# Auswertung von Großwärmemessungen im Netz der Fernwärme Wien (KW Kagran)

Dr.-Ing. Ulrich Müller, OPTOLUTION GmbH, Reinach, CH

Dr.-Ing. Michael Dues, ILA GmbH, Jülich, D

Prof. Franz Adunka, Maria Wörth, A

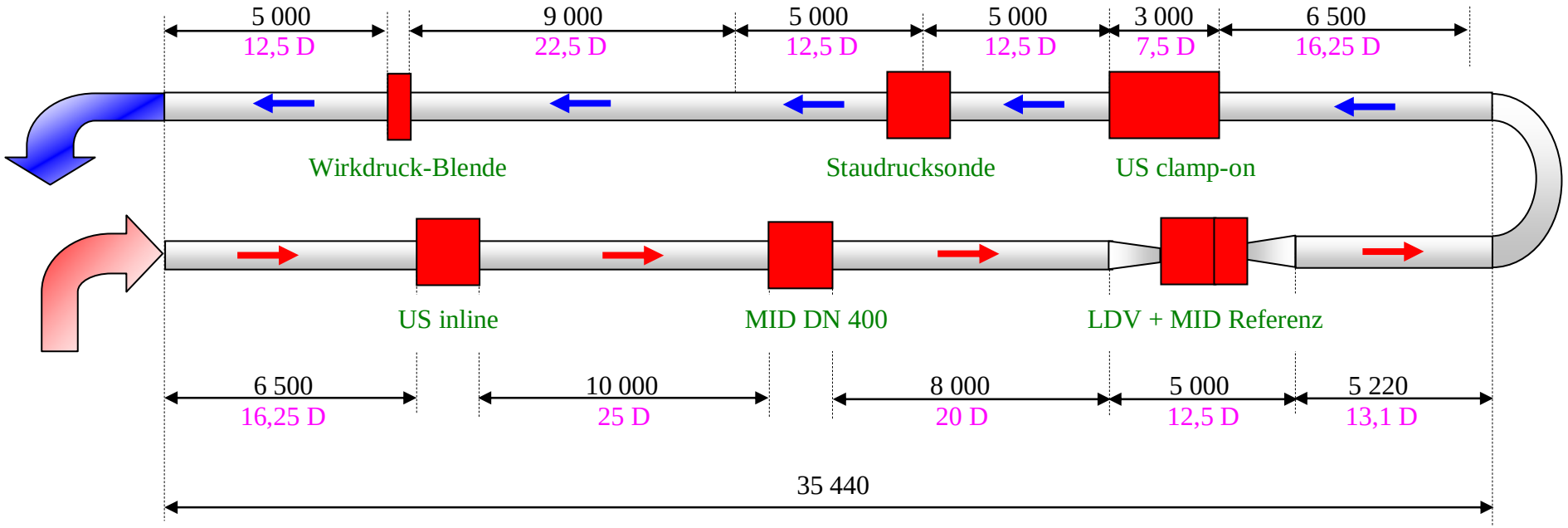
# Motivation

- Viel Erfahrung mit DF-Messgeräten am Prüfstand
- Wenig Erfahrungen mit MG im Netz, vor allem im Großwärmenetz
- Bisher kein längerer Einsatz eines Primärnormals im Netz (allerdings: Vormessungen bei BEWAG, Berlin, 1994)
- Wegen hoher Kosten bisher kein Interesse der FW-Unternehmen
- Nun: Technologie von Primärnormalen (LDV) verfügbar
- Dynamische Eigenschaften von LDV-Sonden günstig
- Preis naturgemäß hoch

# Auswahl eines Teststrecke bei der FWW

- FWW stellte Rohrstrecke im KW Kagran zur Verfügung
- KW Kagran ist im Versorgungsnetz eingebunden, aber nur für Spitzenlasten in Betrieb
- Rohrstrecke wurde adaptiert für Messungen
- Betriebsbedingungen:
  - Rohrstrecke im Inselbetrieb bei annähernd konstanten Verhältnissen oder
  - Verbindungen mit Hauptnetz

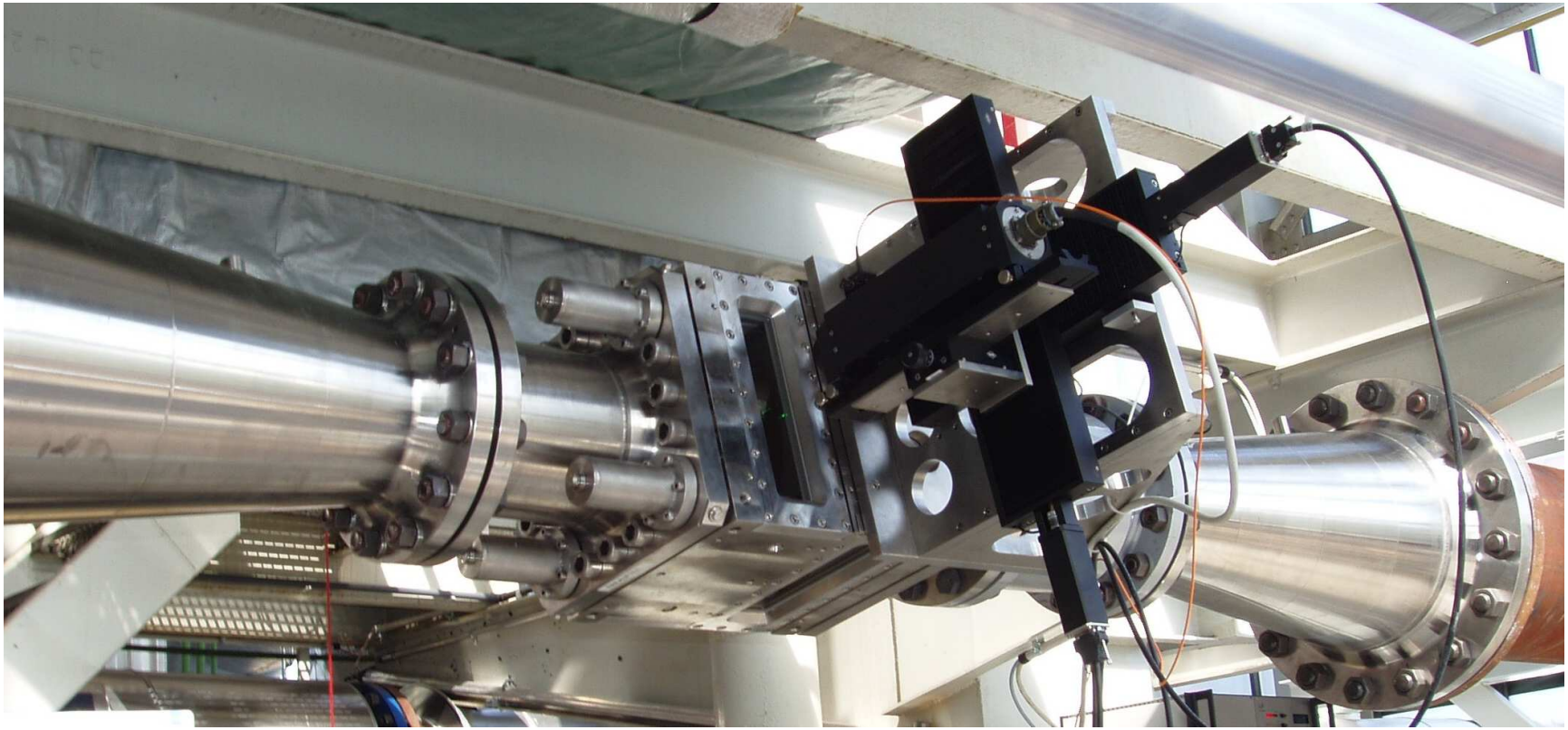
# Anordnung der Messgeräte in der Teststrecke



