Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

IKKU Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

N_2O-CO_2-Gemische als Kältemittel für Temperaturen unter -50 °C

Elena Melito, Timo Maurath, Michael Kauffeld

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Supported by:
Federal Ministry for Economic Affairs and Energy

ZF4093102 RE5

on the basis of a decision by the German Bundestag

Inhalt

- Einführung
- Voruntersuchungen
  - Distickstoffmonoxid (N_2O)
  - N_2O - CO_2 - Gemische
  - Öleinfluss auf die Zersetzung
- Versuchsanlage
- Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

Einführung

Motivation	Zielsetzung
• EU F-Gasverordnung (EU 517/2014) • Verfügbarkeit und Preis aktueller Tieftemperaturkältemittel	• Praktikables und thermodynamisch geeignetes Ersatzkältemittels für Temperaturen unter -50 °C

Aufgabenstellung: Untersuchung der generellen Eignung von Distickstoffmonoxid (Lachgas, N_2O) als Tieftemperaturkältemittel

Voruntersuchungen - Distickstoffmonoxid (N_2O)

Eigenschaften von N_2O

- Kältemittelbezeichnung R744A
- Normalsiedepunkt -88,5 °C
- Trippelpunkt -90,8 °C
- GWP = 298, ODP = 0,017
- Nicht brennbar und nicht giftig
- Kostengünstig und verfügbar

Achtung: Exotherme Zersetzungsfähigkeit von N_2O

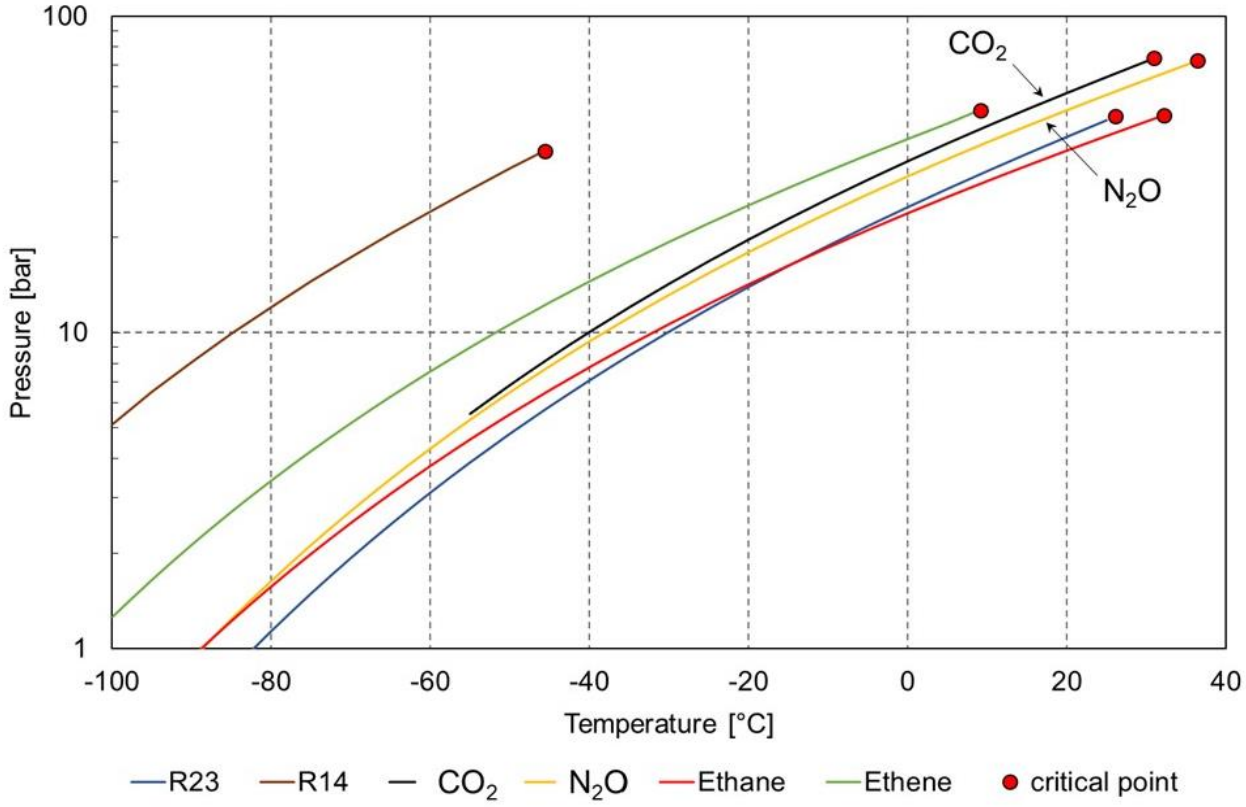

Abbildung: Dampfdruckkurven unterschiedlicher Tieftemperaturkältemittel

Voruntersuchungen - Distickstoffmonoxid (N_2O)

