Untersuchungen zur Messbeständigkeit, Messabweichung und Messunsicherheit von Wärmezählern beim Einsatz mit Glykol-Wasser-Lösungen

Forschungsvorhaben in Kooperation mit der ARGE HKV, dem VDDW und der PTB

Sebastian Baack
Physikalisch-Technische Bundesanstalt

Überblick

- Einleitung
- Vorstellung des Forschungsvorhabens
- Untersuchung physikalischer Eigenschaften
- Volumetrischer Prüfstand
- Alterung

Einleitung

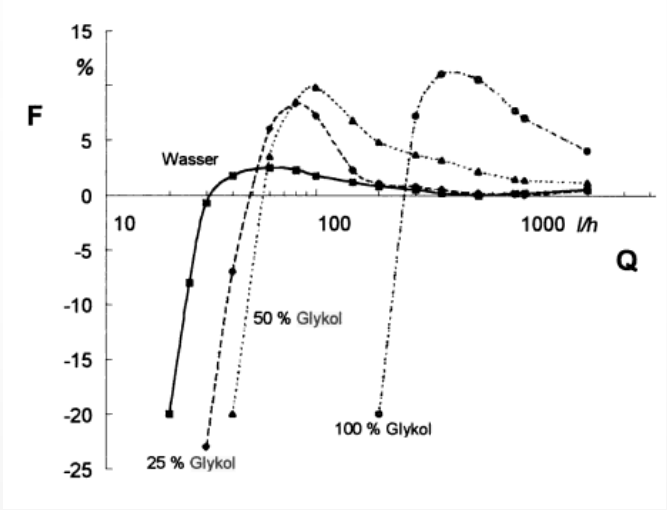
- Gebrauch von anderen Wärmeträgern als Wasser bei Einsatztemperaturen unterhalb von 0 °C
- Häufig verwendete Frostschutzmittellösungen auf Basis von:
  - Ethylenglykol
  - Propylenglykol

bei 20 °C, 1 bar:	***Wasser***	***Ethylengl.***	***Propylengl.***
c_p [kJ/kg K]	*~4,182*	*~2,4*	*~2,5*
Dichte [kg/m³]	*~1000*	*~1113*	*~1036*
dyn.Viskos. [mPas]	*~1*	*~21*	*~55*

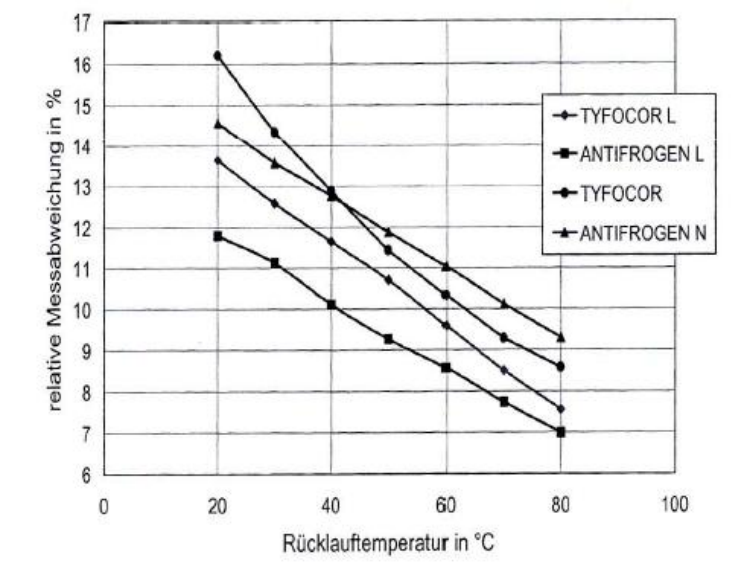
- Wärmeträger- sowie Strömungseigenschaften weichen je nach Lösung stark von denen von Wasser ab

Einleitung

- Arbeiten zu diesem Thema, sowohl von Adunka als auch March zeigen, dass Messrichtigkeit von WMZ gestört wird



Quelle: Adunka, Handbuch der Wärmeverbrauchsmessung



Quelle: March, PTB-Bericht ThEx-14

=>Forschungsvorhaben in Kooperation mit VDDW und ARGE HKV

Vorstellung des Forschungsvorhabens

- Techn. Arbeitsgleichung eines WMZ:

$$W = k(p, T_F, T_R) \cdot \Delta T \cdot V$$

  - WMZ besteht prinzipiell aus 3 Funktionsgruppen:
    - Temperaturfühlerpaar, **Rechenwerk**, **Volumenmessteil**

- <u>Einfluss auf Rechenwerk</u>
  - Wärmekoeffizient k (abhängig von Dichte, spez. Wärmekapazität)
- <u>Einfluss auf Volumenstrommessung</u>
  - Physikalische Grundlagen der Rohrströmung (Dichte, Viskosität)
  - Prüfstand für Untersuchungen am Messzähler

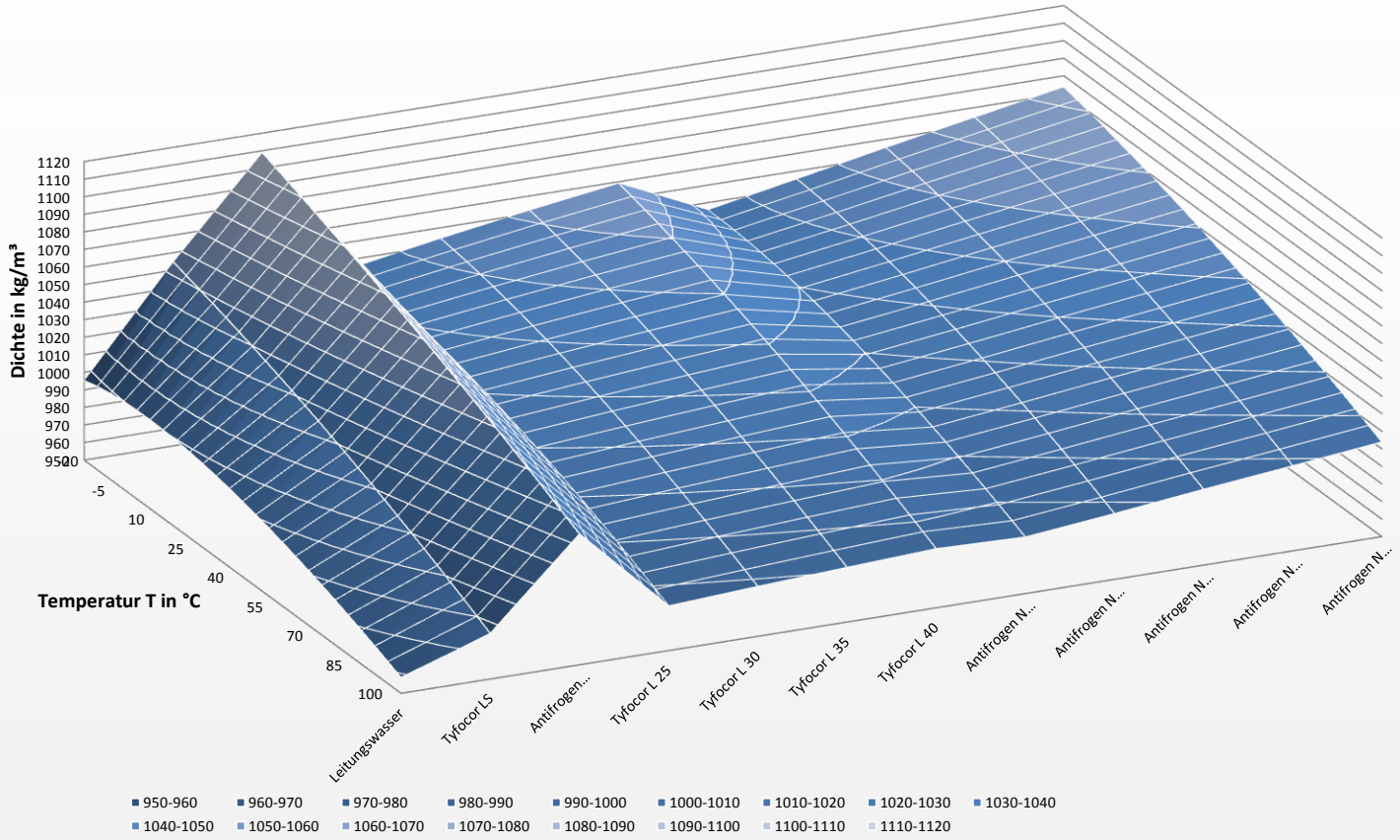
Untersuchung physikalischer Eigenschaften