# Daten der verwendeten Messgeräte

| Art des Messsystems | DN | Hersteller | Bauart | Messprinzip | Kalibrierungen | Anmerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Ultraschallzähler | 400 | SIEMENS | SONO 3100 + 3000 | Ultraschall-Zweipfad-System | Kalibrierung bei PTB | |
| Ultraschallzähler | 400 | SIEMENS | SITRANS FUP 1010 | Clamp-on-System | Kalibrierung vor Ort und PTB | vormals Controlotron |
| Wirkdruck-Messsystem | 400 | Endress+Hauser | DELTATOP | Blende inkl. Differenzdruck-Umformer | Kalibrierung bei PTB | |
| MID | 400 | Endress+Hauser | PROMAG 53 P PTFE | magnetisch-induktiv | Kalibrierung bei PTB | |
| MID | 200 | Krohne Messtechnik | OPTIFLUX 4000 F, ETFE/PFA | magnetisch-induktiv | Kalibrierung bei PTB | **Referenzzähler** |
| LDV-System | 200 | ILA | ILA-1D-fp50 | LDV-Sensor | Kalibrierung bei PTB-Braunschweig und ILA | |
| Staudrucksonde (Pitotsonde) | 400 | Emerson-Rosemount/Siemens | Annubar | Staudrucksensor | keine Kalibrierung | |