N_2O-Zersetzungsfähigkeit

- Sicherheitsdatenblatt:
  - Selbstzersetzung bei 575 °C, ab 300 °C mit Katalysatoren
  - Heftige Reaktionen mit organischen Stoffen
- Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

→ Einsatz von reinem N_2O als Kältemittel nicht empfehlenswert

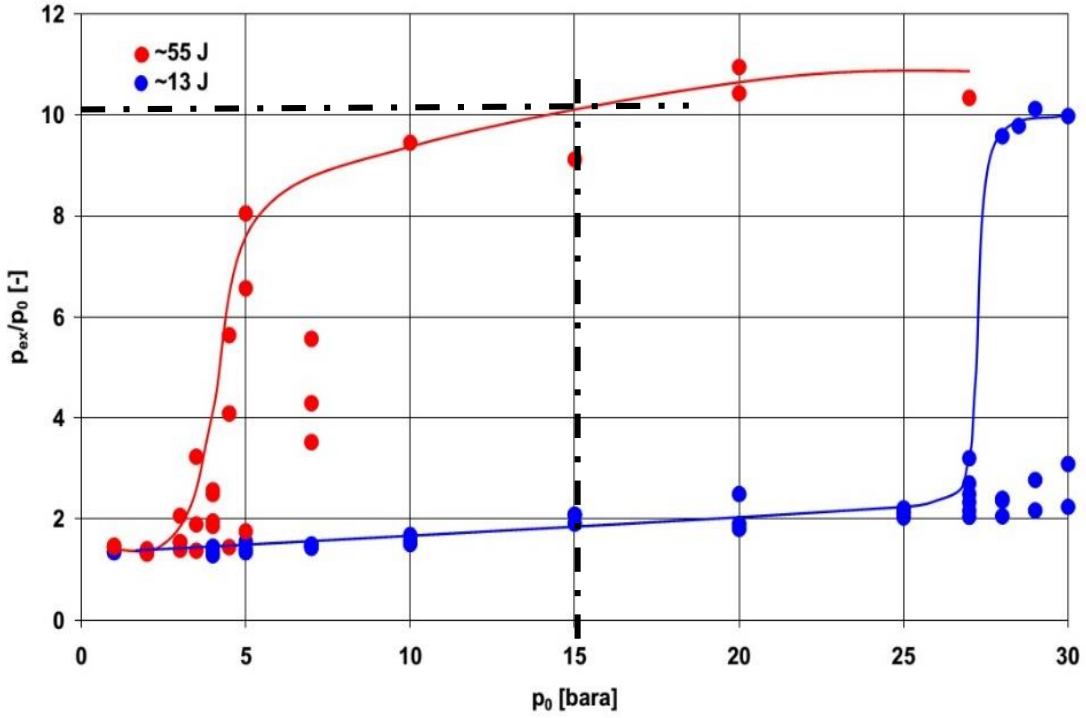

Abbildung: Explosionsdruckverhältnisse einer N_2O-Zersetzung als Funktion des Anfangsdruckes für verschiedene Zündenergien. 6,5 l Autoklav, t = 50 °C.

