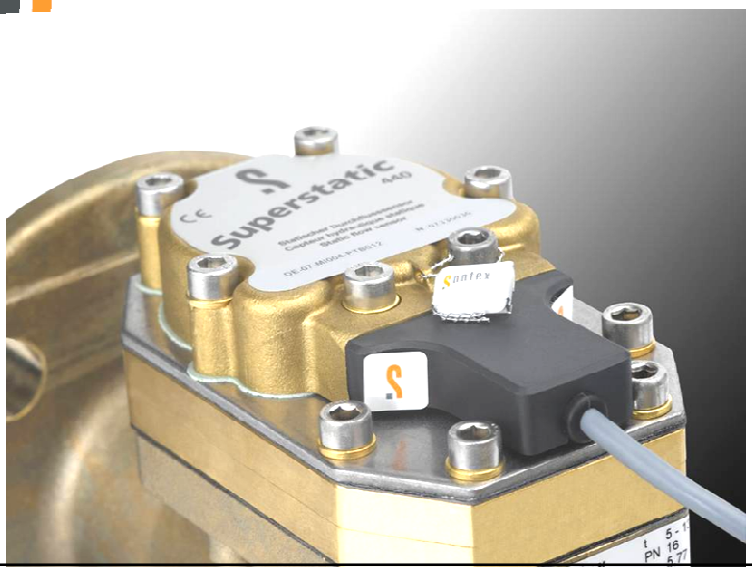
Sontex ■ Thermal Energy ■ Flow Metering ■



Sontex ■ Thermal Energy ■ Flow Metering ■

Enthalpie und k-Faktor bei Wasser-Glykolgemischen

oder allgemein:

Kälte-Wärmemessung mit alles anderem als reinem Zapfwasser

Humphrey L. Spoor

9. Internationale EMATEM-Sommerschule

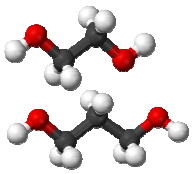
Kloster Seeon, 18. -20. 09. 2013

2

Zusammenfassung

- 1 Einleitung
- 2 Normierungs-Aspekte
- 3 Vorgehen
- 4 Vergleich mit Wasser
- 5 Resultate
- 6 Beispiel: Das Rechenwerk Sontex Supercal 531
- 7 Fazit

1 Einleitung - Stand der Dinge



- Klassische Kälteträgerflüssigkeiten:
  MEG- & MPG- basierte Wassergemische
- Alternativen: Ersatzstoffe für Glykole
- Die Tendenz:
  Immer komplexere Zusammenstellungen – Zutaten (Blends)

Sontex Thermal Energy Flow Metering

1 Einleitung - Begründung (1/2)

- Gesundheitsschädliche Aspekte (Nahrungsmittelspeicher)
- Umweltaspekte (die Entsorgung)
- Korrosionsschutz der Anlage (Corrosion Inhibitors)
- Vorbeugung der Bildung van Mikro-Organismen (biocides)
- Zähflüssigkeit (Reduzierung der Pumpenleistung)

5

Sontex Thermal Energy Flow Metering

1 Einleitung - Begründung (2/2)

- Optimierung des Wärmeeinhalts der Trägerflüssigkeit
- Neben Kälte auch vermehrt Interesse an Tiefkühlung
- Klassisch, Solar-Thermie, Erdwärmenutzung
- Kombinierung Wärme-Kältemessung (u.a. bei Wärmepumpen)

6

Sontex Thermal Energy Flow Metering

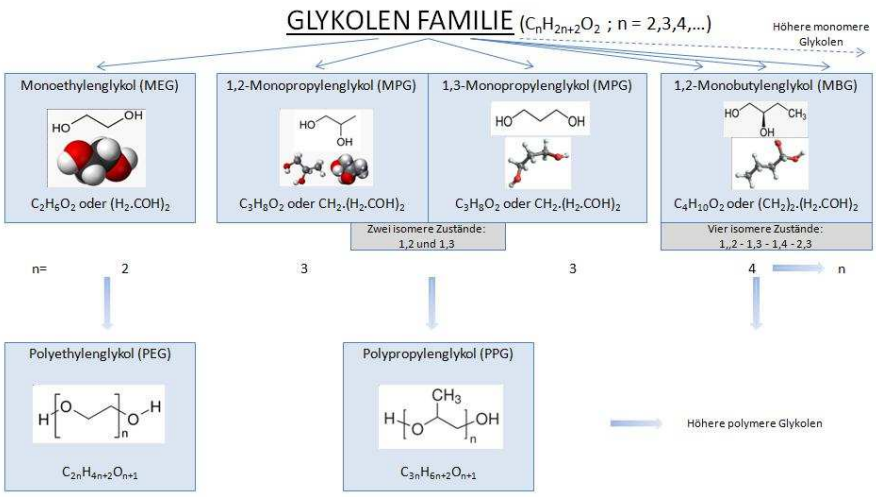
1 Einleitung - Konsequenzen

- Physikalische Grössen (z.B. Dichte, Spezifische Wärmekoeffizient, Viskosität) ändern sich manchmal unverhältnismässig durch die Additivzumischung
- Reine MEG / MPG Gemische von „pharmazeutischer Reinheit“ werden selten so verwendet
- Herstellerangaben von physikalisch verwendbaren Daten vorhanden, vollständig und nicht irreführend?
- Physikalische Grössen nicht immer linear mit der Temperatur und mit dem Mischverhältnis
- Nicht Eindeutigkeit für grössere Mischverhältnisse; ins-besondere für MPG-Basierte Data über etwa 55 %

