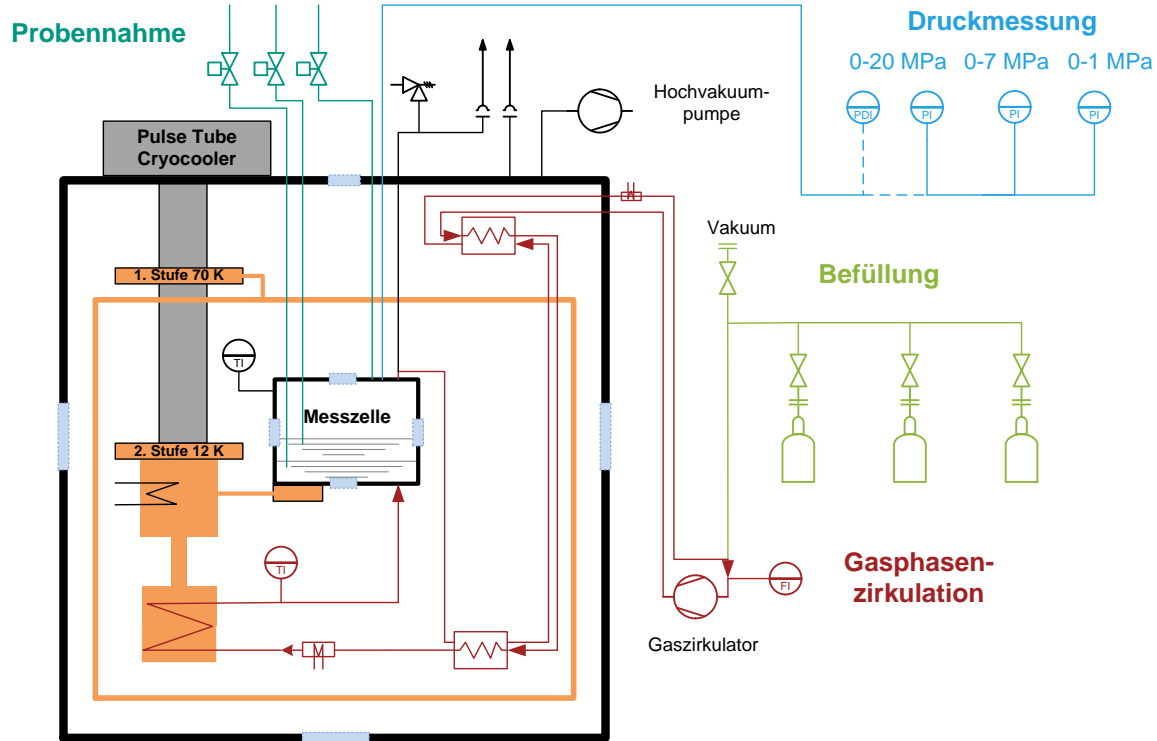


Druckmessung und Befüllung

# Verfahrensschema 3/4



# Verfahrensschema 4/4

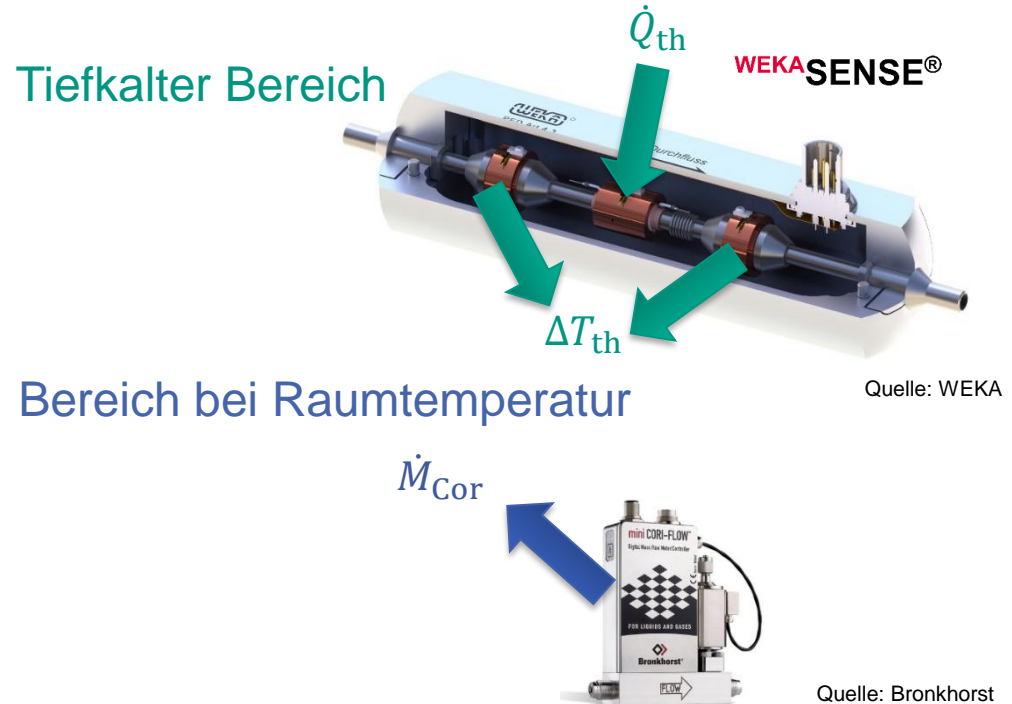
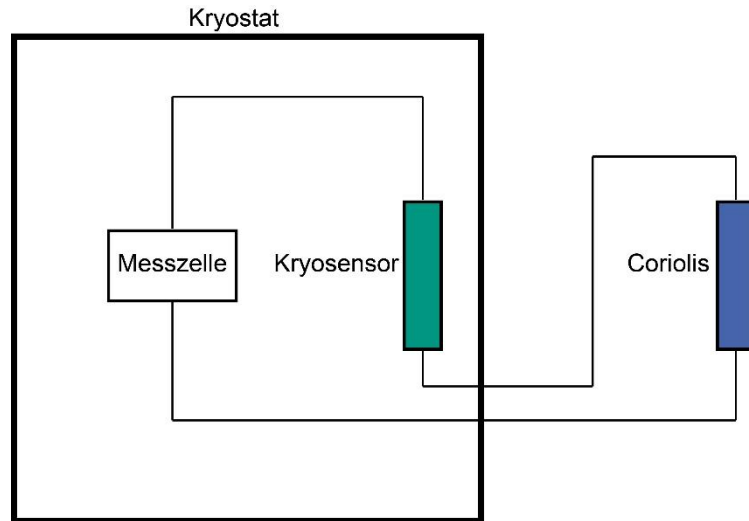