Quelle: Gula, M., Explosionstechnische Charakterisierung chemisch instabiler Gase, Dissertation, Universität Berlin, 2010

Voruntersuchungen – N_2O - CO_2 - Gemische

Phlegmatisierung der Zersetzungsfähigkeit durch Beimischung eines inerten Gases

- CO_2 als Beimischungskomponente
- Untersuchungen der BAM zu Stabilitätsdruckgrenzen von N_2O – CO_2 - Gemischen
- Veränderung der möglichen Verdampfungstemperatur

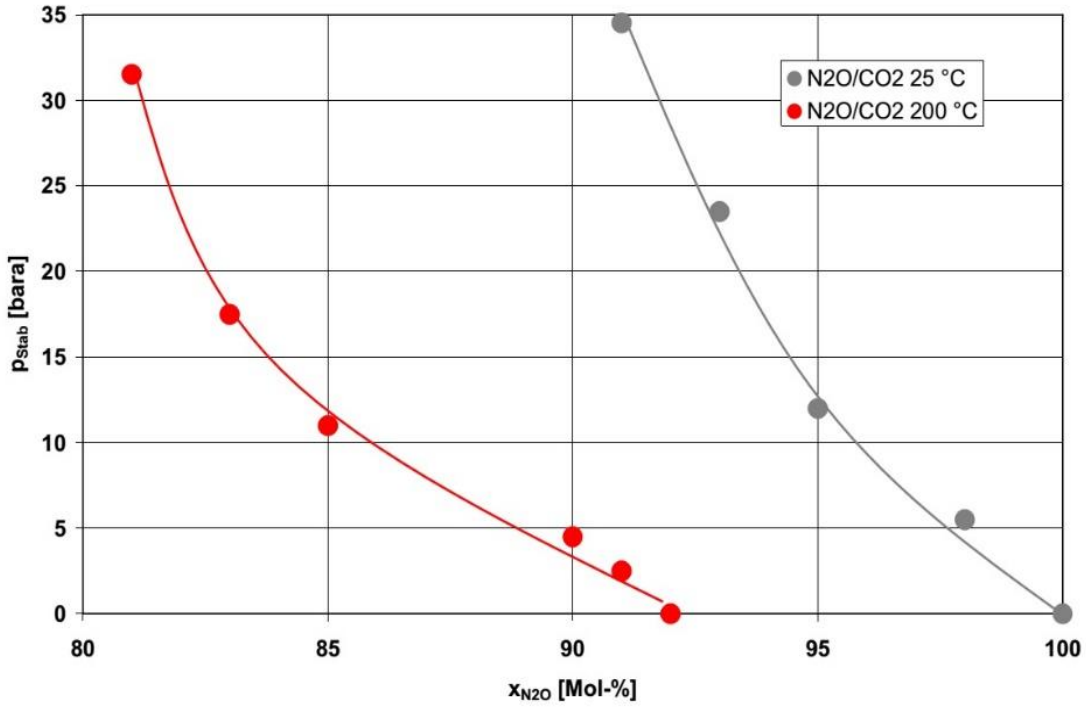

Abbildung: Stabilitätsdruckgrenzen von N_2O-CO_2-Gemischen als Funktion des Eingangsdruckes bei 25 °C und 200 °C. 6,5 l Autoklav, Zündenergie ca. 13 J

Quelle: Gula, M., Explosionstechnische Charakterisierung chemisch instabiler Gase, Dissertation, Universität Berlin, 2010

Voruntersuchungen – Öleinfluss auf die Zersetzung

Verdacht: Negative Auswirkung von POE-Öl auf N_2O - Stabilität

- Untersuchungen der BAM mit einem definierten N_2O – CO_2 - Gemisch:
  - Fein vernebeltes POE-Öl → keine Reaktion