7

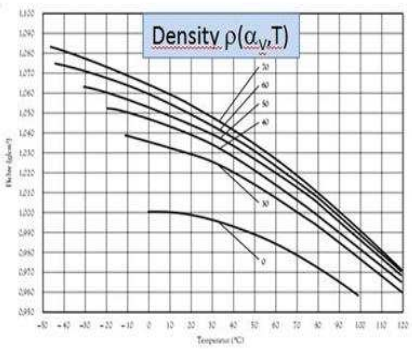
Sontex Thermal Energy Flow Metering

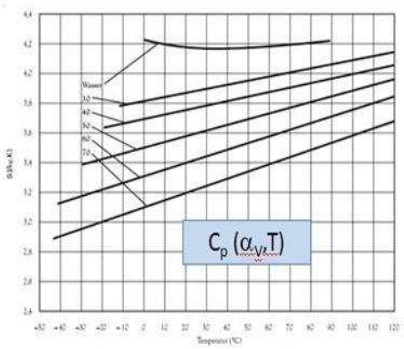
1 Einleitung - Glykolen



8

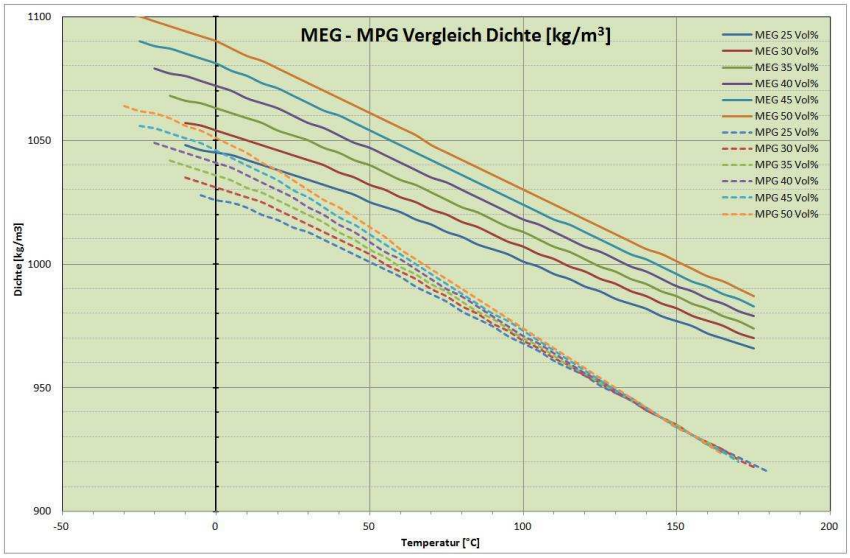
1 Einleitung - Typische Verhältnisse





9

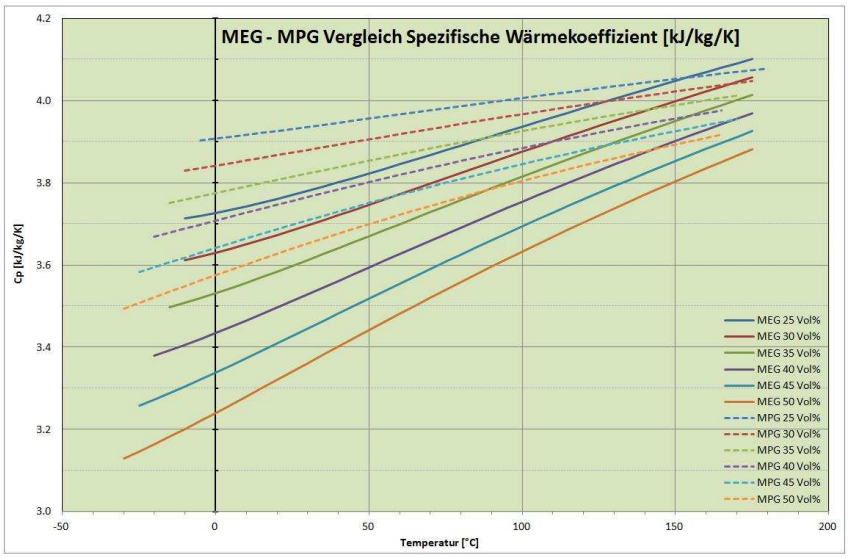
Vergleich MEG/MPG-Wassergemische



10

Sontex Thermal Energy Flow Metering

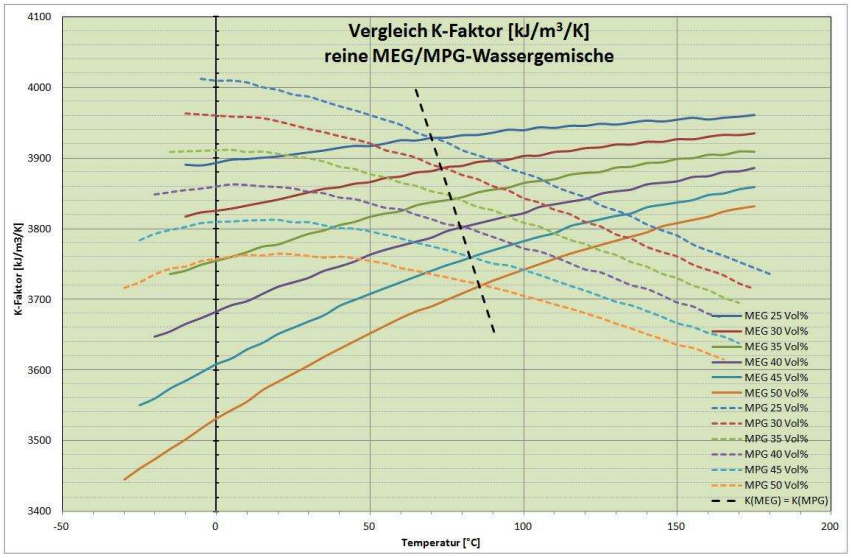
Vergleich MEG/MPG-Wassergemische



11

Sontex Thermal Energy Flow Metering

Vergleich MEG/MPG-Wassergemische



12

2 Normierungs-Aspekte

- Die tatsächliche Zusammenstellung der Gemische / Änderungsrisiken in der Zusammenstellung mit der Zeit
- Echtzeitmessung von Mischverhältnissen braucht ein Messverfahren und eine zusätzliche Eingang für die Recheneinheit
  Zwischenlösung: Regelmäßige Musternahme
  Nachteil: ständige Wiederprogrammierung der Recheneinheit
- Nachfüllung mit reinem Leitungswasser wäre zum Vorteil des Verbrauchers
- Die Verfügbarkeit Staatlich anerkannter Kalibrierstellen als zuverlässige metrologische Standards für Messgeräte
- Die Produktangebote ändern sich immer häufiger und Zulassungserweiterungen sind kaum nachvollziehbar

