ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

Löslich oder mischbar? – Die Crux mit der Effizienzberechnung

Das 1x1 zum Verständnis thermodynamischer Daten von Kältemittel-Öl-Gemischen

Miteinander forschen
Wirtschaft stärken
Perspektiven schaffen

Steffen Feja
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH Dresden, Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
steffen.feja@ilkdresden.de

DKV Jahrestagung, Magdeburg 16.-18. November 2022 ////////////////////////////

Motivation und Inhalt

ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

Berechnung der Effizienz

von Kälteanlagen unter Berücksichtigung von

Kältemitteln
und Schmierstoffen

Begrifflichkeiten

- löslich oder mischbar
- Umfrage während der DKV Tagung

Daten

- richtig messen
- richtig darstellen
- richtig modellieren
- abschätzen

Löslich oder mischbar

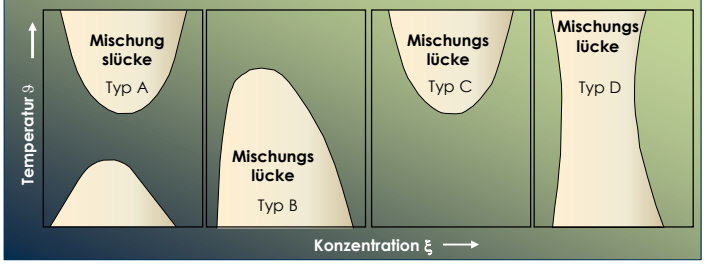
ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

P. Atkins: "Physikalische Chemie"

"Die Löslichkeit ist keine kolligative Eigenschaft im eigentlichen Sinne … . Bringt man einen (festen) Stoff in Kontakt mit einem Lösungsmittel, löst er sich auf."

Peter W. Atkins; Physikalische Chemie; 2.Auflage 1996, ISBN 3-527-29275-6, S.213.

Mischbarkeit: S.236f. → zwischen Flüssigkeiten



"Eine Lösung (eine homogene Mischung) …"

Peter W. Atkins; Physikalische Chemie; 2.Auflage 1996, ISBN 3-527-29275-6, S.226.

Löslichkeit oder Mischbarkeit in der Kältetechnik
Kältemittel im Öl – flüssig, gasförmig oder….?

ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

Löslichkeit: *g + Öl*

… beschreibt die Menge an Kältemittel(gas), welche im Öl gelöst ist

„Solubility (vapor pressure), …"

Henderson, D. R., "Solubility, Viscosity and Density of Refrigerant/Lubricant Mixtures" (1994). International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 283.

… die Fähigkeit von flüssigem Kältemittel „eine geringe Menge" Öl zu lösen. *fl. + Fl.*

"KAA oils – … oils not soluble in ammonia"

DIN 51503-1, Lubricants – Refrigeration oils – Part 1: Minimum requirements, 2022.

=

Mischbarkeit:

… beschreibt die Fähigkeit von Kältemittel und Öl eine homogene Phase zu bilden.

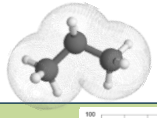
Unabhängig vom Weg

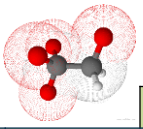
- Gasförmig (p) + Öl (m_2, T) – warten, wägen (→ m_1)
- Flüssig (m_1, T) + Öl (m_2, T) – warten (→ p)

→ Gemisch mit (p, T, ξ_1, ξ_2)

Erhitzen bis **T > $T_{kr.}$** & m_1 so, dass **p > $p_{kr.}$** → **KM-„Gas" = überkritisch**

UMFRAGE - Frage 1: Mischbarkeit von R290 und R134a mit MO, PAO, POE, PAG

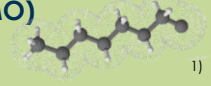




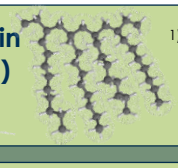
1)

ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

		R290		R134a	
Mineralöl, Polyalphaolefin (MO) (PAO)	sehr gut	49 %	√	9 %	
	gut	20 %		11 %	
	teilweise	20 %		30 %	
	"unlöslich"	11 %		50 %	√
Polyolester (POE)	sehr gut	17 %		28 %	
	gut	48 %	√	38 %	√
	teilweise	17 %		30 %	
	"unlöslich"	18 %		4 %	
Polyalkylenglykol (PAG)	sehr gut	16 %		16 %	
	gut	33 %	√	49 %	√
	teilweise	42 %		29 %	
	"unlöslich"	9 %		6 %	

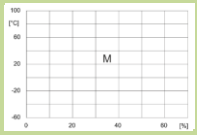


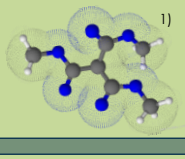
1)