→ Explosionsfähigkeit abhängig von Art des Ölnebels

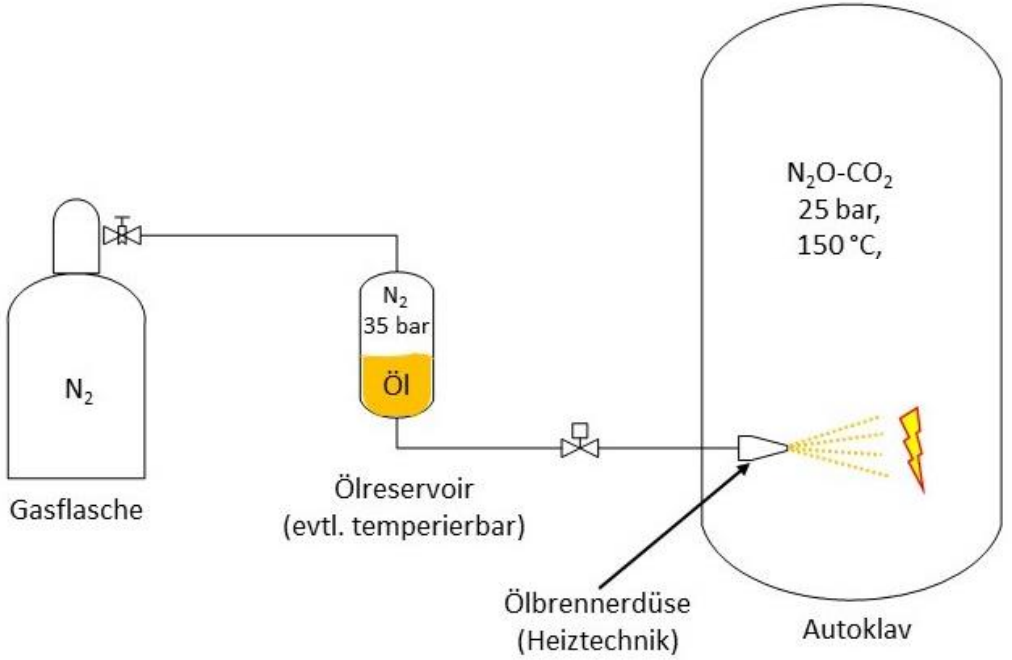

Abbildung: Testaufbau zur Untersuchung der Zersetzung von N_2O-CO_2-Öl-Gemischen bei BAM

Voruntersuchungen – Öleinfluss auf die Zersetzung

Verdacht: Negative Auswirkung von POE-Öl auf N_2O - Stabilität

- Weitere Untersuchungen der BAM:
  - Vergleich der Explosionsfähigkeit von reinem N_2O mit Gemischen aus N_2O und 1. POE-Öl und 2. PFPE-Öl

→ Empfehlung: Verwendung eines inerten Schmierstoffes

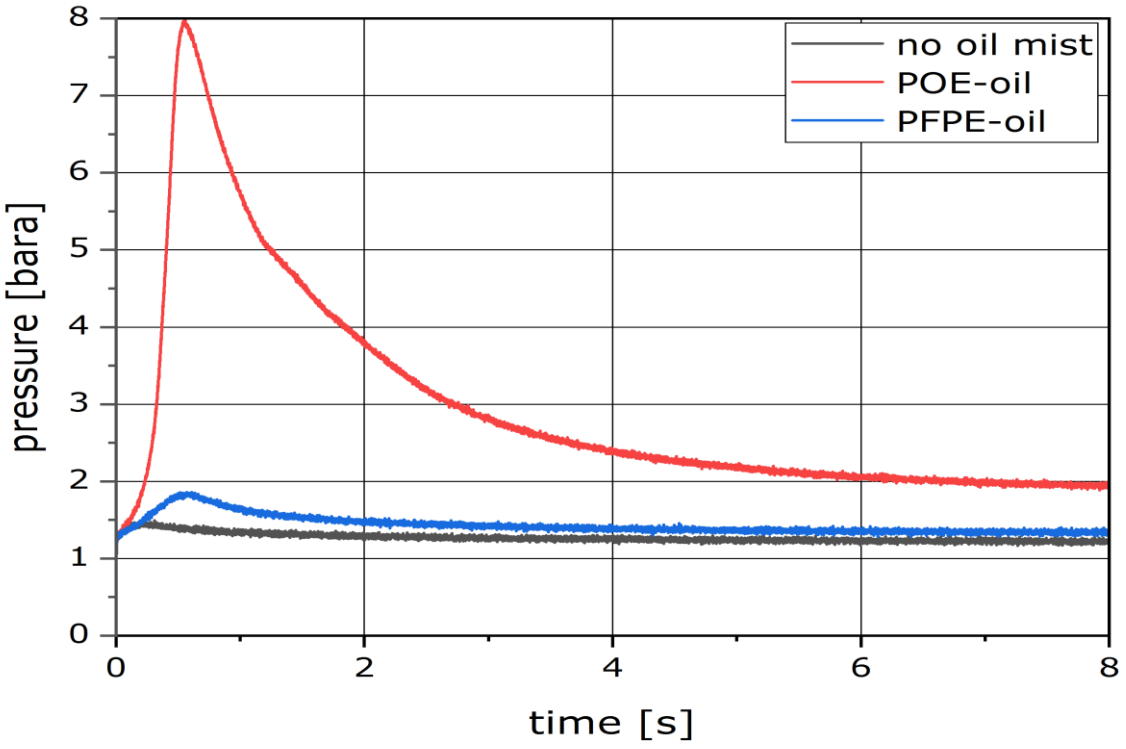

Abbildung: Druckverlauf über die Zeit gemessen von BAM in Zündversuchen in reinem N_2O mit Nebeln unterschiedlicher Ölsorten bei 1 bar, 100 °C und Zündenergie von 10-20 J