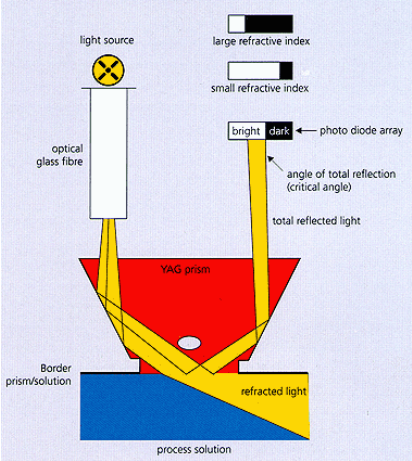
13

Echtzeit Refraktometer

Temperatur kompensiert

Erster für MEG (± 0.4%):

- Atago: CM-780N-EG

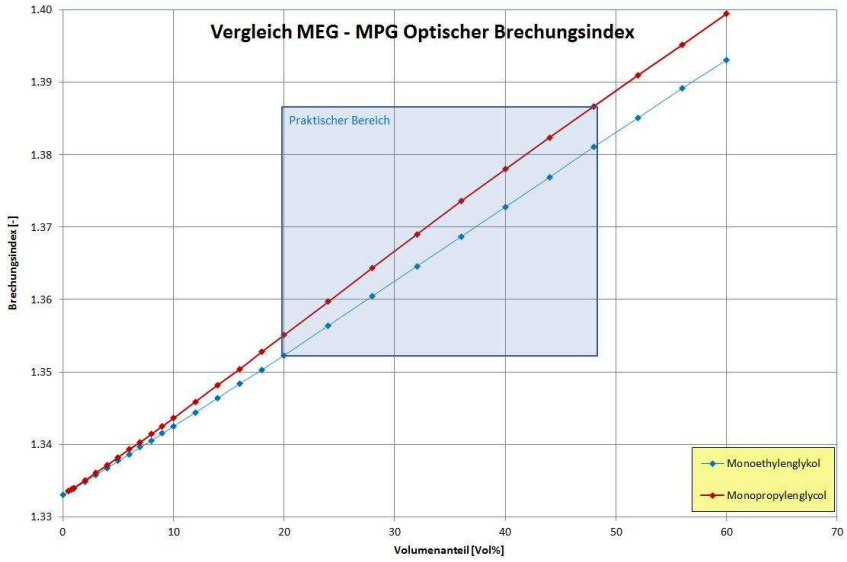


Andere Beispiele:

- Schmidt & Haensch
- Emerson
- K-Patents

14

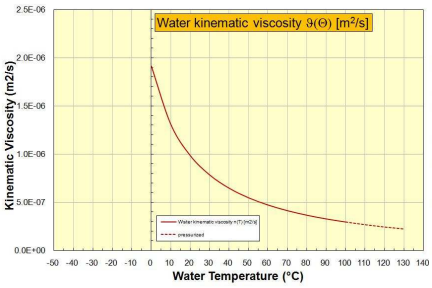
Brechungsindex

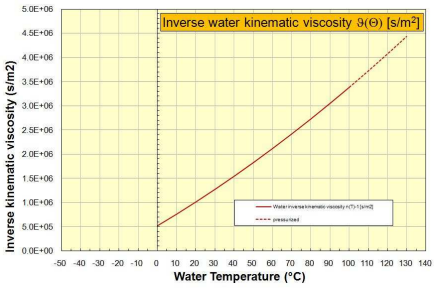


15

2 NA - Viskositätseinflüsse

- Reynolds Nummer $Re = v \cdot D / \nu(T) \propto \Phi_V / \nu(T)$
  $\nu(T)$ = kinematische Viskosität
- Für Wasser $\nu(T)^{-1}$ ist fast linear





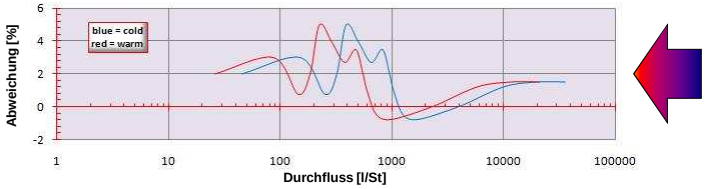
16

2 NA - Reynoldszahl

- Re konstant: $\Phi_v(T_1) / \nu(T_1) = \Phi_v(T_2) / \nu(T_2)$

  Folge $T_2 > T_1$ ⟶ $\Phi_v(T_2) < \Phi_v(T_1)$ ⟶

  Horizontalverschiebung der metrologische Kurve nach links (rein Flüssigkeit bedingt)