1)

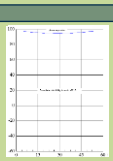
z.Bsp. SHC226E[2)] mit R290



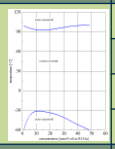


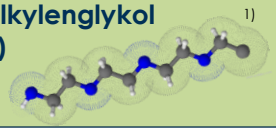
1)

z.Bsp. SE 120 VP[3)] mit R290



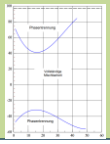
SEZ 80[3)] mit R134a



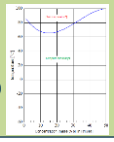


1)

z.Bsp. LPG 100[3)] mit R290



PAG 1234[3)] mit R134a

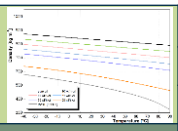


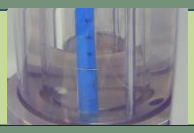
[1)] ACD/Chemsketch (Freeware) 2012, version 14.01, Advanced Chemistry Development, Inc., Toronto, On, Canada, www.acdlabs.com, 2013
[2)] https://www.bitzer.de/shared_media/html/kt-500/en-GB/26561613926561 7931.html
[3)] FUCHS LUBRICANTS GERMANY GmbH; Technical Information; 2016-2022.

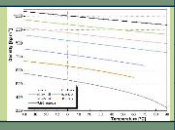
UMFRAGE - Frage 2: Geschwindigkeit der Einlösung von R290 und R134a in MO, PAO, POE, PAG

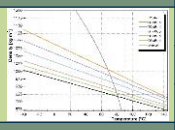
ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

… wenn die Kälteanlage ausgeschalten ist und alles auf gleicher Temperatur ist?					
1. Propan in MO oder PAO	Wenige min		49 %		
	Stunden		35 %		
	Tage		16 %		√
2. Propan in POE oder PAG nach 3 Tagen	Wenige min		31 %		
	Stunden		36 %		
	Tage		33 %		√
3. R134a in POE nach 2 Stunden	Wenige min		48 %		
	Stunden		42 %		√
	Tage		10 %		
3: "Masse an Öl im Kompressor bestimmt die gelöste KM-Menge"	Ja	71 %	√	Nein	29 %	√

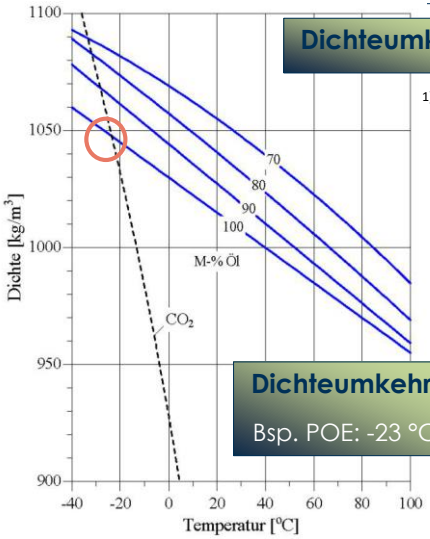


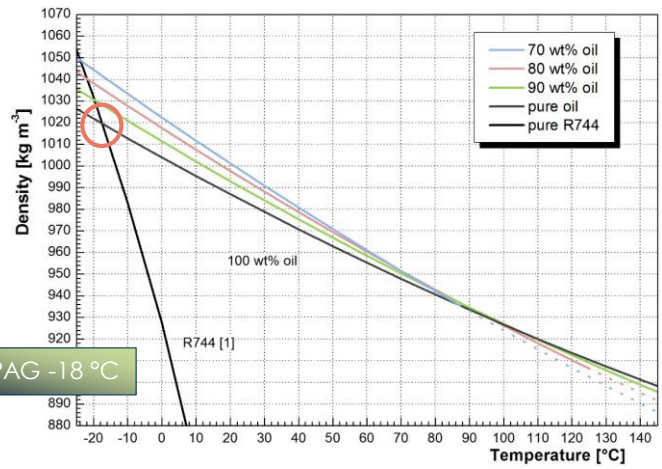






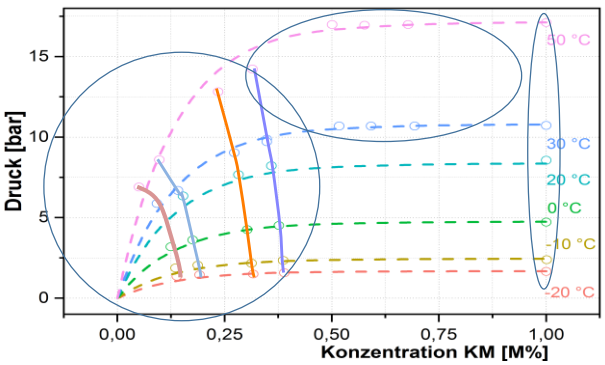
Frage 2: Geschwindigkeit der Einlösung
Dichteunterschiede und Dichteumkehr