Versuchsanlage

Kaskadenkälteanlage gemäß Gefriertrocknungsanlage mit R404A / N_2O-CO_2-Gemisch (70/30 Mol-%)

- Kühlung zweier Silikonölkreisläufe (Eiskondensator (IC) und Stellfläche (Sh))

POE-Öl:

- t_0 = - 75 °C
- $t_{IC,soll}$ = - 60 °C
- $t_{Sh,soll}$ = - 50 bis 20 °C

PFPE-Öl:

- $t_{Sh,soll}$ = - 50 °C
- $t_{IC,soll} \leq t_{Sh} - 10$ K

Abbildung: Versuchsanlage N_2O-CO_2-Gemisch Gefriertrocknung

Ergebnisse

POE-Öl:

- 550 h fehlerfrei
- Nach 150 h: Öl und Gemischzusammen-setzung unverändert

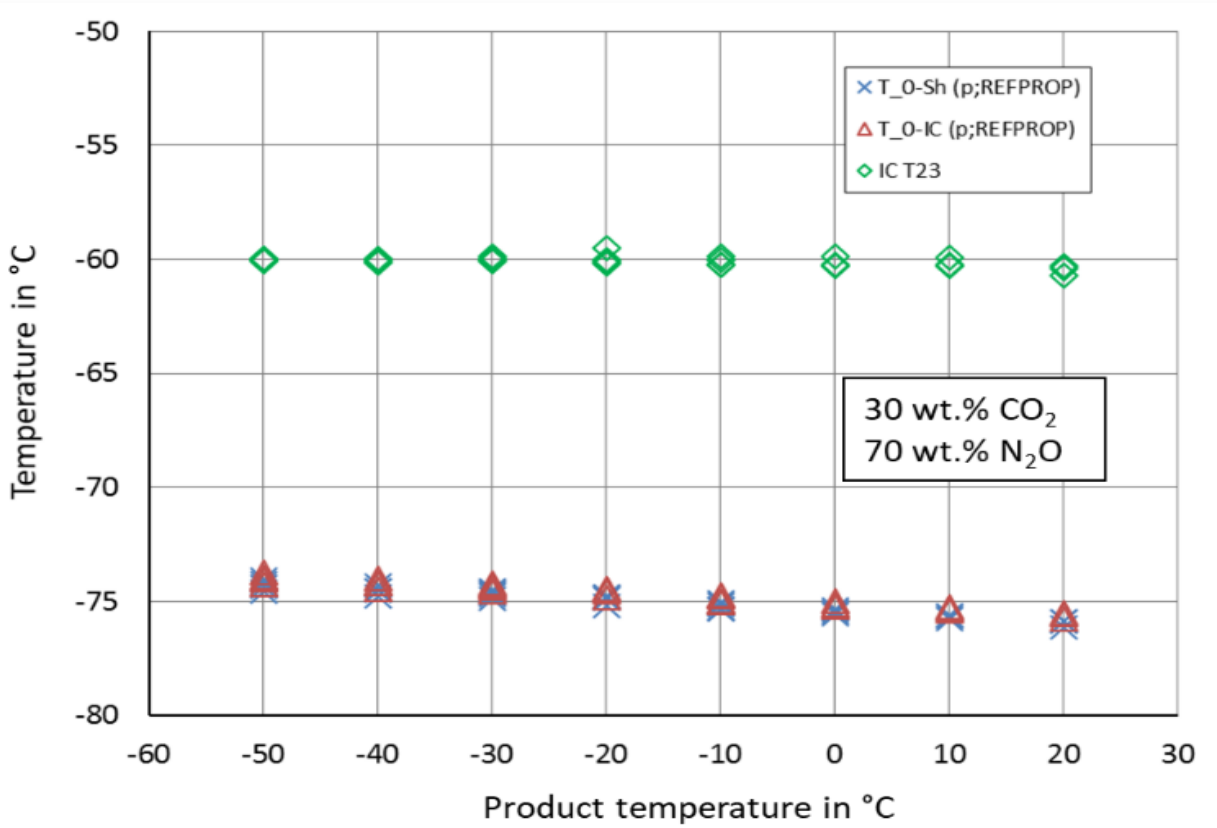

Abbildung: Gemessene Temperaturen während des Testablaufes mit der simulierten Gefriertrocknungsanlage mit N_2O-CO_2-Gemisch und POE-Öl