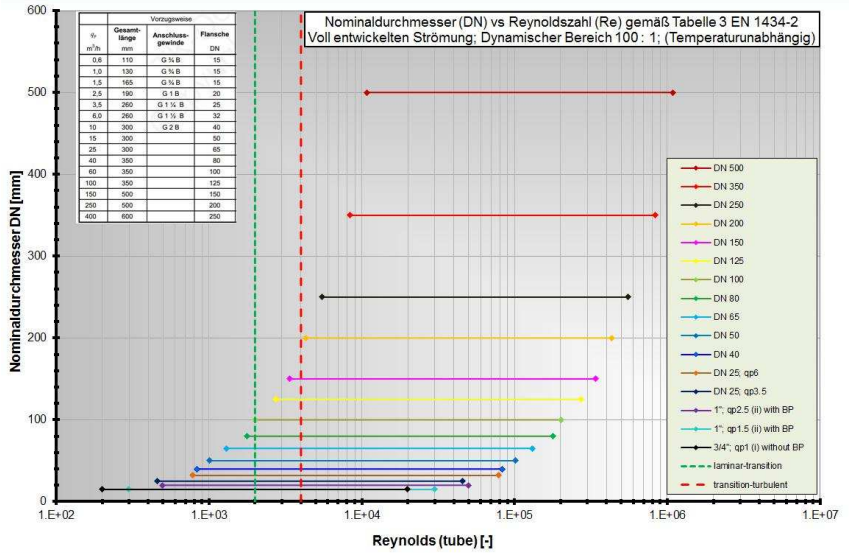


- Viele Gemische haben unterschiedliches rheologisches Verhalten

  Folge: weniger vorhersehbare horizontale Verschiebungen
- Änderungen der metrologischen Kurven; Zone zwischen laminar / turbulent für mechanische Zähler

17

Folge Norm 1434 (v-Bereich = Konstant)



	Vorzugsweise		
q_p m^3/h	Gesamtlänge mm	Anschlussgewinde	Flansche DN
0,6	110	G ¾ B	15
1,0	130	G ¾ B	15
1,5	165	G ¾ B	15
2,5	190	G 1 B	20
3,5	260	G 1 ¼ B	25
6,0	260	G 1 ½ B	32
10	300	G 2 B	40
15	300		50
25	300		65
40	350		80
60	350		100
100	350		125
150	500		150
250	500		200
400	600		250

18

Sontex Thermal Energy Flow Metering

3 Vorgehen

- Ein-Komponenten Ein-Phasenflüssigkeiten (Wasser: EN-1434, IAWPS)

$$\Delta H_{Heizung/Kühlung} = M * \Delta h = V * \rho(T_m) * \int_{T_V}^{T_R} c_p(T)\,dT$$

- Zwei-Komponenten Ein-Phasenflüssigkeiten (z.B. Glykol-Wasser basierten Mischungen). Erster Annäherung ⟶ lineare Zusammenstellung der einzelne Dichten $\rho_i(\alpha,T)$, Spezifische Wärmekoeffizienten $c_{p,i}(\alpha,T)$ und kinematische Viskositäten $\nu_i(\alpha,T)$, in Abhängigkeit von Mischverhältnis α und Temperatur T
- Bevorzugt werden einfach programmierbare Algorithmen; dafür Einschränkung der Bereiche
- Option: mehrere Produkten gleiche Parametern, eventuell mit leicht erhöhter Ungenauigkeit? Unbefriedigend !!

19

Sontex Thermal Energy Flow Metering

4 Vergleich mit Wasser

- k-Faktor, ΔT=1 K, im Rücklauf, [40, 20, -0, -20 -40 °C]

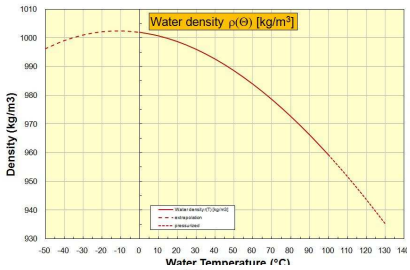
$$k(T_V, T_R) \equiv \frac{\rho(T_m)}{\Delta T} * \int_{T_V}^{T_R} c_p(T)\,dT \quad \text{with } \Delta T \equiv T_V - T_R$$

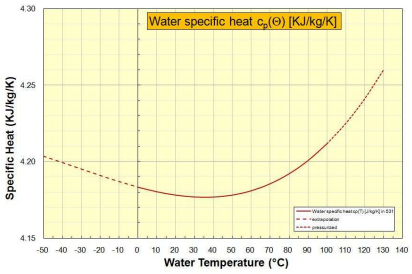
- Referenz Wasser: Extrapolieren unter dem Gefrierpunkt
- Normierungsausdruck:

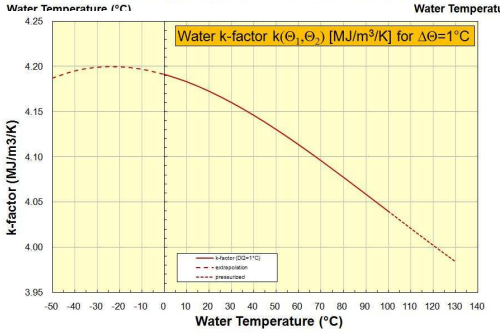
$$\delta(T_m) = \left(\frac{k(T_m) * \Delta T \quad (\text{Produkt})}{k(T_m) * \Delta T \quad (\text{Wasser})} - 1 \right) * 100\,\%$$