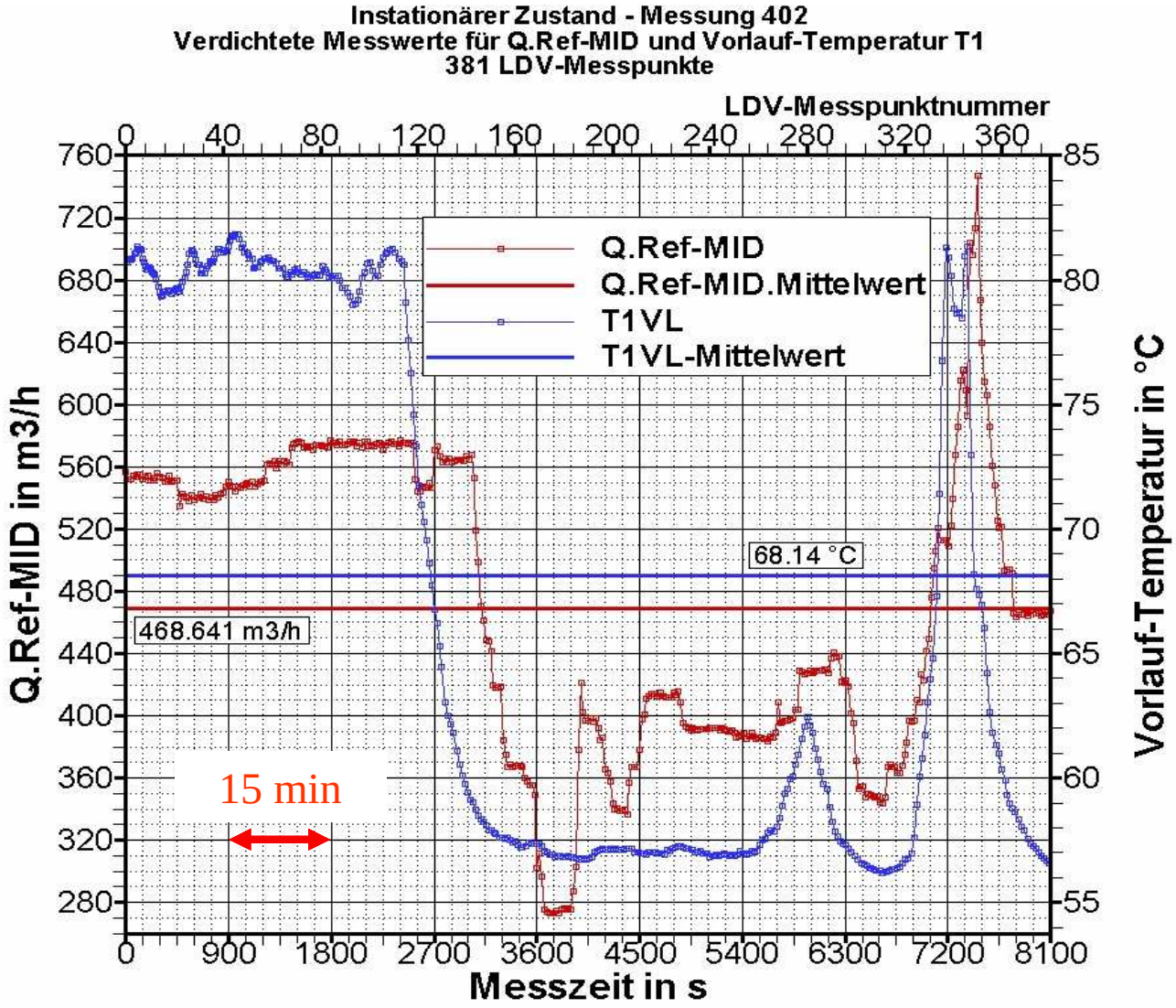
# Anordnung des LDV-Systems



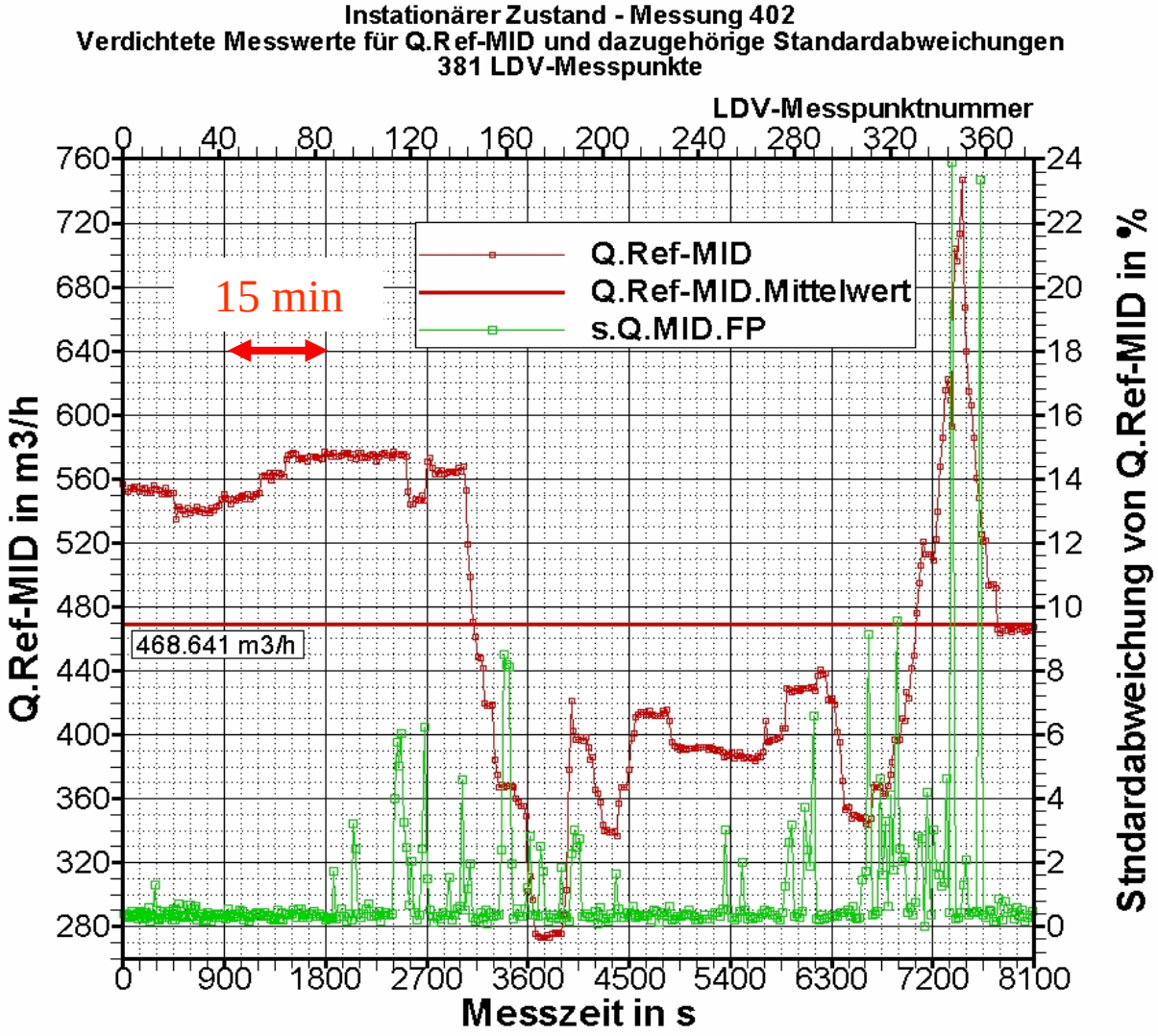
# 1. Schritt

- Kalibrierung der verwendeten Messgeräte bei ILA bzw. PTB
- Besonders wurde nach Plänen von *Witt* bei der PTB die Fensterkammer DN 200 gebaut und der Referenz-MID kalibriert