Ergebnisse

PFPE-Öl:

- 1.000 h erfolgreich
- Nach 600 und 1.000 h: Öl unverändert
- Nach 1.000 h: Verdichter „verschleißfrei“

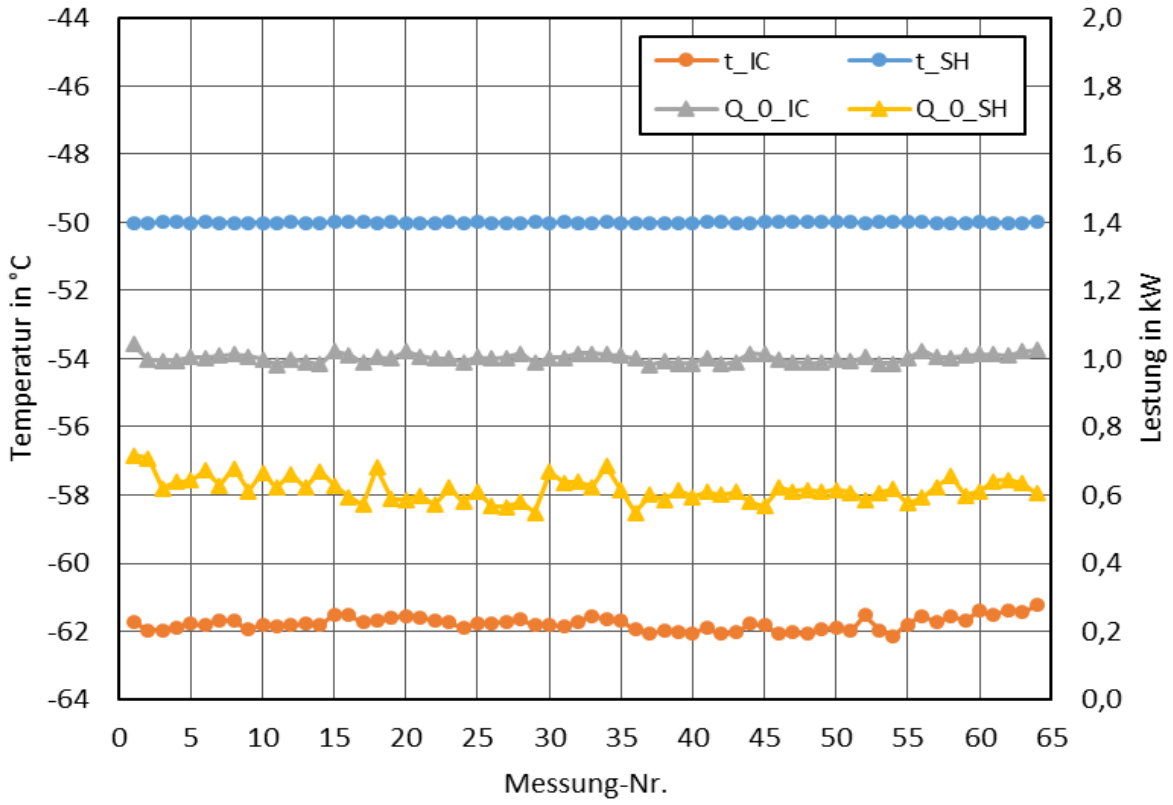

Abbildung: Kälteleistung und Temperaturen während des Testablaufes mit der simulierten Gefriertrocknungsanlage mit N_2O-CO_2-Gemisch und PFPE- basiertem Öl

Ergebnisse

PFPE-Öl:

- 1.000 h erfolgreich
- Nach 600 und 1.000 h: Öl unverändert
- Nach 1.000 h: Verdichter „verschleißfrei“