[1] FUCHS LUBRICANTS GERMANY GmbH; Technical Information; RENISO C 55 E Synthetisches Kältemaschinenöl für CO2-VerdichterPI 4-1092, Seite 1; PM 4 - 02.16
[2] S. Feja, C. Hanzelmann; Experimental Studies of Thermodynamic Properties of R744-Oil-Mixtures up to 140 °C and 150 bar, 6th IIR Conference Ammonia and CO2 Refrigeration Technologies, Ohrid April 16th - 18th 2015

Richtig Messen, Darstellen und Auswerten
Beispiel POE 68



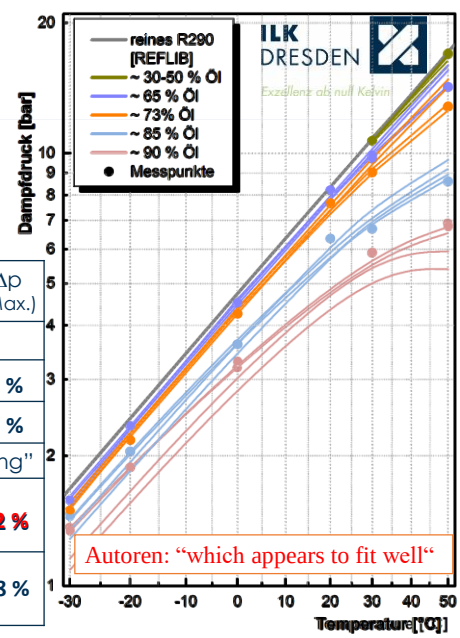
- Gleichung nach C. Seeton (Gleichung 1)

$$log_{10}\, p = a_1 + a_2 \cdot \frac{1}{T} + a_3 \cdot \frac{1}{T^2} + \left(a_4 + a_5 \cdot \frac{1}{T} + a_6 \cdot \frac{1}{T^2}\right) log_{10}\, \omega + \left(a_7 + a_8 \cdot \frac{1}{T} + a_9 \cdot \frac{1}{T^2}\right) (log_{10}\, \omega)^2$$

- Gleichung der Autoren nach „Weibull distribution“ k = 7,5

$$p = p_{sat*}\,(1 - e^{k \cdot \omega} + e^{-k})$$ (Gleichung 2)

Verwendete Messpunkte	Δp (Max.)
Seeton	
~65-~ 90 % (1)	9 %
~0-~ 90 % (1)	7 %
“Weibull Verteilung”	
~0-~ 90 % k = 7,5 (2)	22 %
~0-~ 90 % k = 8,455 (2)	18 %



Richtig Modellieren
Beispiel Wärmekapazität POE 68 + Propan

ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

Autoren:

- für $h_{oil} = h_0 + \int_{T_0}^{T} c_{p,oil}\, dT$

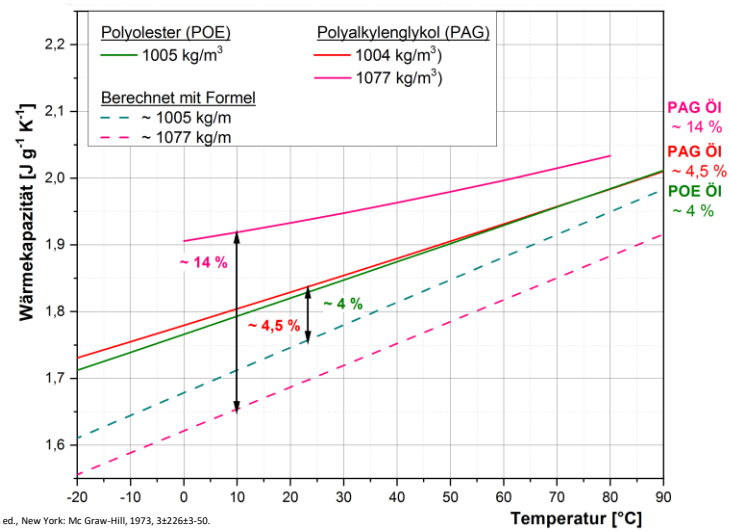
$$c_p^{1)} = \frac{0{,}75529 + 0{,}0034 \cdot T}{\sqrt{\rho_{oil,15{,}6°C} / 998{,}5}}$$

→ c_p aller Öle gleicher Dichte ist gleich ?