- Untersuchungen zur Messunsicherheit des LDV-Systems durch ILA, Optolution und durch Vortragenden
- Untersuchungen auch zum Einfluss der erwarteten Dynamik im FW-Netz

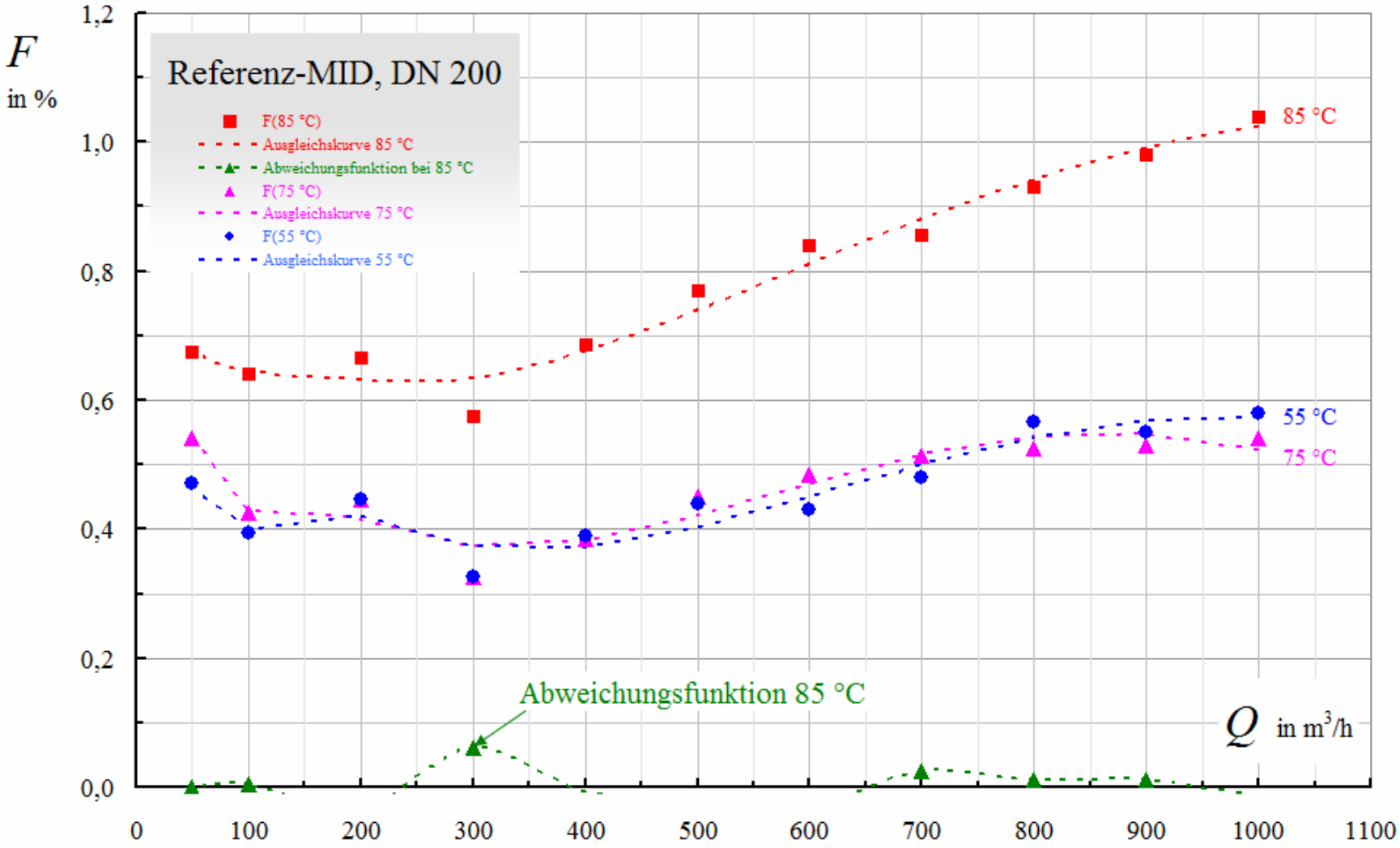
# Dynamische Zustände – $Q$, $t_v$



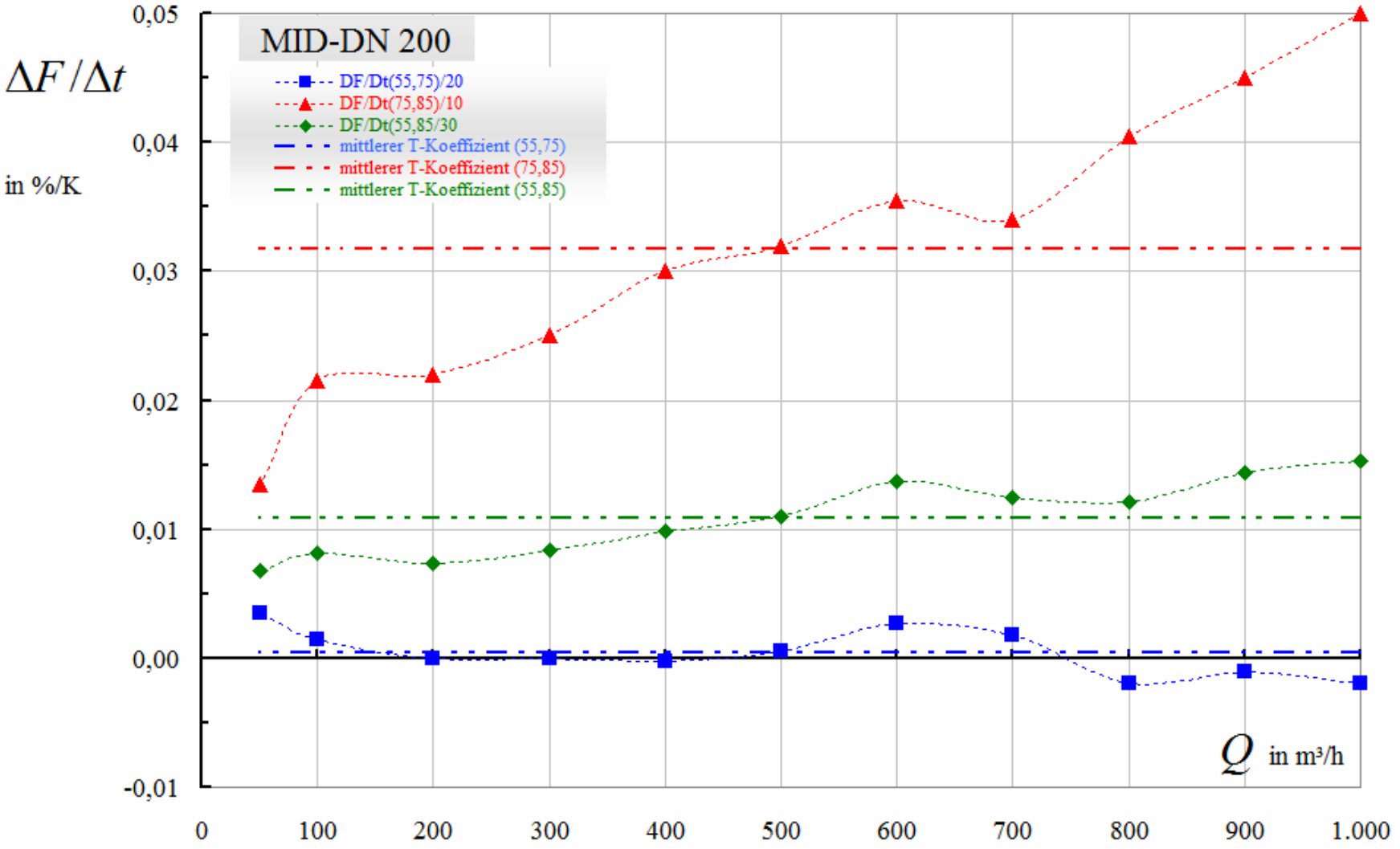
# Dynamische Zustände – $Q_{ref\text{-}MID}$; $s_{ref\text{-}MID}$