- Frostschutzmittelmarkt bietet große Anzahl an Produkten (~50)
- 4 Lösungen exemplarisch ausgewählt (2 x Fertigprodukte, 2 x Konzentrate) und in folgenden Mischverhältnissen in Laboren der PTB in Braunschweig untersucht:

Glykol	Basis	Mischungsverhältnis in %
Tyfocor LS	Propylenglykol	100 (Fertigmischung)
Antifrogen Sol HT	Höher siedende Glykole	100 (Fertigmischung)
Tyfocor L	Propylenglykol	25
		30
		35
		40
Antifrogen N	Ethylenglykol	20
		25
		30
		35
		40

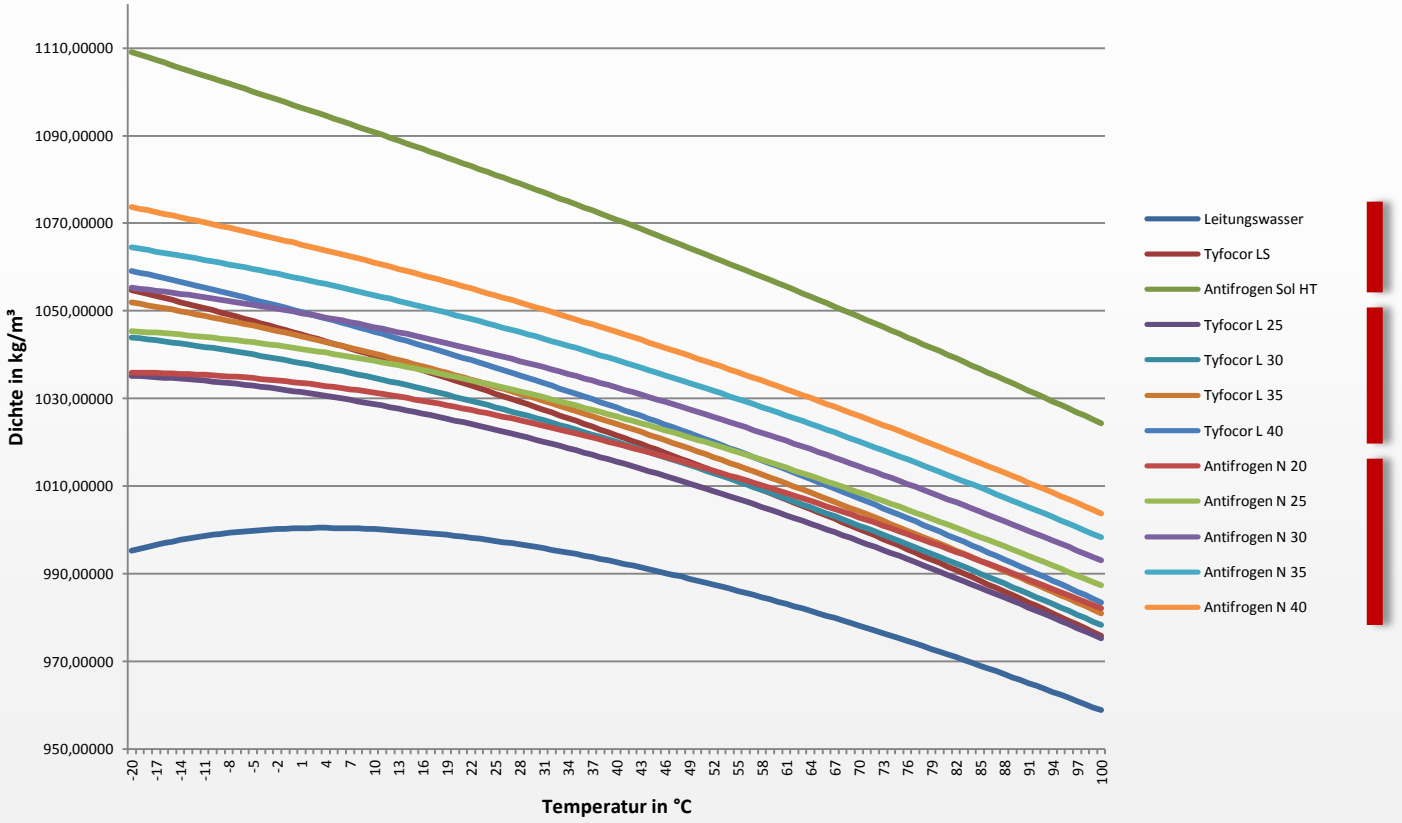
Dichte

- Bestimmung Dichte in Abhängigkeit von Temperatur und Mischungsverhältnis: Messunsicherheit: 0,05 kg/m^3