20

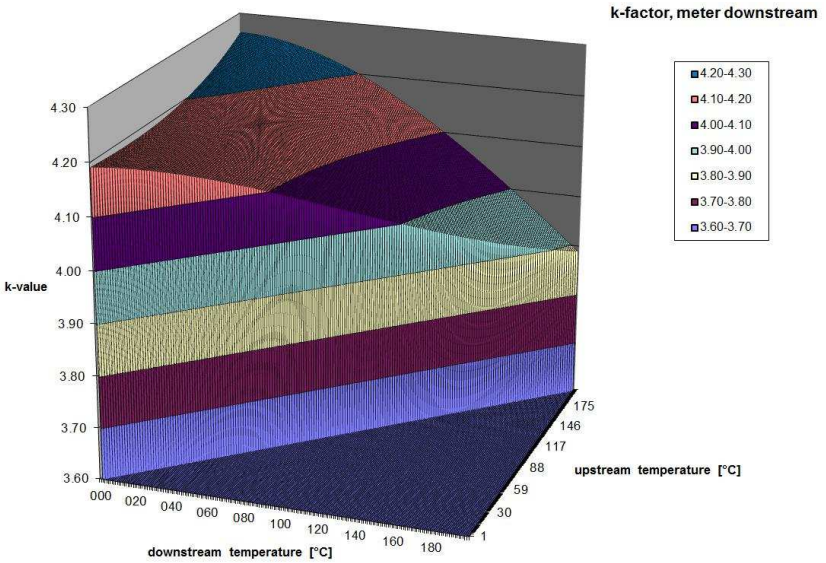
Wasser als Referenz



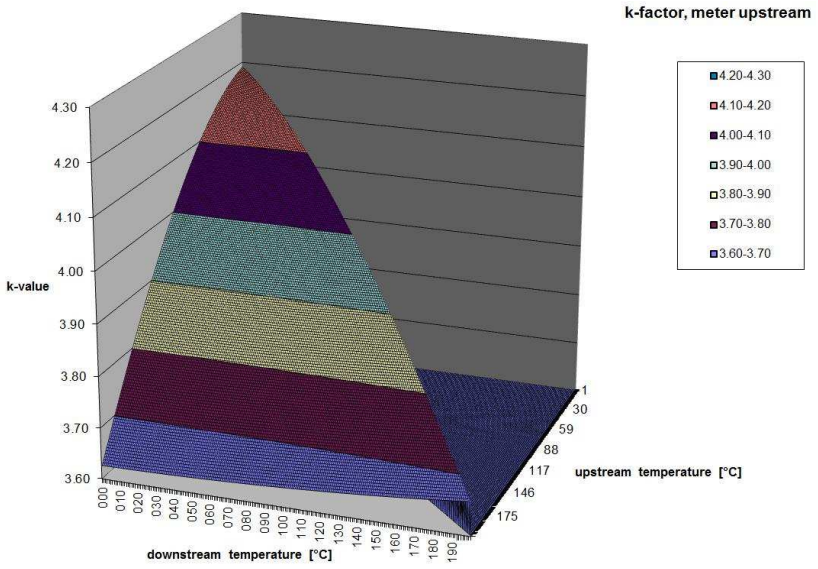




K-Faktor für Wasser, Rücklauf



K-Faktor für Wasser, Vorlauf



23

5 Resultate

- Rund 40 Produkte, Gemische sowie gebrauchsfertig
- Flüssig (ml/l) oder Pulver / Kristallin (mg/l)
- Unterschiedliches chemisches Hauptbestandteil:

W	Wasser
EG	Mono-Ethylen Glykol
PG	Mono-Propylen Glykol
BG	Mono-Butylen Glykol und höher
XF	R-134a und 1.1.1.2.tetrafluoroethane HFC 134a
XK	Kaliumformat
XS	Salzen von Karboxylzäure
XV	Pflanzliche Ölien

- Grafik: *Horizontal* = Produktpallete; *Vertikal* = k-Faktorverhältnis, *nach hinten* = Gemischverhältnis, hier 5 % Auflösung nur für die Bildwiedergabe
- Der Nullebene bedeutet dass keine Daten verfügbar sind
- Nur rückführbare, zuverlässige Data sind verwendet

24

Sontex Thermal Energy Flow Metering

5 Resultate - Produktliste

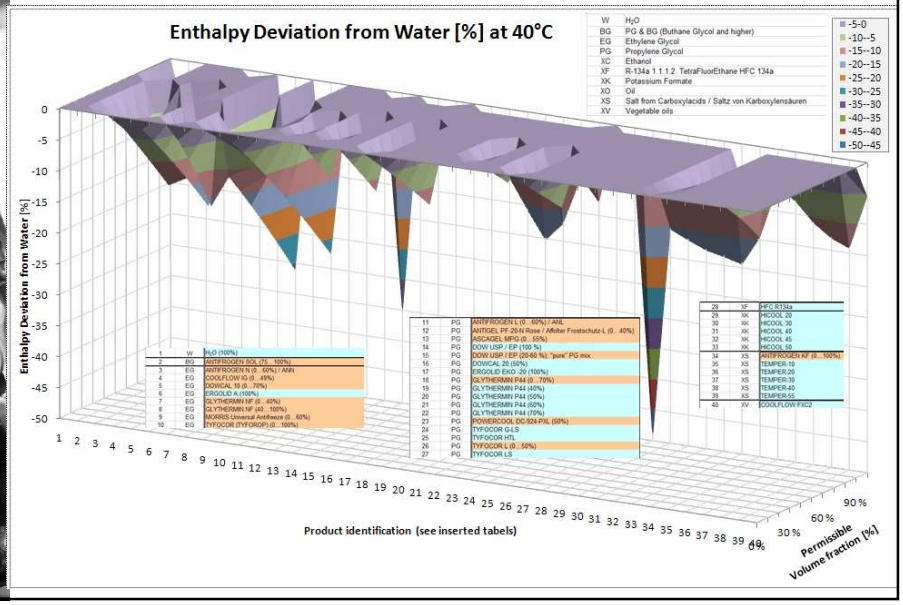
	product name	type	range [%]	product
1	AntiFrogen	N	(0..60)	EG
2	AntiFrogen	L	(0..60)	PG
3	AntiFrogen	SOL	(75..100)	BG
4	AntiFrogen	KF	(0..100)	XS
5	Ascagel	MPG	(0..55)	PG
6	Coolflow	FXC2	33	XV
7	Coolflow	IG	(0..49)	EG
8	Dow	USP/EP	100	PG
9	Dow	USP/EP	(0..60)	PG
10	DowCal	20	50	PG
11	Dowcal	10	(0..70)	EG
12	Ergolid	A	100	EG
13	Ergolid	EKO-20	100	PG
14	FERNOX	HP-15	100	PG
15	Glythermin	NF	(0..38)	EG
16	Glythermin	NF	(38..100)	EG
17	Glythermin	P44	(0..70)	PG
18	Glythermin	P44	40	PG
19	Glythermin	P44	50	PG
20	Glythermin	P44	60	PG
21	Glythermin	P44	70	PG
22	HICOOL	20	100	XK
23	HICOOL	30	100	XK
24	HICOOL	40	100	XK
25	HICOOL	45	100	XK
26	HICOOL	50	100	XK
27	Morris Universal Antifreeze		(0..60)	EG
28	Powercool	DC-294-PXL	50	PG
29	R-134a (HFC R-134a)		100	XF
30	Temper	-10	100	XS
31	Temper	-20	100	XS
32	Temper	-30	100	XS
33	Temper	-40	100	XS
34	Temper	-55	100	XS
35	Tyfocor	LS	100	PG
36	Tyfocor		(0..100)	EG
37	Tyfocor	L	(0..50)	PG
38	Tyfocor	G-LS	100	PG
39	Tyfocor	HTL	100	PG
40	WATER		100	W