Originalliteratur[2]:

- petroleum liquids,….
  with density between 750 & 960 kg/m³

$$c_p^{2)} = \frac{1{,}685 + 0{,}0039 \cdot \vartheta}{\sqrt{\rho_{oil,288K} / \rho_{water,288K}}}$$



1) "Liley and Gambill cited in (Mermond et al., 1999)"
2) Liley PE, Gambill WR. Physical and chemical data, In: Perry, Chilton, editors. Chemical Engineering Handbook, 5th ed., New York: Mc Graw-Hill, 1973, 3±226±3-50.

Richtig Messen
Beispiel POE 68 + Propan

ILK DRESDEN
Exzellenz ab null Kelvin

Berechnung der Effizienz (Kühlleistung) unter Betrachtung der Löslichkeit von Kältemittel in Öl

Autoren: -1,11 % bzw. -0,72 %

Verwendete Daten für Dampfdruck: > ± 20 %

für Wärmekapazität: > ± 5 % etc.

- nur Verdampfer betrachtet.

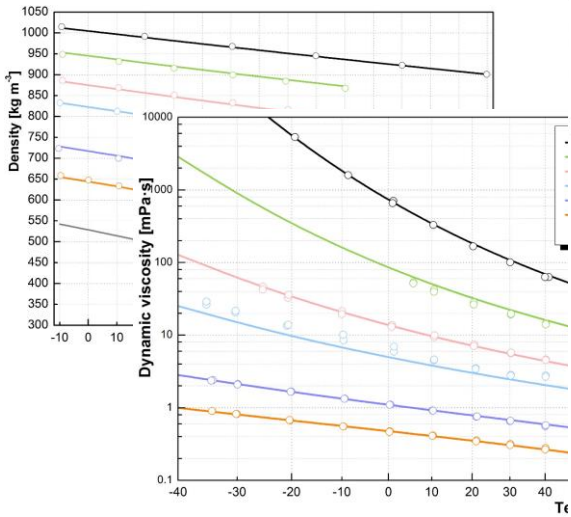
Fazit:

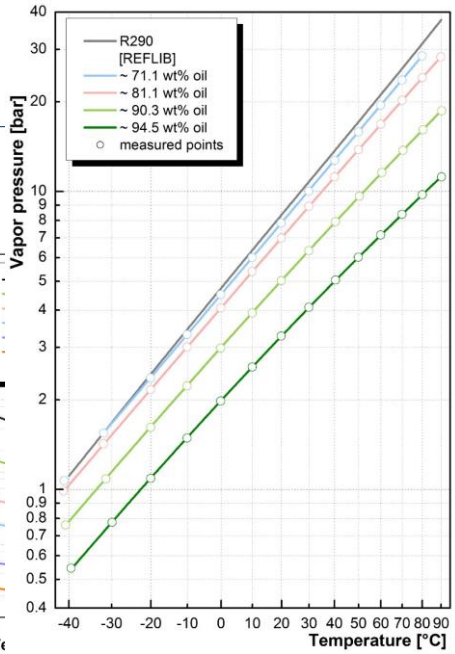
Wie liegen Kältemittel und Öl im Bauteil vor?

Gibt es gemessene Daten? Kann ich messen (lassen)?

Ist die Abschätzung von Daten geeignet?

Richtig Messen
Beispiel PAG 68 + Propan





Forschungsschwerpunkt
Schmierstoffwahl für Kälteanlagen unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz

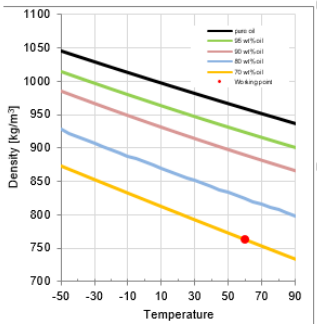
www.oelek.de

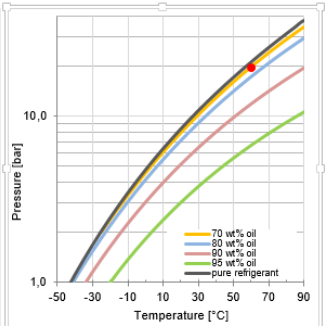
OELEK

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Thermodynamic properties of PAG 68 with R290

Available measurement data:						
		Pressure & Temperature				
		or Concentration & Temperature		x	√	
	Definition area			Input of measurement data		
	0,40	73,0	bar	Pressure		not required
from - to	-30	90	°C	Temperature	60	√ required
	65,0	97,0	wt% oil	Concentration	70,0	√ required





Institut für Luft- und Kältetechnik
gemeinnützige Gesellschaft mbH
Bertolt-Brecht-Allee 20, 01309 Dresden
Dr. rer. nat. Steffen Feja
Hauptbereich Angewandte Werkstofftechnik

Tel.:+49 351 / 4081-5411