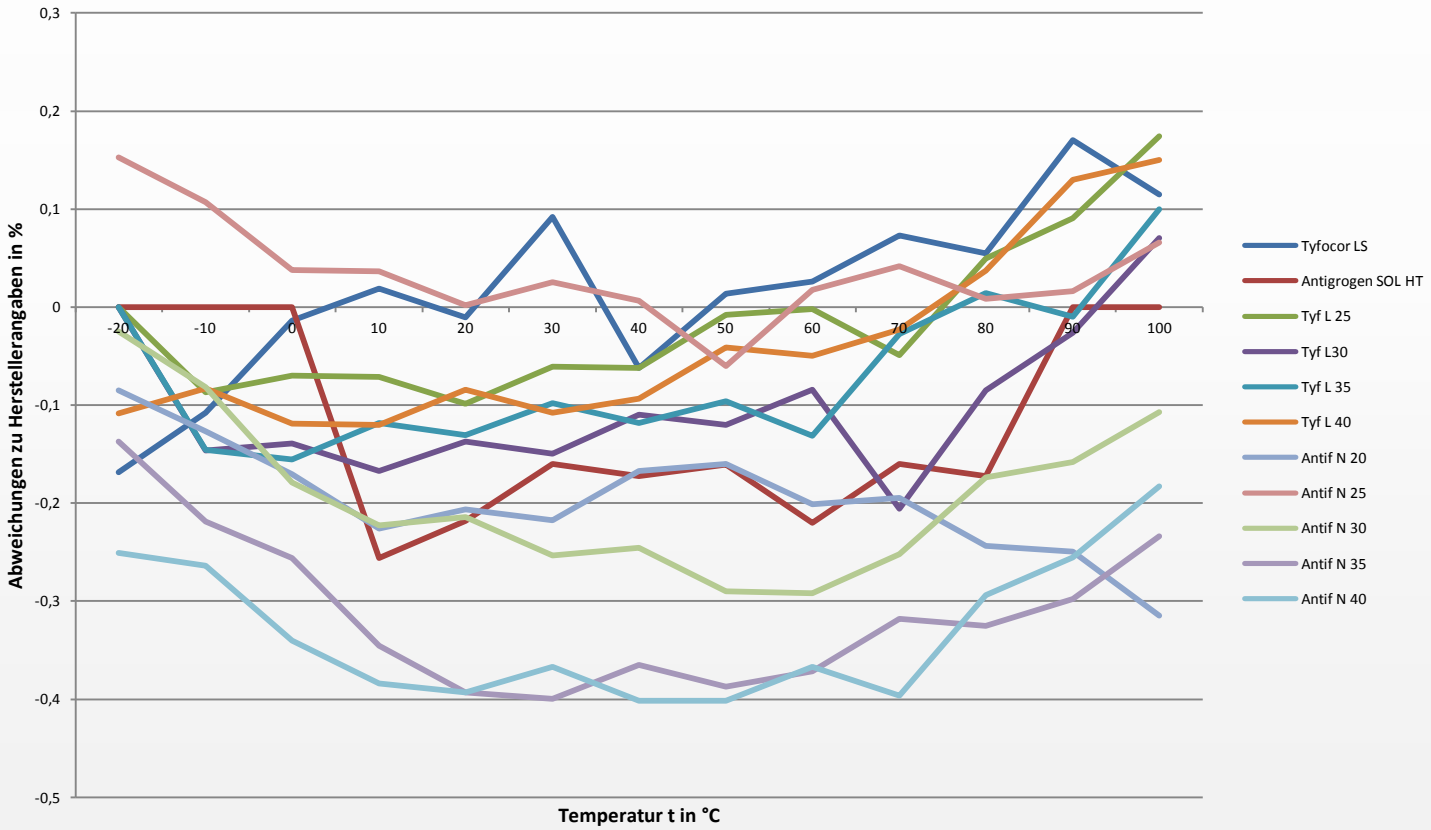
Dichte

- Bestimmung Dichte in Abhängigkeit von Temperatur und Mischungsverhältnis: Messunsicherheit: 0,05 kg/m^3



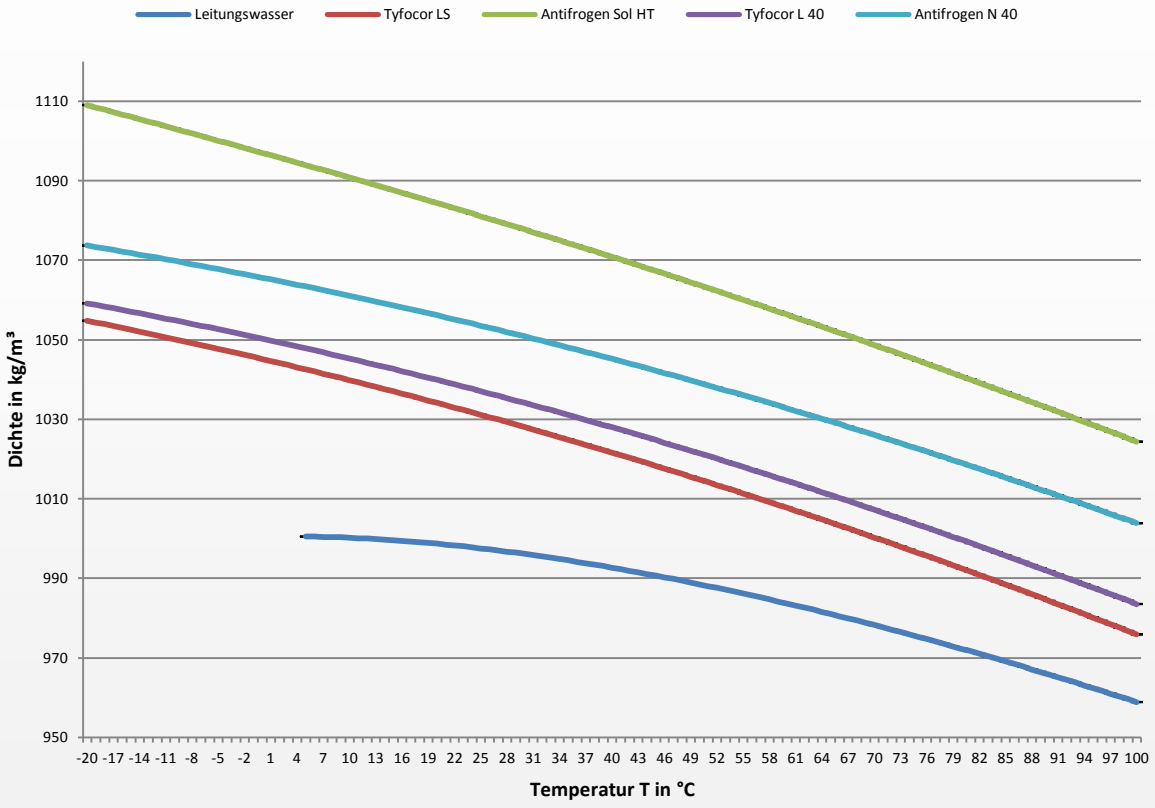
Dichte

- Dichteunterschiede zu Herstellerangaben bis zu ~4 kg/m^3 ≈ 0,4 %



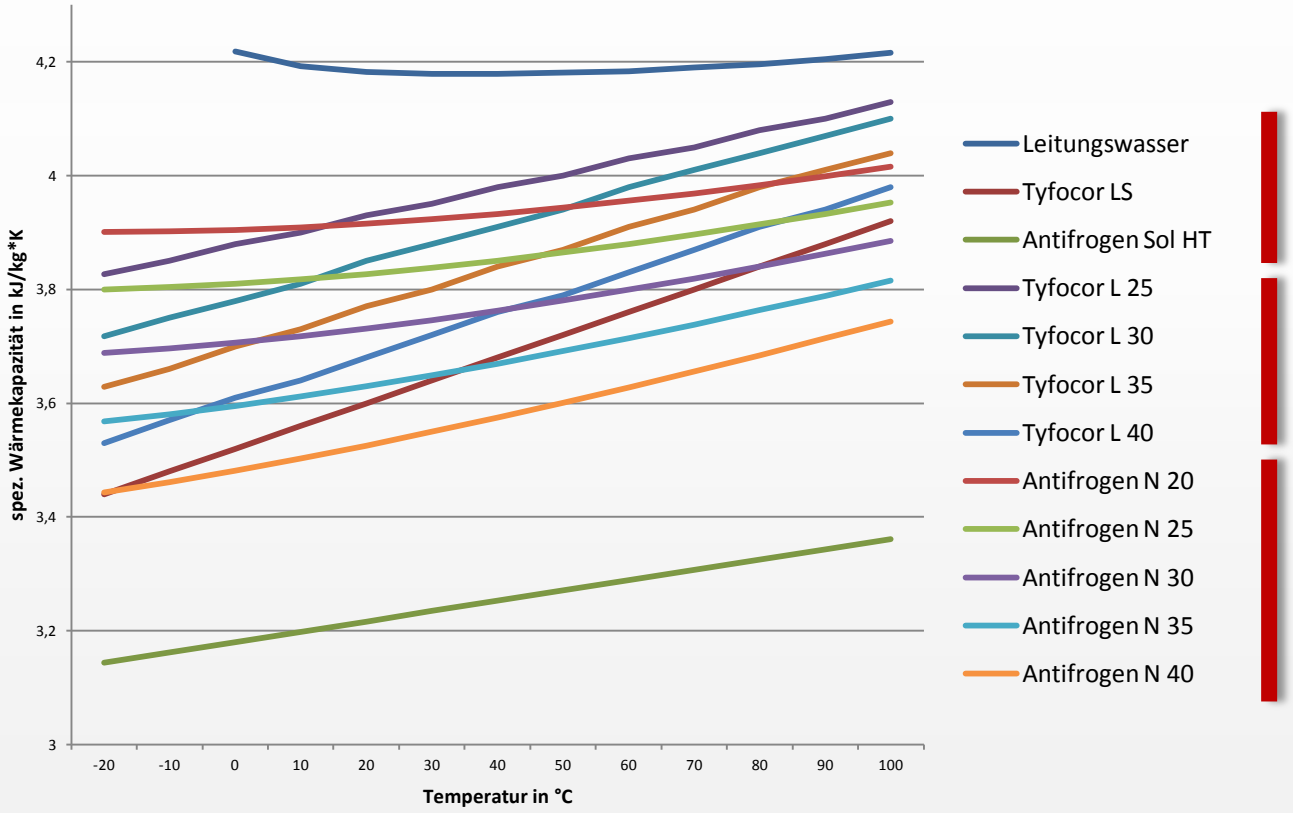
Dichte

- Lösungen für Frostschutz bis ca. -20 °C im Vergleich:
  Dichteunterschiede zu Wasser im Mittel zwischen ~3 % und ~8 %