		legend
W	H_2O + traces	
BG	PG & BG (Buthane Glycol and higher) (based)	
EG	Ethylene Glycol (based)	
PG	Propylene Glycol (based)	
XC	Ethanol (based)	
XF	R-134a 1.1.1.2. TetraFluorEthane HFC 134a	
XK	Potassium Formate	
XO	Oil	
XS	Salt from Carboxylacids / Saltz von Karboxylensäuren	
XV	Vegetable oils	
O	other	

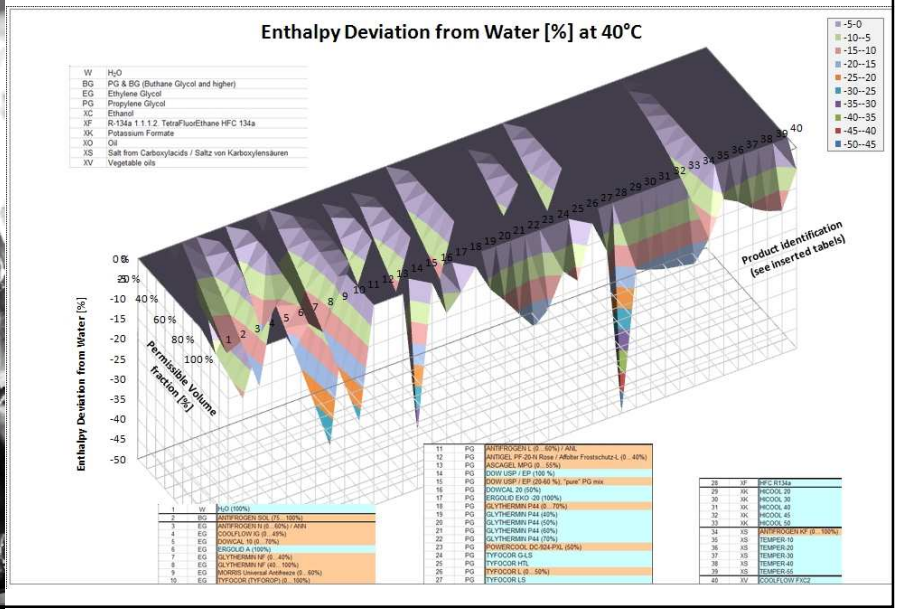
25

Sontex Thermal Energy Flow Metering

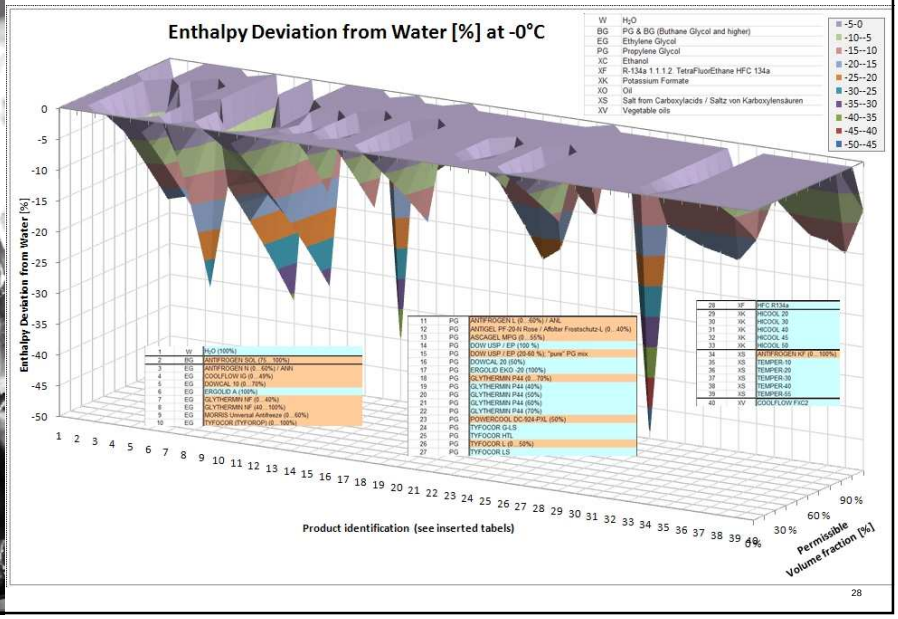
5 Resultate - Enthalpie 40°C (oben)