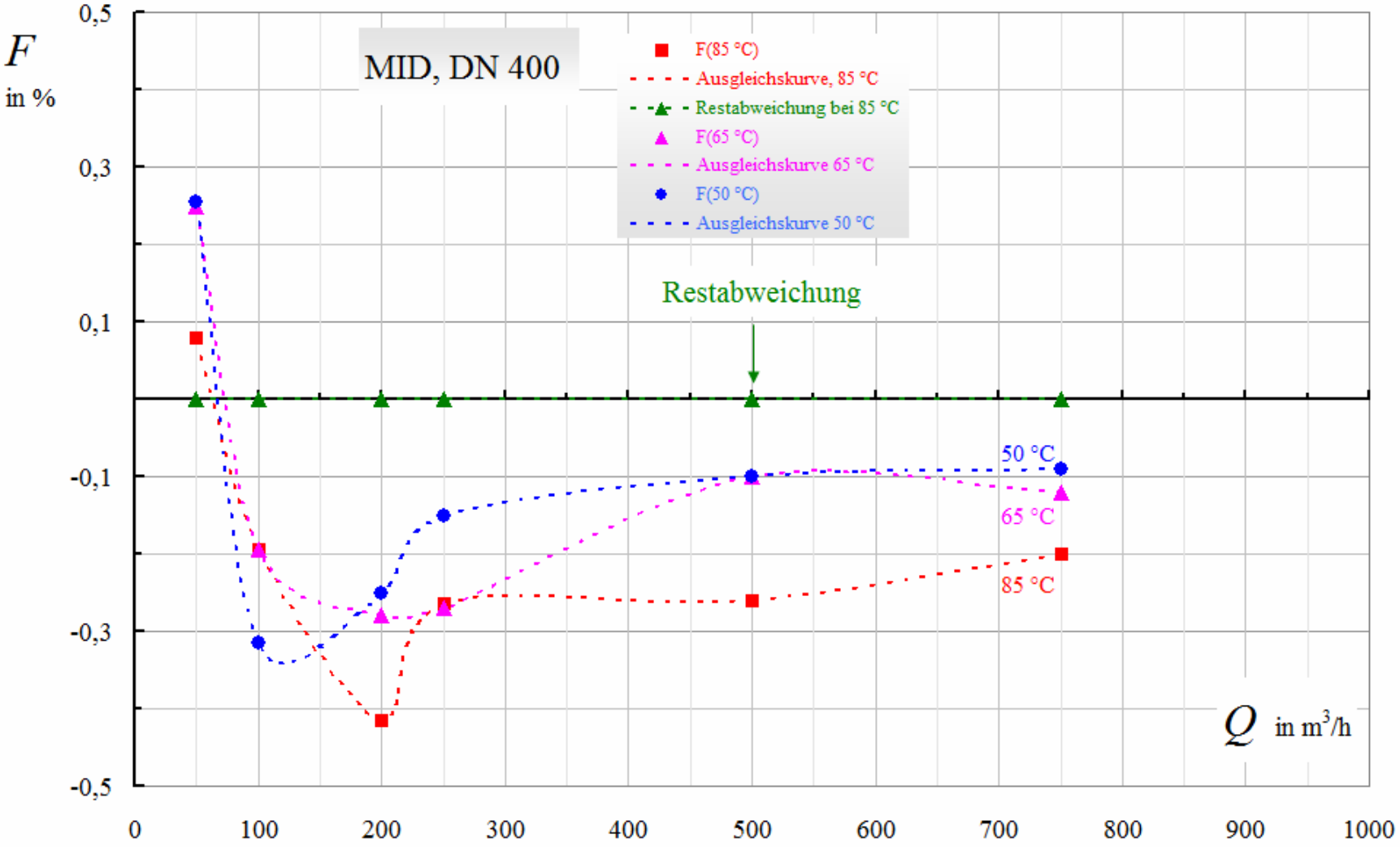
# Kalibrierergebnis – Referenz-MID



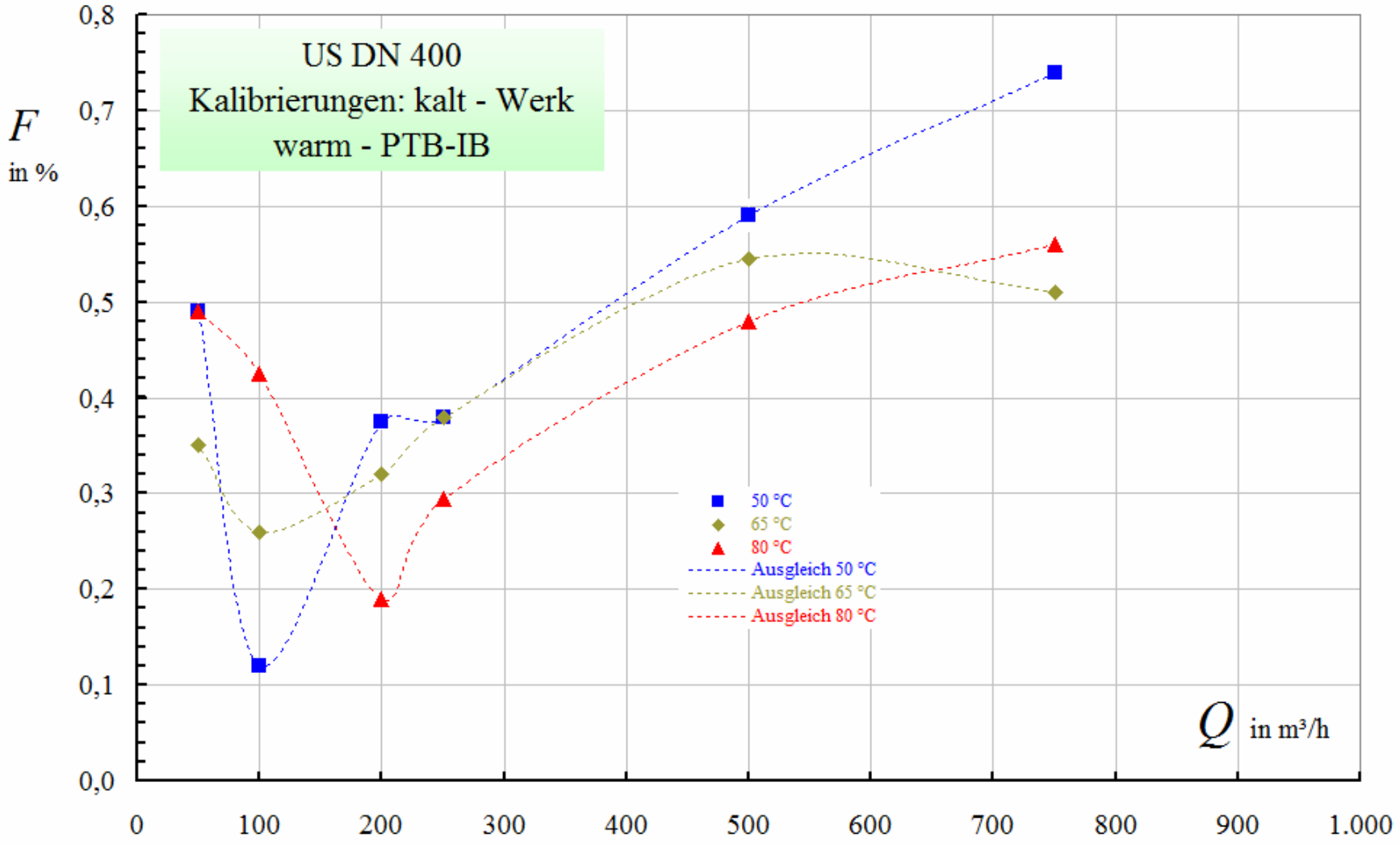
# Referenz-MID - Temperaturkoeffizient



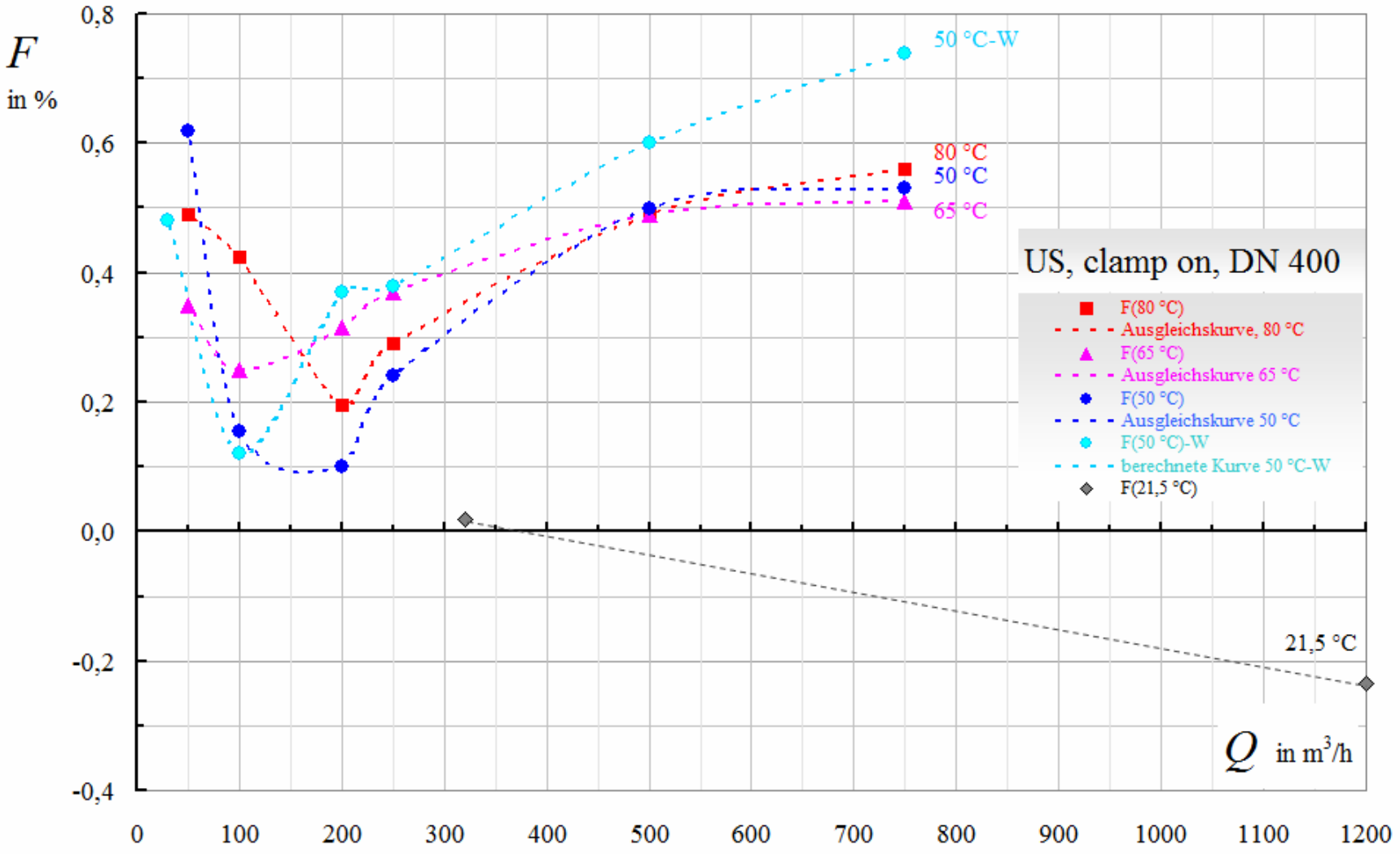
# MID DN 400


MID, DN 400
F(85 °C)
Ausgleichskurve, 85 °C
Restabweichung bei 85 °C
F(65 °C)
Ausgleichskurve 65 °C
F(50 °C)
Ausgleichskurve 50 °C
Restabweichung
50 °C
65 °C
85 °C
F
in %
Q in m³/h
0,5
0,3
0,1
-0,1
-0,3
-0,5
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000