# c<sub>p</sub>-Sensor

- Kombination aus thermischer und Coriolis Durchflussmessung

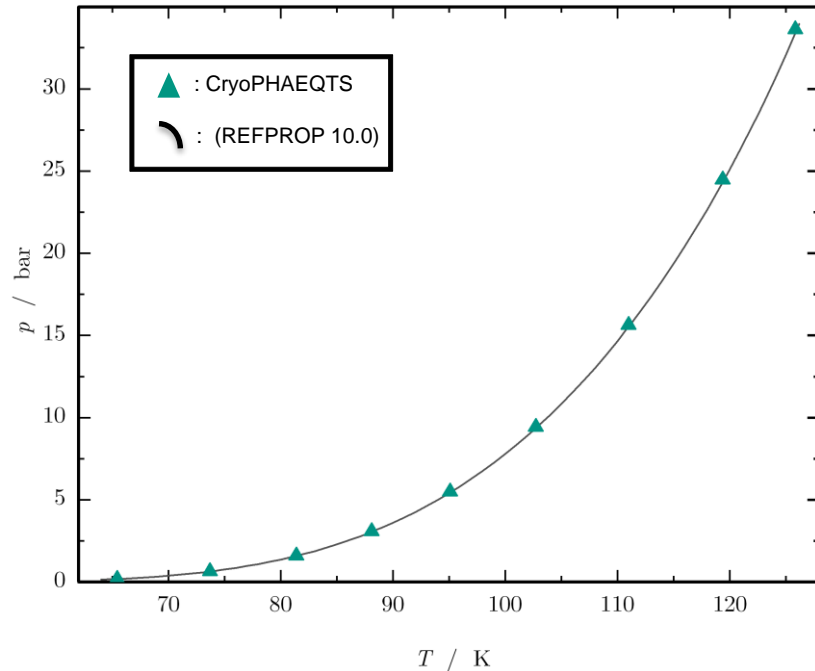
$$c_p = \frac{\dot{Q}_{th}}{\dot{M}_{Cor} \Delta T_{th}}$$