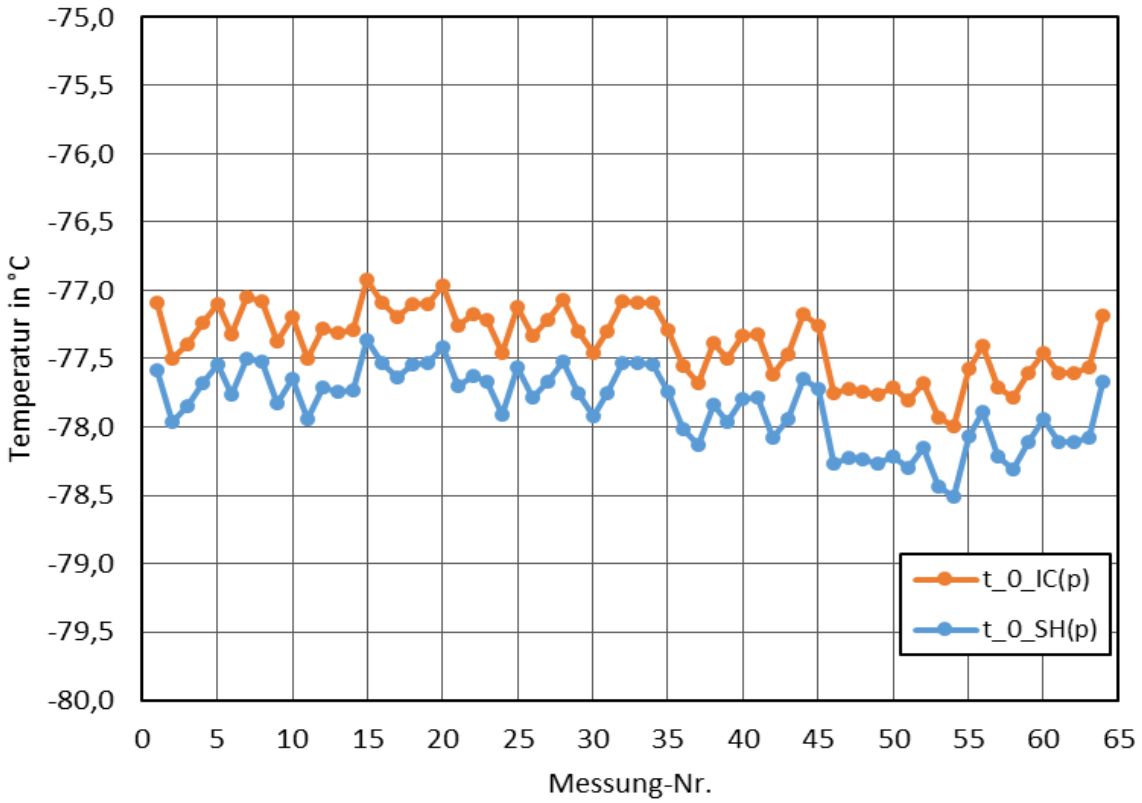

Abbildung: Verdampfungstemperaturen während des Testablaufes mit der simulierten Gefriertrocknungsanlage mit N_2O-CO_2-Gemisch und PFPE- basiertem Öl

Zusammenfassung und Ausblick

- Reines N_2O als Kältemittel nicht empfehlenswert
  - Explosionsfähigkeit durch Beimischen von inertem Gas (CO_2) phlegmatisieren
- Organische Substanzen erhöhen Explosionsfähigkeit
  - Einsatz eines inerten Öls (PFPE-Öl)
- Gefriertrocknungsanlage operierte erfolgreich mit 70 Mol-% N_2O und 30 Mol-% CO_2
  - Verdampfungstemperaturen bis -77 °C
  - 550 h mit POE-Öl und 1.000 h mit PFPE-Öl

➡ N_2O-CO_2-Gemische nachweislich geeignet als Kältemittel für Temperaturen unter – 50 °C

- Untersuchungen zur Anlagensicherheit
- Erhöhter CO_2-Anteil für höhere Verdampfungstemperaturen

Hochschule Karlsruhe
Technik und Wirtschaft
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

IKKU Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

Elena Melito

Moltkestraße 30

75185 Karlsruhe

Elena.melito@h-ka.de

Tel.: + 49 721 925 1823

Timo Maurath

Moltkestraße 30

75185 Karlsruhe

Timo.maurath@h-ka.de

Tel.: + 49 721 925 2367