Spez. Wärmekapazität

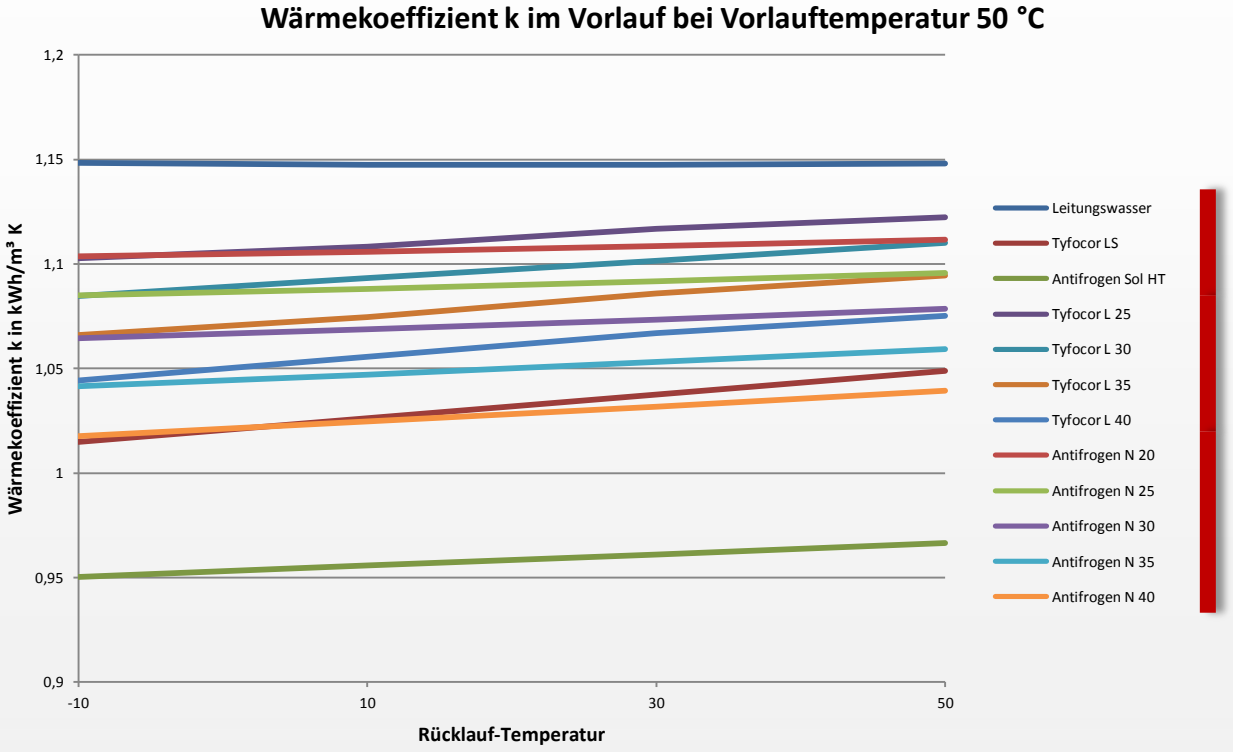
- Spezifische Wärmekapazität (laut Herstellerangaben!), wird derzeit untersucht



Wärmekoeffizient k

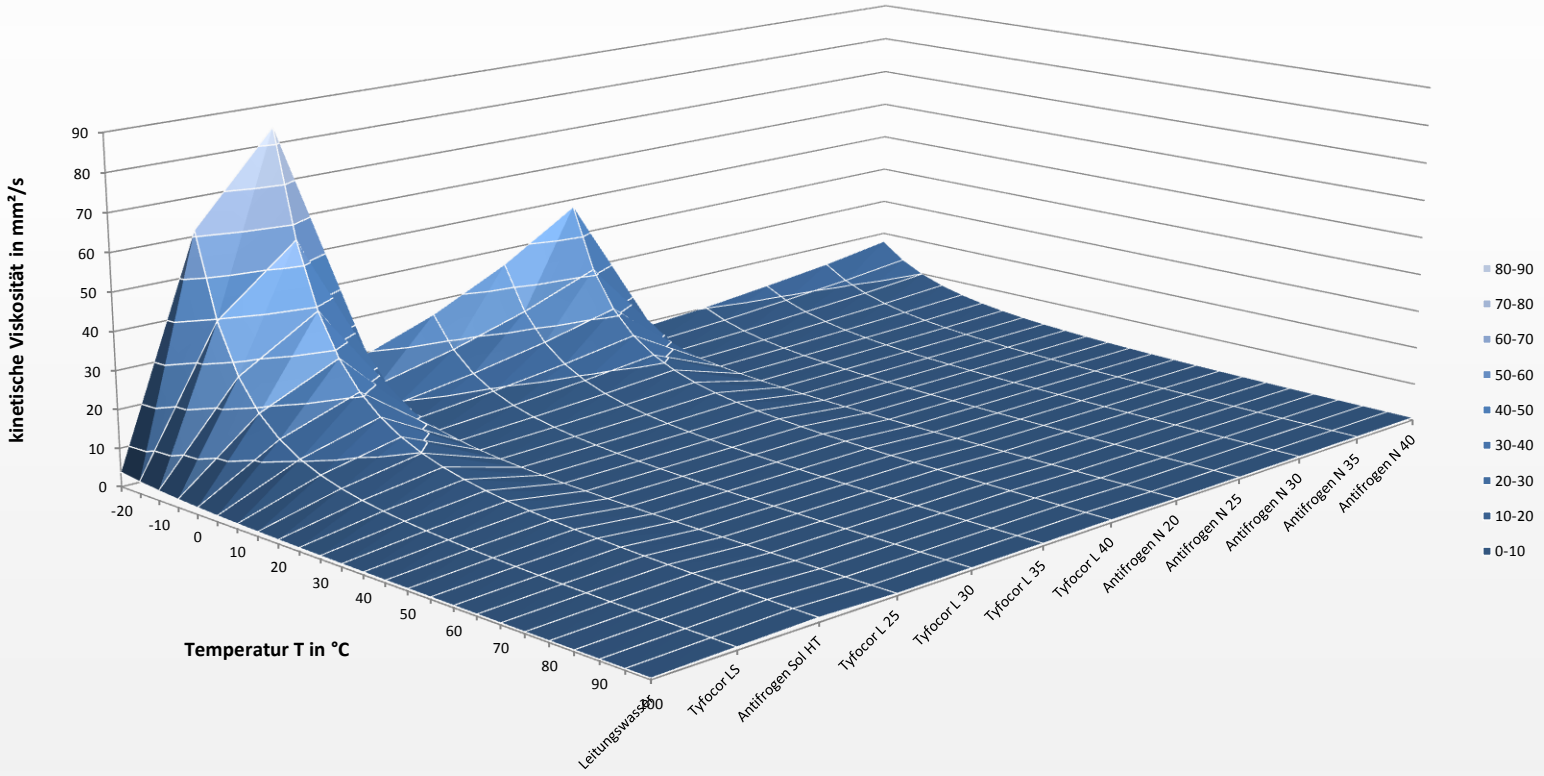
- Ermittlung des Wärmekoeffizienten k nach Adunka:
  - Spez. Dichte
  - Spez. Wärmekapazität (wird derzeit untersucht)