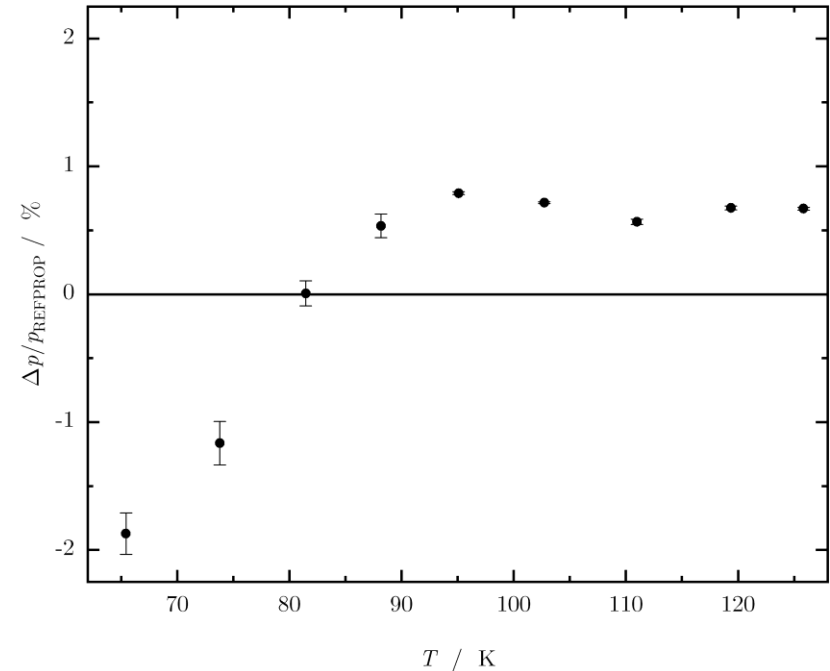
# Inbetriebnahme

- Tiefstmögliche Temperatur:  $T_{\min} \approx 11 \text{ K}$
- Jedoch Temperaturgradient in der Messzelle ( $\Delta T = 200 \text{ mK}$ )
- Integrale Leckrate  $< 10^{-7} \text{ mbar/Ls}$
  