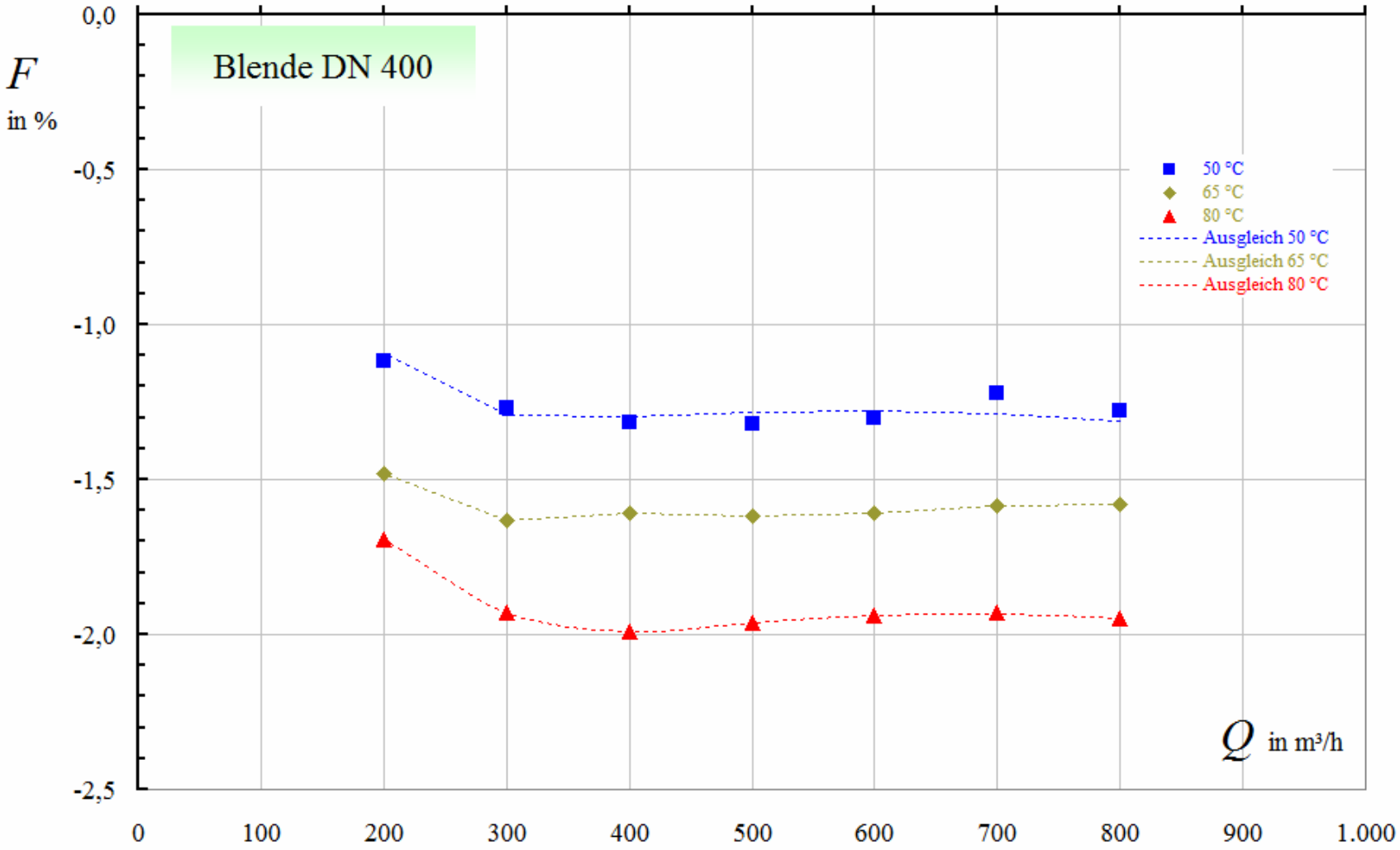
# Ultraschall DN 400



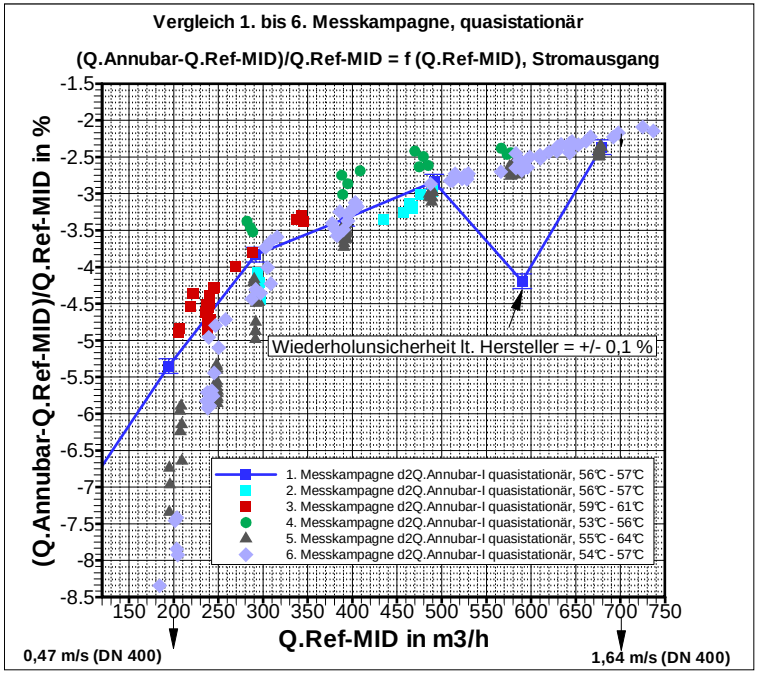
# Ultraschall „clamp-on“

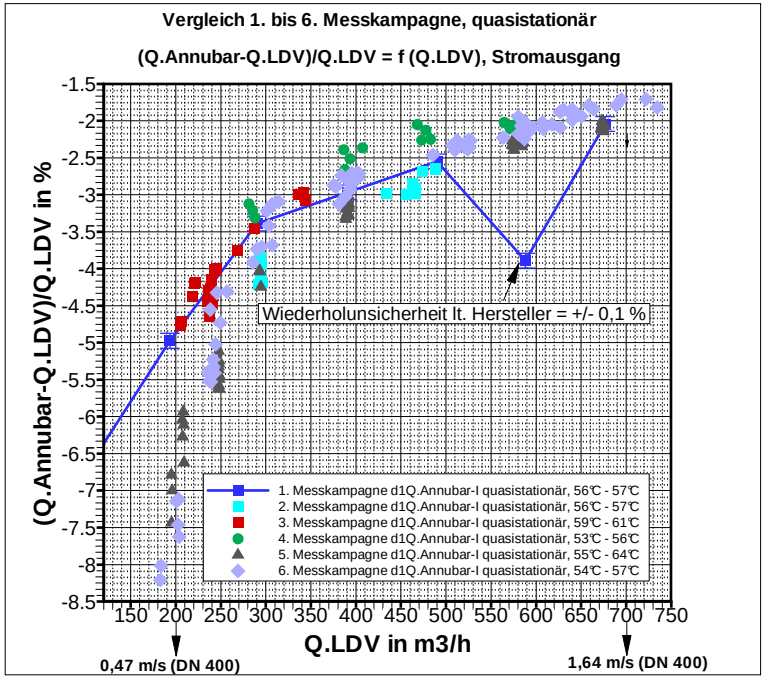


# Blende DN 400



# Annubar-Sonde (Staudruck-Messer)



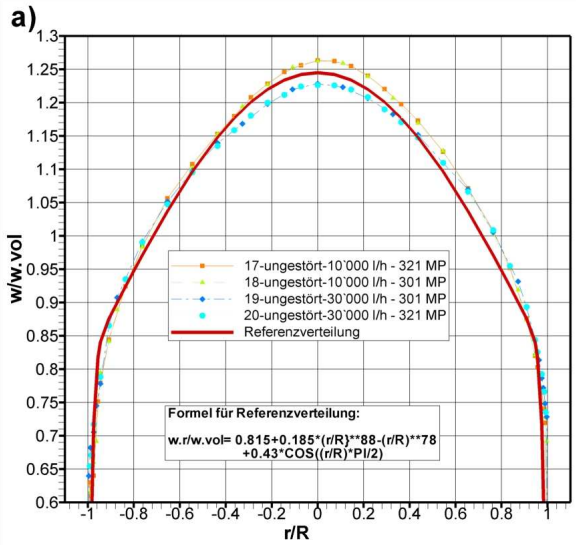
# Messkampagnien

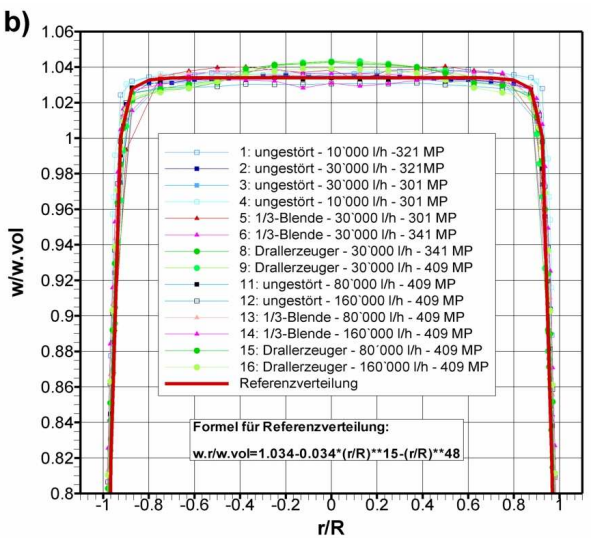
| Messkampagnie Nr./Zustand | $Q$ in m³/h | $s_Q$ in % | $t$ in °C | $s_t$ in % | $v_{vol,DN400}$ in m/s | $Re_m$ in $10^6$ für DFS | $Re_m$ in $10^6$ für LDV |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1/stationär | [100/700] | ≤ 2 | [56/57] | | | | |
| 2a/quasistationär | [295/490] | ≤ 2 | [56/57] | ≤ 1 | [0;69/1;15] | [0,5/1] | [1/2] |
| 2b/instationär | [340/465] | [14/31] | [56/73] | [1/16] | [0,80/1,09] | | |
| 3a/quasistationär | [205/345] | ≤ 3 | [56/61] | ≤ 1 | [0,48/0,81] | [0,37/1,07] | [0,69/1,98] |
| 3b/instationär | [210/460] | [7/19] | [59/74] | [2/6] | [049/1,08] | | |
| 4/quasistationär | [282/579] | [0,41/2,14] | [52,8/55,8] | [0,44/1,60] | [0,66/1,35] | [0,49/1,06] | [0,92/1,97] |
| 5/quasistationär | [195/675] | [0,19/4,5] | [54,6/64,1] | [0,20/2,75] | [0,46/1,58] | [0,65/2,62] | [0,35/1,39] |
| 6/quasistationär | [134/725] | [0,32/15,43] | [53,9/57,3] | [0,16/4,69] | [0,31/1,70] | [0,23/1,33] | [0,44/2,50] |