} in Polynomform



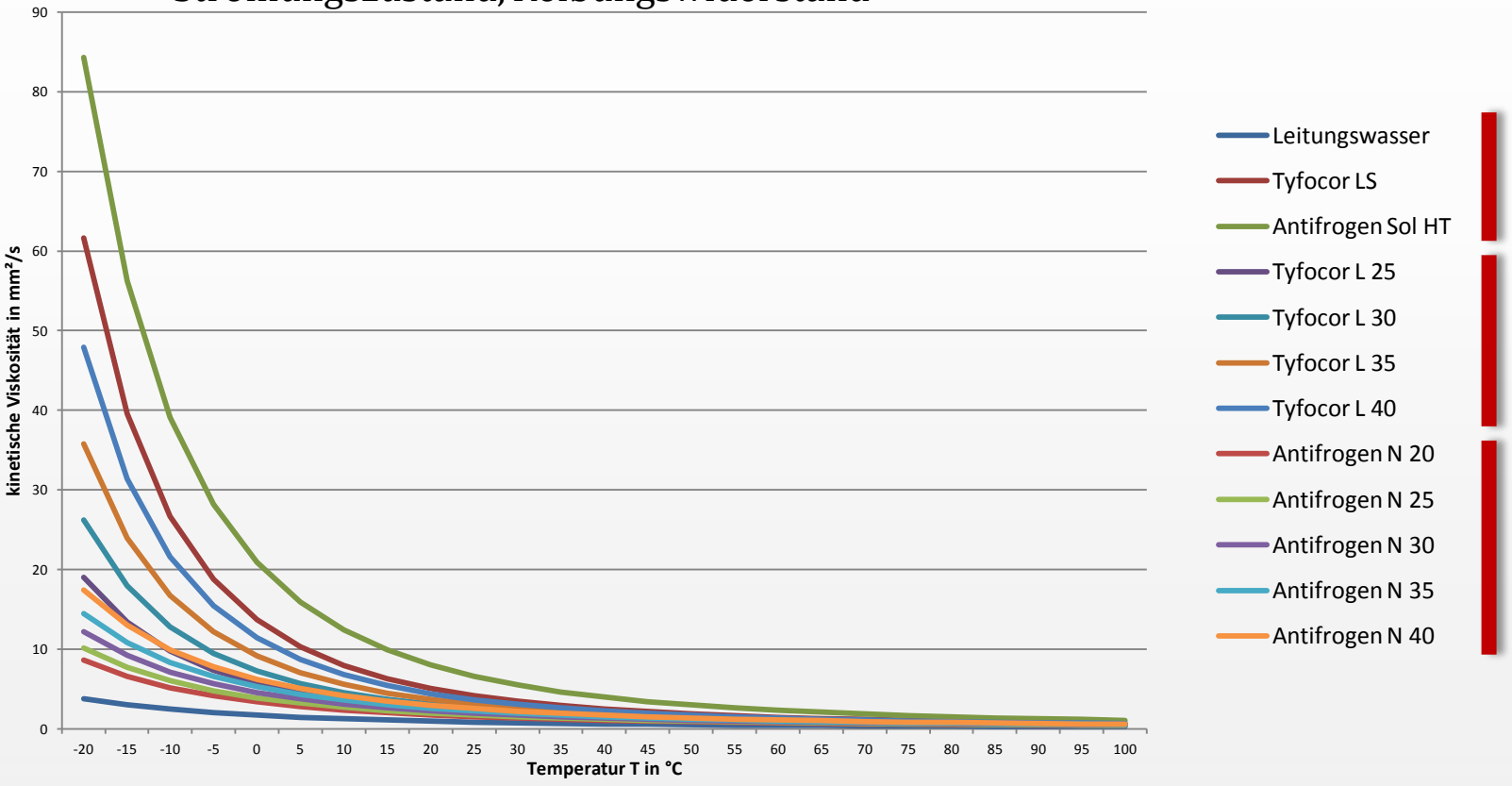
Viskosität

- Untersuchung der kinematischen Viskosität in Abhängigkeit von Temperatur und Mischungsverhältnis: Messunsicherheit: ca. 1 %
  - Strömungszustand, Reibungswiderstand



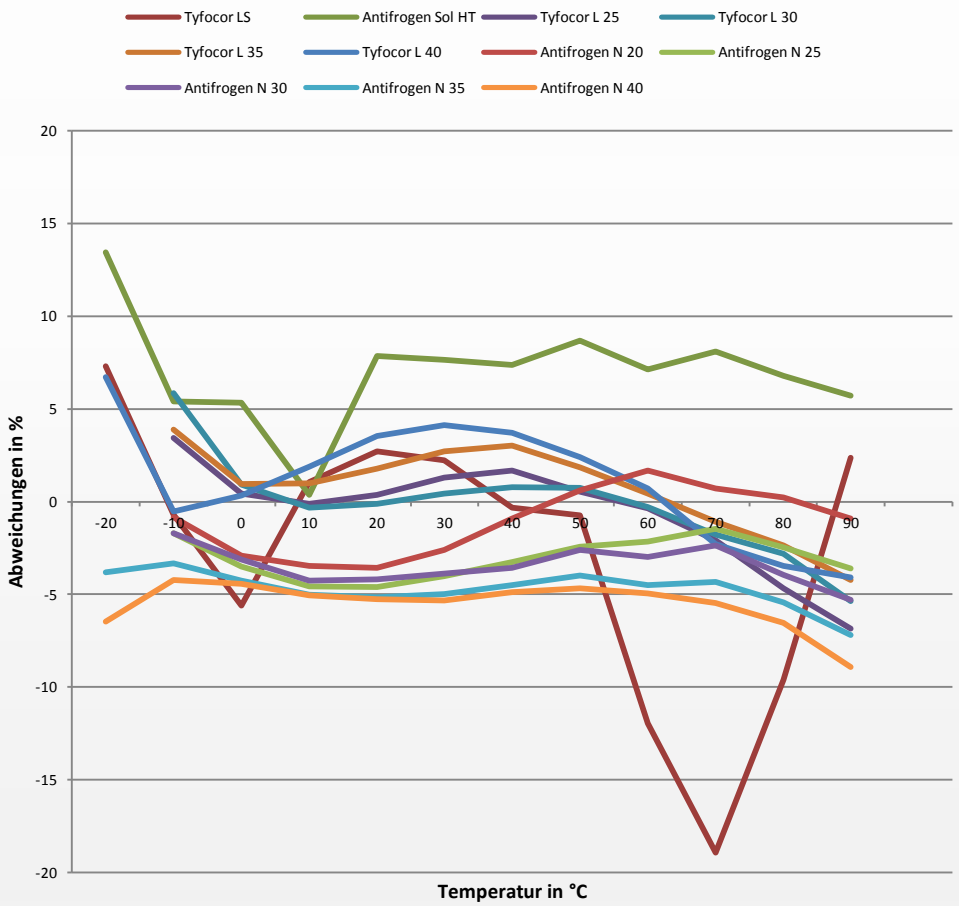
Viskosität

- Untersuchung der kinematischen Viskosität in Abhängigkeit von Temperatur und Mischungsverhältnis: Messunsicherheit: ca. 1 %
  - Strömungszustand, Reibungswiderstand



Viskosität

- Abweichungen der Herstellerangaben in %:

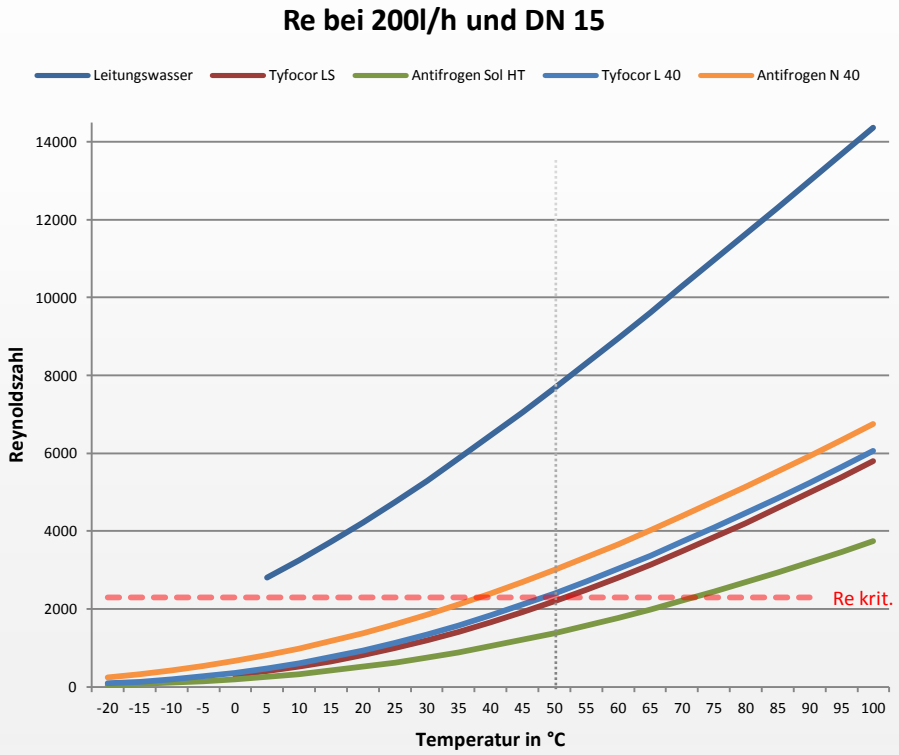


Abweichungen:

Konzentrate	~5%
Fertigmischungen	bis zu ~18 %

Viskosität

- Untersuchung des Strömungszustands: $(\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu})$
  - Kinematische Viskosität

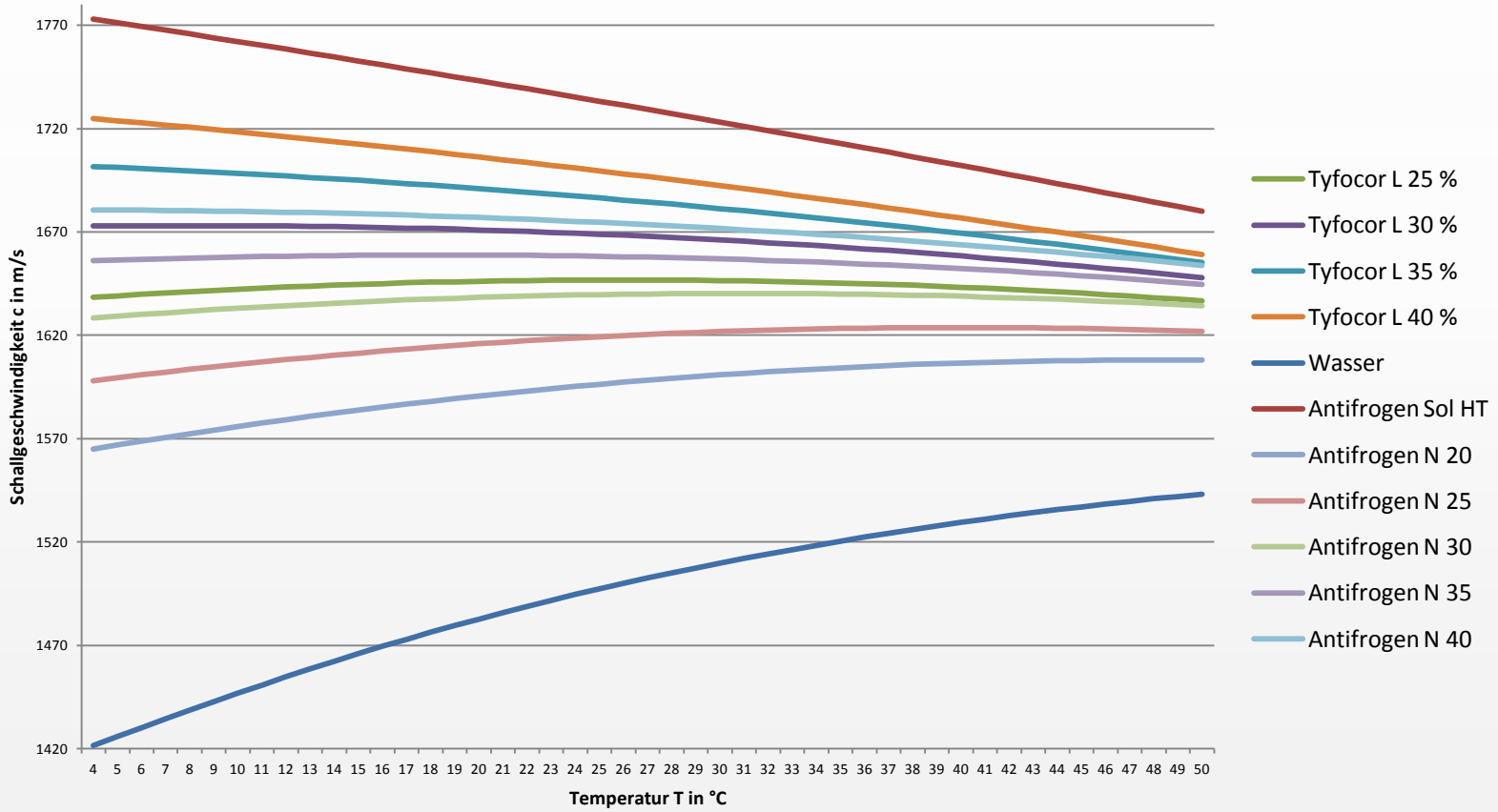


bei 50 °C – Strömungszustand:

Wasser	turbulent
Antifrogen N 40 Tyfocor LS Tyfocor L 40	Übergangsbereich
Antifrogen SOL HT	laminar

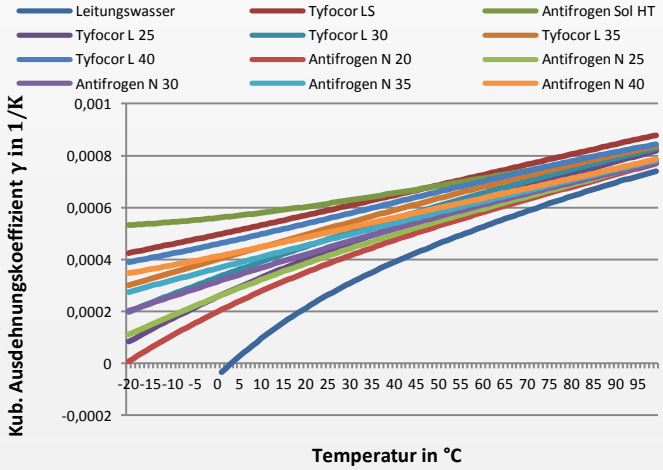
Schallgeschwindigkeit

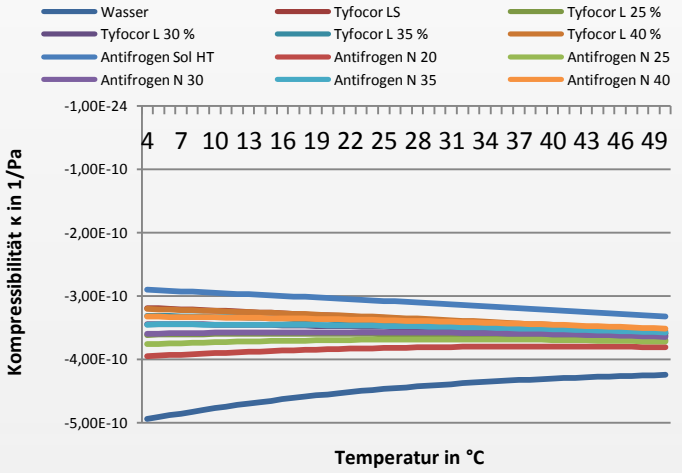
- Messungen zwischen 4 und 50 °C:



Schallgeschwindigkeit

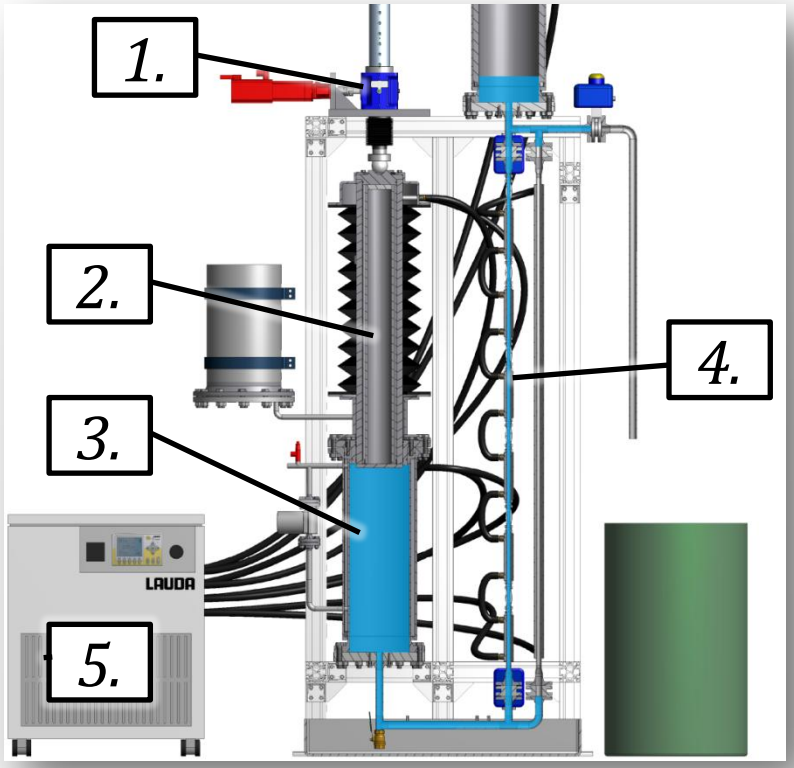
- Schallgeschwindigkeit birgt im Zusammenhang mit der Dichte hohen Informationsgehalt
- Korreliert mit Dichte ρ und Kompressionsmodul K ($K=c^2*\rho$)
  - Änderung der Dichte unter Druck (gering, aber messbar)
  - Aussagen über stoffliche Zusammensetzung (Stichwort Alterung)
- theoretisch Bestimmung von c_p möglich mit:
  - kubischem Ausdehnungskoeffizient γ und Kompressibilität $\kappa=1/K$





Volumetrischer Prüfstand- Eckdaten

- Realisierbarer Volumenstrom zwischen 6 l/h und 3600 l/h
- Temperaturen zwischen -20 °C und 110 °C
- Druck: im Normalfall zwischen 3-4 bar

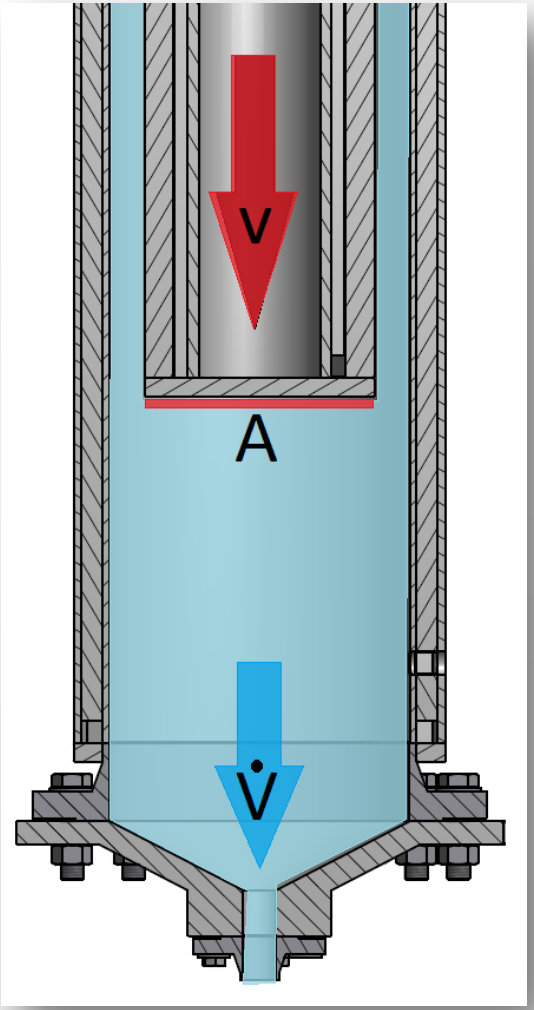


Auswahl:

1. *Hubspindel*
2. *Stempel*
3. *Zylinder*
4. *Messstrecke*
5. *Temperierung*

Volumetrischer Prüfstand - Grundprinzip

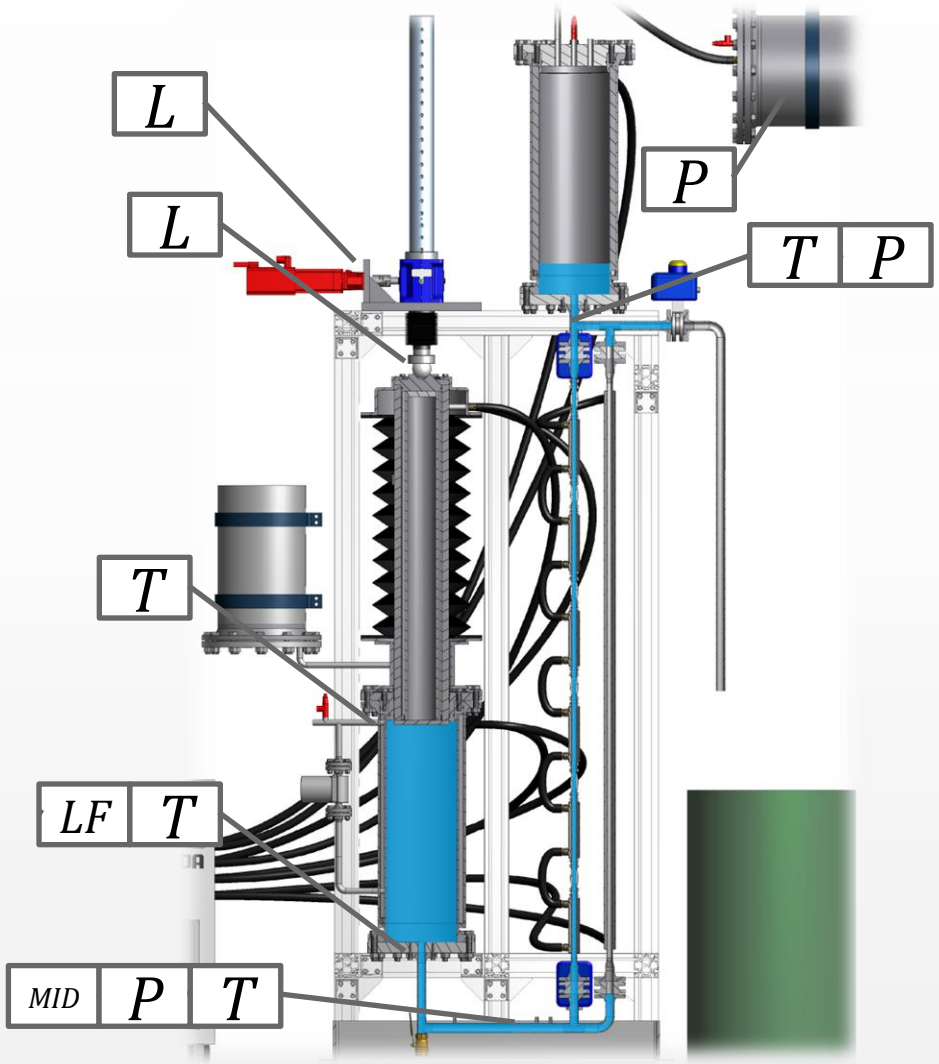
- Prüfstand mit volumetrischer Rückführung
- Basiert auf Verdrängerprinzip
  - Koordinatenmesstechnisch erfasster Körper (Volumennormal) wird mit definiertem Vorschub in Behälter eingeführt
  - Hochgenau bestimmbarer Volumenstrom wird erzeugt
- Prüfung der WMZ erfolgt per Vergleich der Volumenstromanzeige