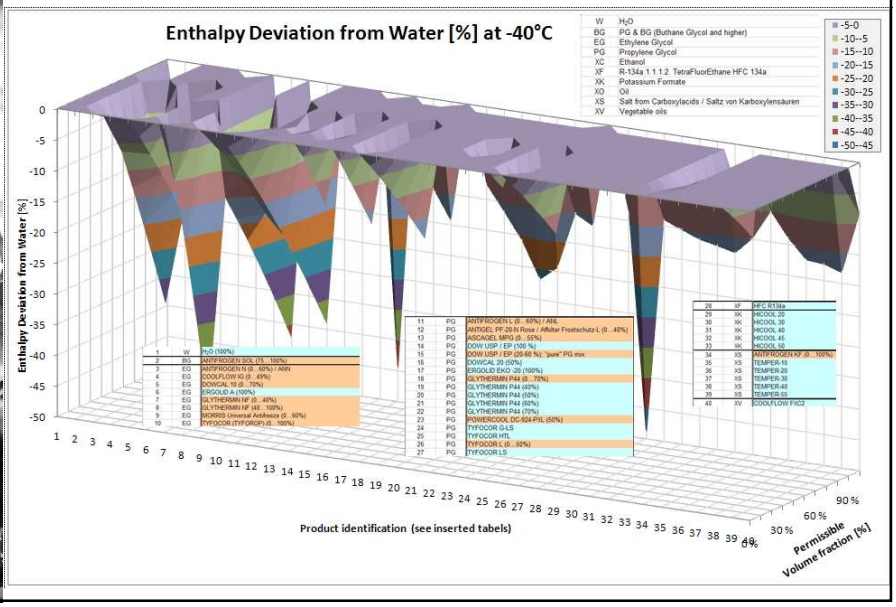
5 Resultate - Enthalpie 40°C (unten)



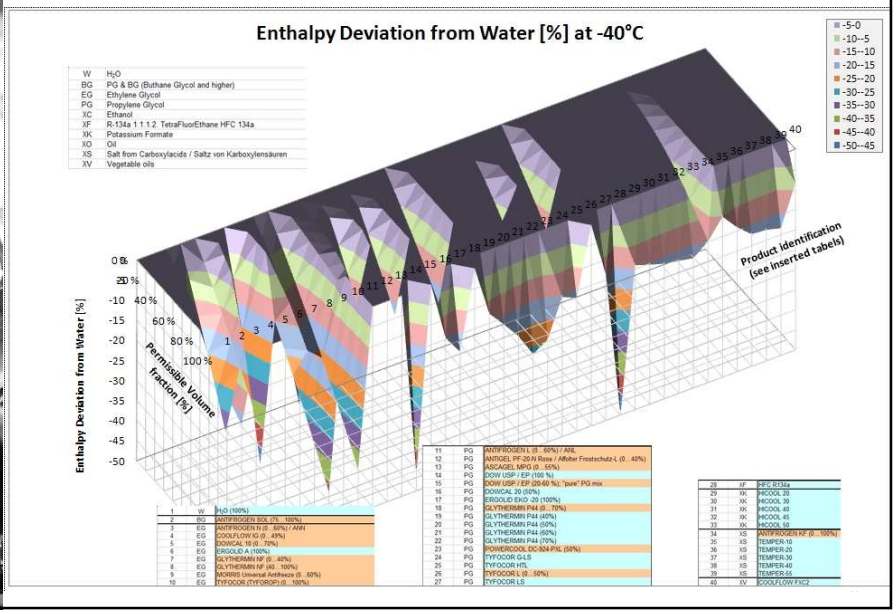
5 Resultate - Enthalpie - 0°C (oben)



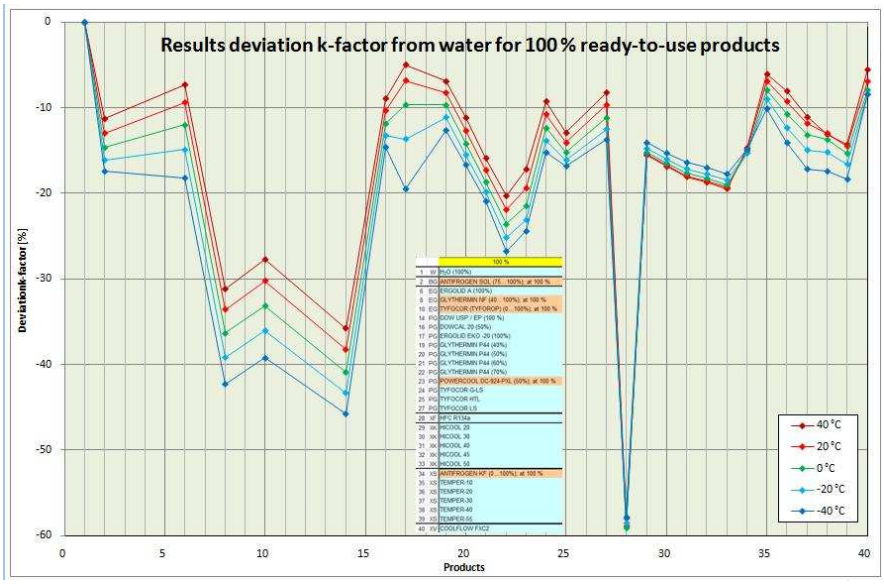
5 Resultate - Enthalpie - 40°C (oben)



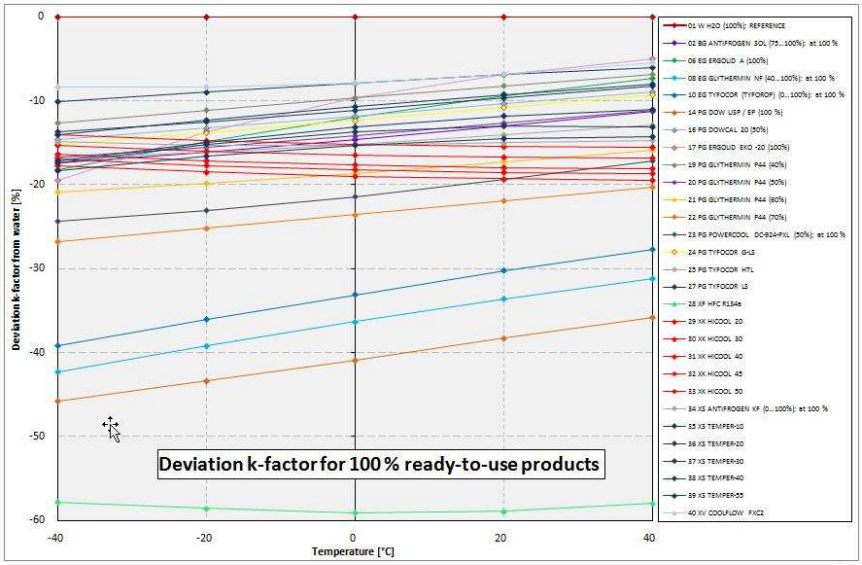
5 Resultate - Enthalpie - 40°C (unten)