[Min; Max] = Messbereich

# Voraussetzung der LDV-Messungen

- LDV: Einzug DN 400 auf DN 200 erzeugt flaches Profil, damit ist Integration einfacher und damit auch genauer



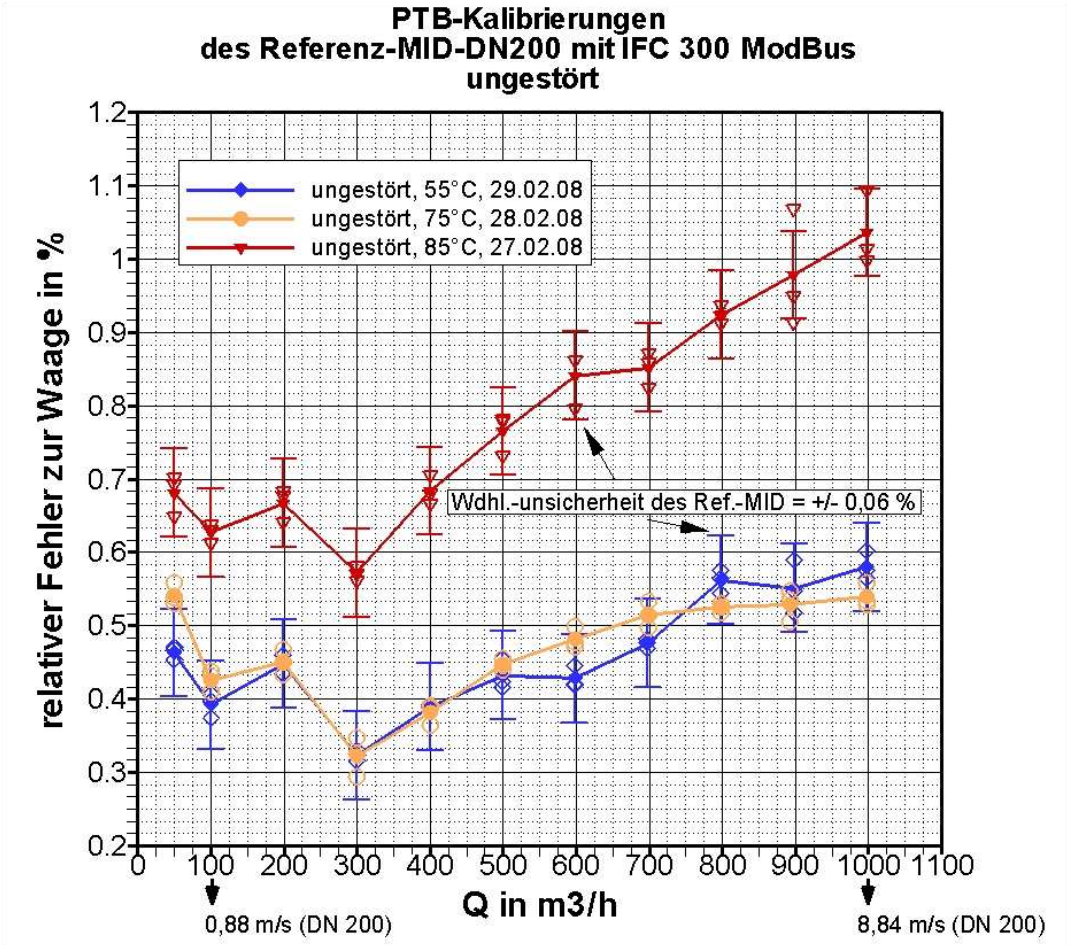

(a) unkonditionierter Zustand bei DN 80

(b) konditionierter Zustand bei DN 80

# 2. Schritt: Messergebnisse

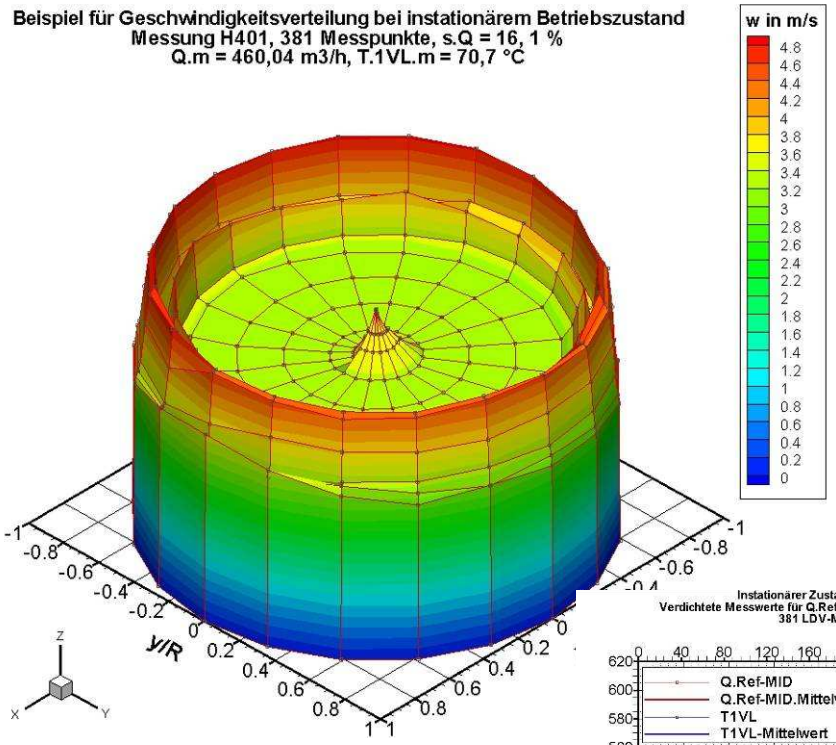
- Problem: Dynamische Abläufe beeinflussen die Messgenauigkeit der Messgeräte
- Als Referenzsystem (quasi „Normal“) wird LDV mit ausreichend stabilen MID DN 200 verwendet
- das LDV-Signal wird mit dem Signal des Referenz-MID gegen einen Referenzdurchfluss korrigiert