Volumetrischer Prüfstand - Aufbau

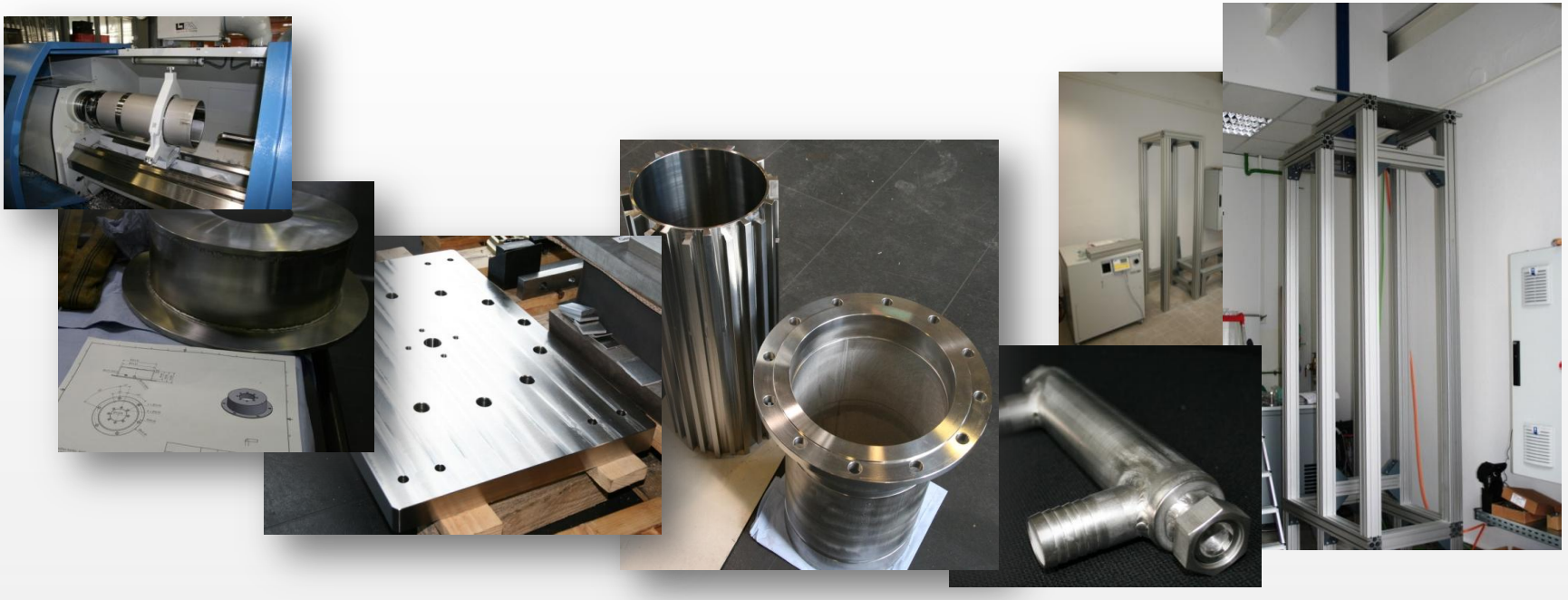
<u>Messtechnik</u>

- *Temperatur*
  - *5 x Pt100 in Vierleitertechnik*
- *3 x Druck*
- *Längenmessung*
  - *Mitutoyo und Drehgeber*
- *Leitfähigkeit*
- *MID*



Volumetrischer Prüfstand – Arbeiten der PTB

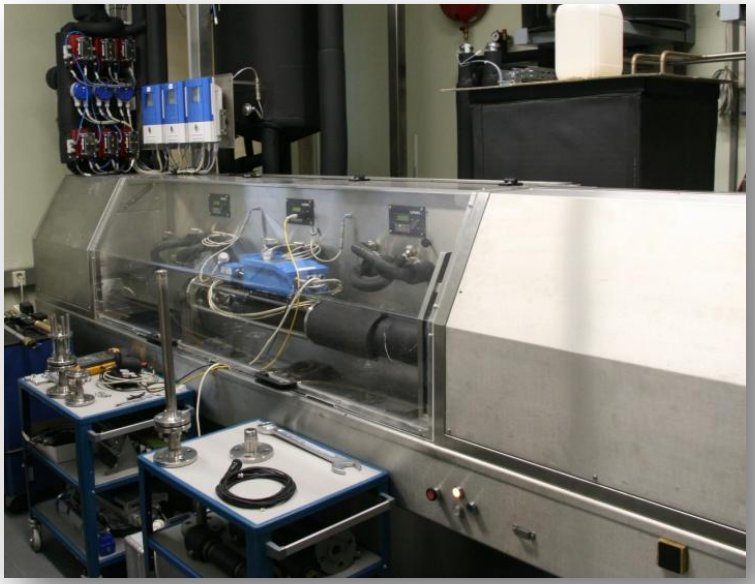
- Fertigung der meisten Komponenten in hauseigener Werkstatt
  - Drehen, Fräsen, Schweiß- und Montagearbeiten
- Umbaumaßnahmen
  - Rückbau alter Anlagenteile, Ziehen einer Wand, Deckenarbeiten



Volumetrischer Prüfstand - Validierung

- Vergleichsmessungen des Prüfstands mit bestehender Anlage der PTB
- Messungen mit MID-Vergleichsnormalen (siehe Temperatur- und Durchflussspreizung)
- nach Validierung Einmessen der Zähler(DN15)mit Wasser (Vergleich)

Temperaturen in °C	Durchfluss in l/h
5	6
20	10
50	25
80	50
	75
	100
	250
	500
	1000
	2000
	3000



Alterung

- Glykol-Wasser-Gemische enthalten Inhibitoren und Puffersubstanzen, um neben dem Frostschutz noch anderen Zwecken zu dienen:
  - Korrosionsschutz für ausgewählte Metalle (Stahl, Cu, Al, Lot)
  - Pufferwirkung zur Neutralisierung von Säuren (Säurekorrosion)
- je nach Zusammensetzung , Einsatztemperatur und Sauerstoffzufuhr tritt Alterung auf
  - Moderne, geschlossene Heizungssysteme => unproblematisch
  - Einsatz in Solaranlage (Stagnationstemperaturen bis 300 °C) führt zur Verdampfung der Lösungsbestandteile => problematisch

Quelle: Hillers, Schrimpf, Korrosionsschutz und thermische Belastbarkeit

Alterung

- Grundsätzliche Eigenschaften der Lösungen werden beeinträchtigt:
  - pH-Wert sinkt => Korrosionsschutz lässt nach/versagt vollkommen
  - Entstehung von Ablagerungen (Kristallisation der Inhibitoren nach Verdampfen)
  - Verfärbungen, Geruchsbildung
  - Säurebildung, wenn Puffervermögen aufgeraucht ist => beschleunigte Korrosion an Anlagenteilen

?Wirkung auf Strömungszustand (Dichte, Visk.) und Wärmekoeffizient?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.