- Validierung des Prüfstands anhand der DDK von  $\text{N}_2$

# Validierung mit N<sub>2</sub>



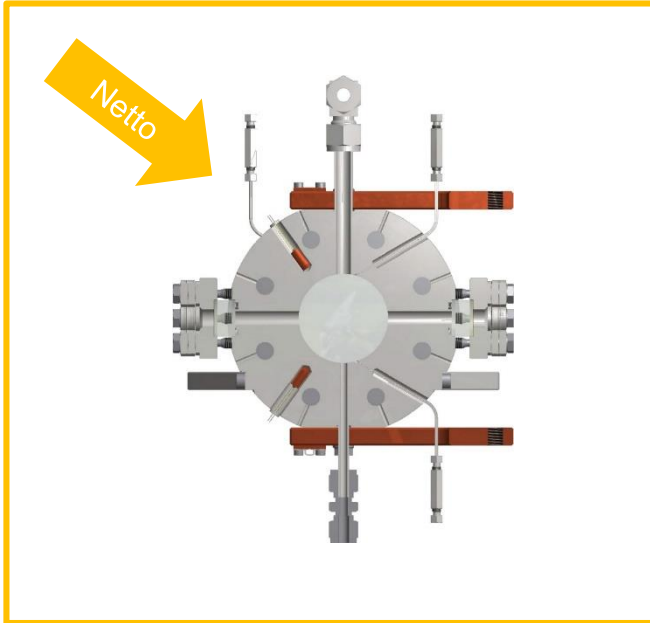
Dampfdruckkurve von Stickstoff nach REFPROP 10.0 und Messdaten von CryoPHAEQTS.



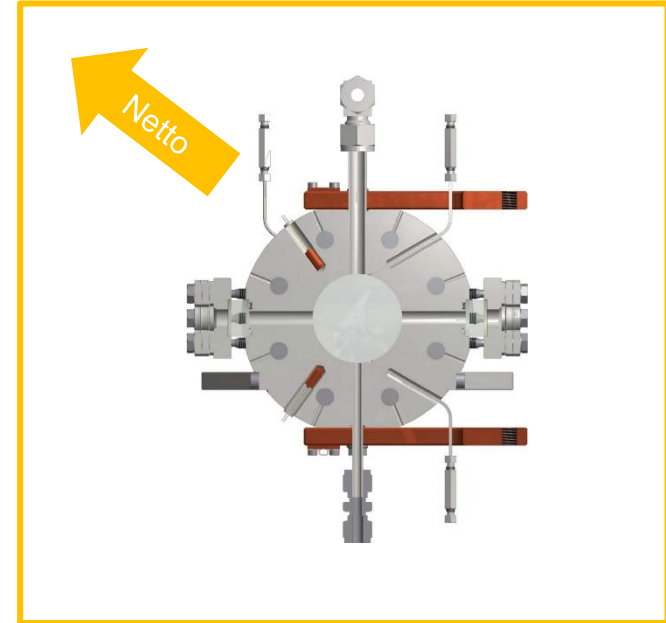
Relative Abweichung der gemessenen Dampfdrücke zur Referenz.

# Strahlungseinflüsse

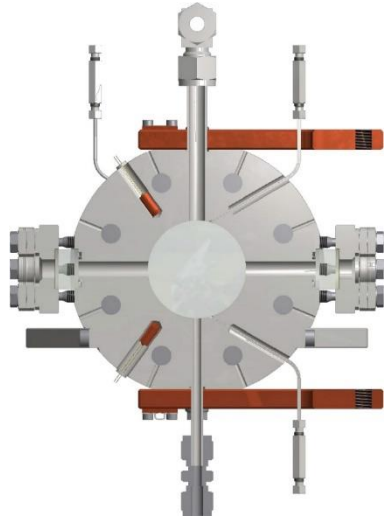
$$T_{\text{Schild}} > T_{\text{Zelle}}$$



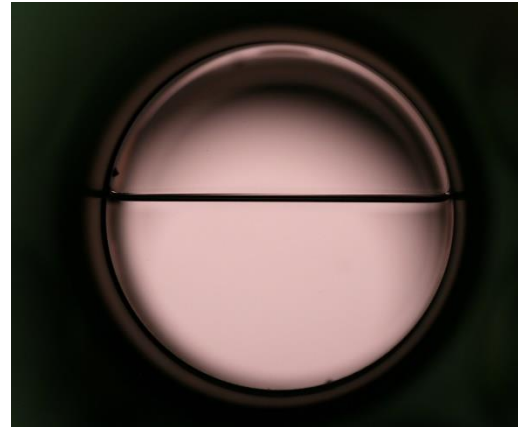
$$T_{\text{Schild}} < T_{\text{Zelle}}$$