5 Resultate - Fertiglösungen (k versus Produkt)

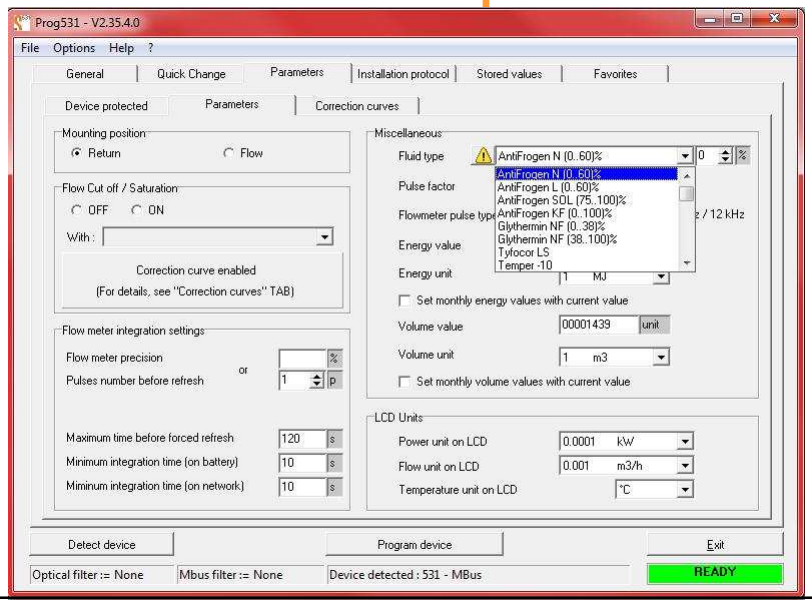


5 Resultate – Fertiglösungen (k versus T)



Sontex Thermal Energy Flow Metering

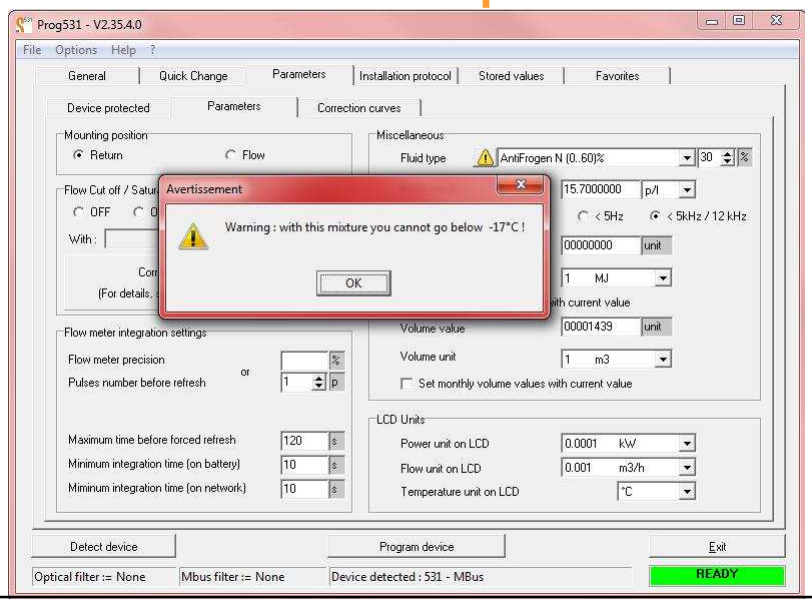
6 Das Rechenwerk Supercal 531



33

Sontex Thermal Energy Flow Metering

6 Das Rechenwerk Supercal 531



34

Sontex Thermal Energy Flow Metering

7 Fazit

- Resultate ± 2 % zusätzliche Ungenauigkeit
- Geschätzter Fehler in der Praxis rund ± 5 %
- Effizienz Wärmeübertragung - immer niedriger als Wasser
- Dichte: MEG > MPG basierte Gemische (40 Vol%)
- C_p: MEG < MPG basierte Gemische (40 Vol%)
- => k-Faktor: MEG ≈ MPG basierte Gemische (40 Vol%)
- Einige nicht-lineare Produkte lassen sich schlecht für grössere Bereiche modellieren
- Falsche Programmierung, oder gar nicht berücksichtigen, bringt i.A. Fehler bis zu 50 % ! Für Glykole bis zu 30 %
- Normalisierung: Vollständig oder gar nicht (Kompromisse können zu Schlupflöchern führen)

35

Sontex Thermal Energy Flow Metering

Diskussion – Wie weiter ?

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

36

Sontex Thermal Energy Flow Metering

Fehler durch verwechseln Vorlauf/Rücklauf

Systematic error in the enthalpy (H) calculation due to
meter installation in the **Supply (Flow)** line with erroneously **Return** programmed, and vise versa
Valid for water applications only (following the EN 1434)

HEATING APPLICATION	
red = warm	
blue = cold	
meter erroneously in "Supply" (Flow)	
calculator programmed in "Return"	
T-sensors mounted correctly	
Input	
T-supply =	80.0 °C
T-return =	65.0 °C
Output	
sytematic error H =	-0.88 %

COOLING APPLICATION	
red = warm	
blue = cold	
meter erroneously in "Supply" (Flow)	
calculator programmed in "Return"	
T-sensors mounted correctly	
Input	
T-supply =	7.0 °C
T-return =	15.0 °C
Output	
sytematic error H =	0.14 %

37