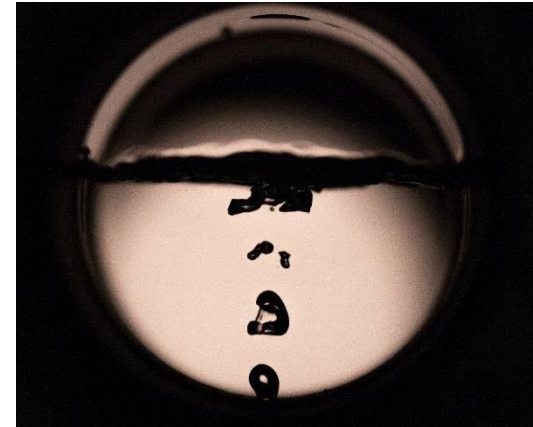
# Konvektive Einflüsse



ohne  
Gasphasenzirkulation



mit  
Gasphasenzirkulation



$$\Delta T = T_{\text{oben}} - T_{\text{unten}}$$

380 mK

160 mK

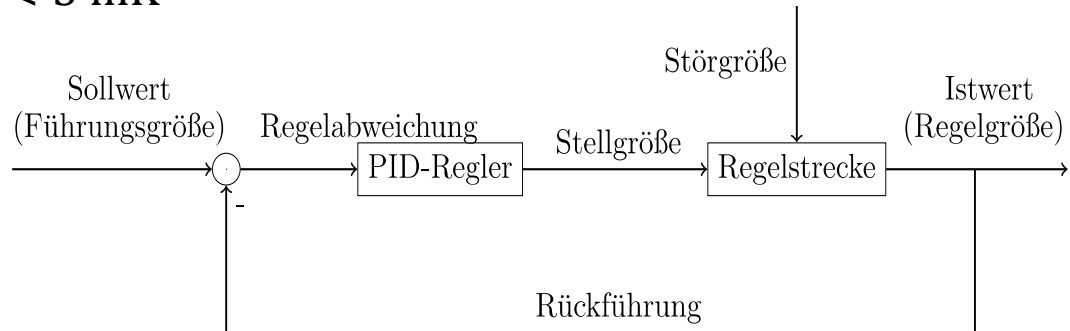
@95 K

# Einfluss Temperaturfluktuation

- Messungen mit konst. Heizleistung ohne Temperaturregelung
- Konstante Temperaturen für ca. 30 min
- „Nachhinken“ des Drucks könnte mehrere Stunden benötigen



Entwurf einer Regelung führte zu permanenter Temperaturstabilität  $\Delta T < 3 \text{ mK}$



# Nächste Schritte

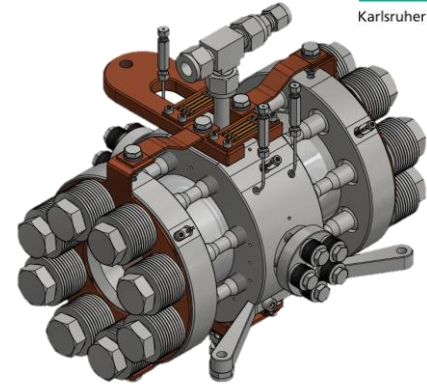
N<sub>2</sub> Messungen

Umbau des Teststands

Validierung mit Neon

Einbau und Inbetriebnahme  $c_p$ -Sensor

Gemischbetrieb



# Fazit

- Stoffdatenmangel zur Auslegung von Gemischkältekreisläufen zur HTS Kühlung
  - CryoPHAEQTS liefert Stoffdaten bis 15 K und 15 MPa für VLE, LLE, SLE
- Erste Inbetriebnahme zeigt mäßige Übereinstimmung mit REFPROP
  - Strahlungseinflüsse verursachen Inhomogenitäten
  - Temperaturstabilität beeinflusst Druckeinstellung
- Umbaumaßnahmen und Regelungskonzept entwickelt