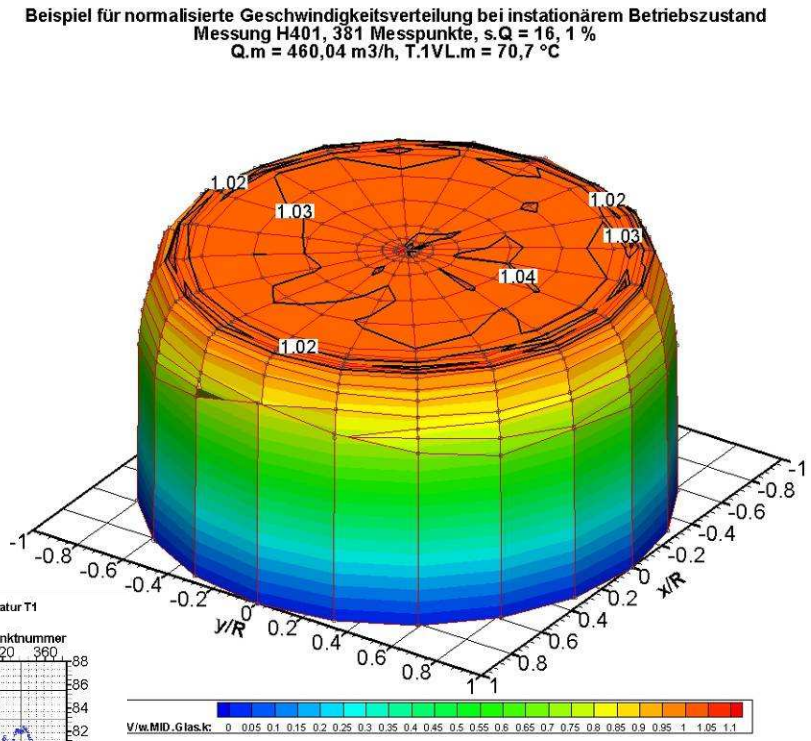
# Kalibrierkurven der Referenz-MID´s DN 200

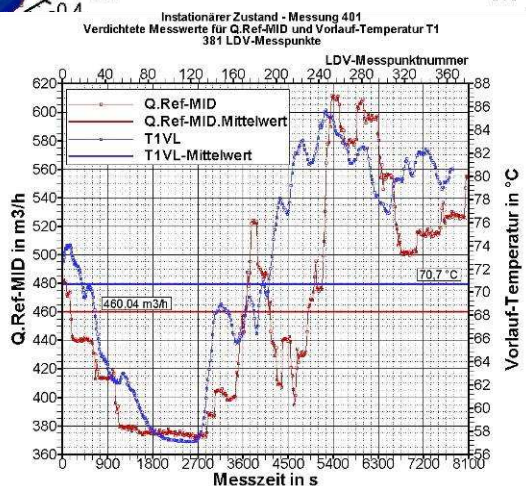



- Kalibrierunsicherheit wichtig, beeinflusst letztlich die Messunsicherheit

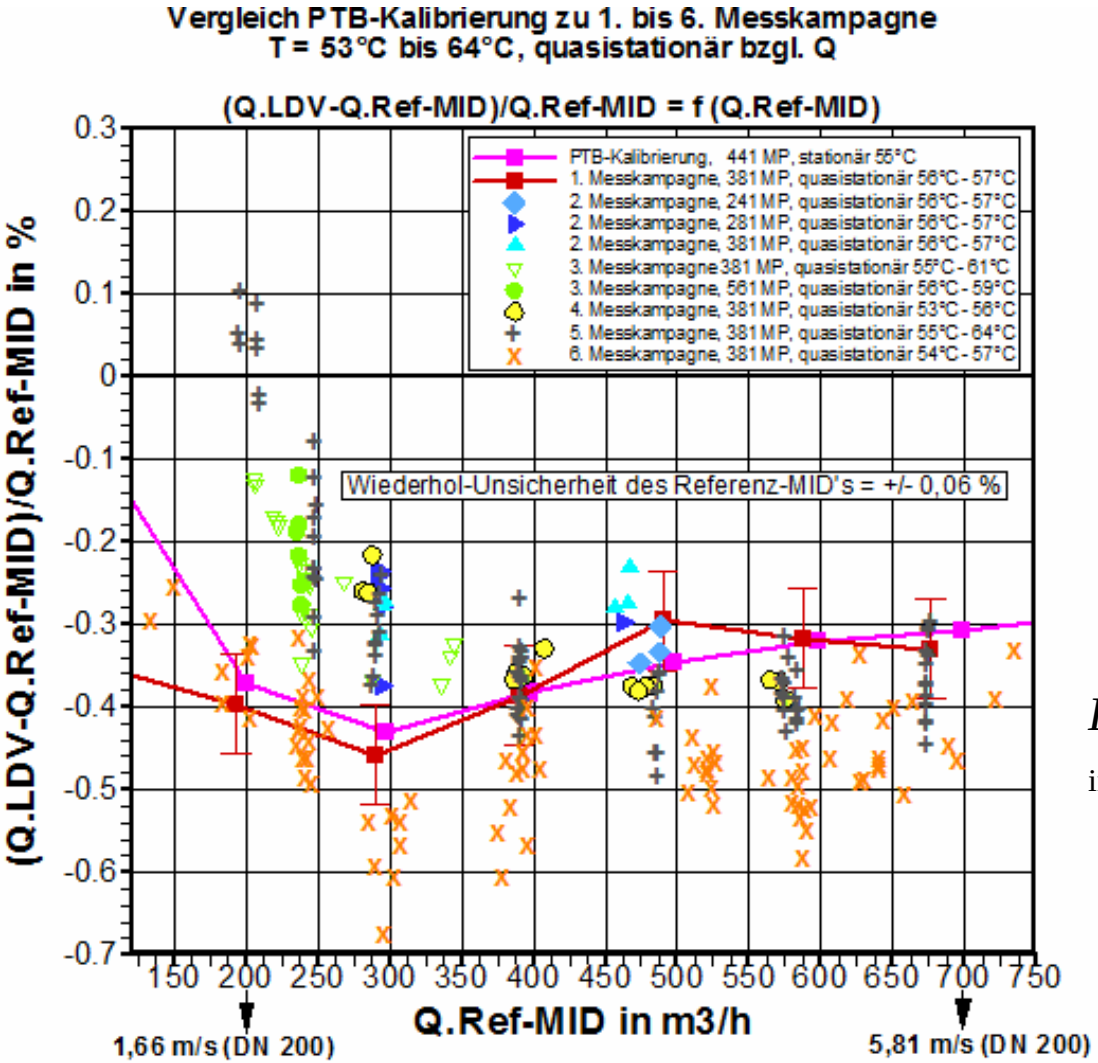
# Normalisierung des Profils mittel Referenz-MID



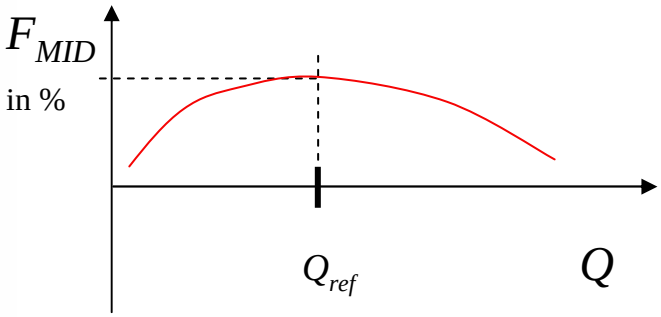



# Differenz LDV und MID DN 200 im Betrieb




- Wählt man geeigneten Referenzdurchfluss ist Korrektur und damit auch die Messun-sicherheit des LDV-Systems gering



# Voraussetzungen für brauchbare Ergebnisse

- Voraussetzungen
  - Geräte werden am Prüfstand kalibriert (nahezu ideale Verhältnisse)
  - Verhältnisse vor Ort sollten identisch mit jenem am Prüfstand sein (prinzipiell) – schwer erfüllbar
- Vorerst Untersuchung des Einbauortes hinsichtlich:
  - Größe der ungestörten Einlaufstrecken. Für $U \approx$ 1 % muss Einlaufstrecke $L_E \geq 30$ D sein – nur ein einziges Mal erfüllt
  - Sind Rohrleitungsdurchmesser mit den Durchmessern der Einlaufstutzen der Zähler identisch?
  - Wenn nicht, wie groß sind Unterschiede?
- Enthält die Strömung einen Drall: im gegenständlichen Fall ist er unter 0,5°
- usw.

# Gegenständliche Versuchsanordnung

- Voraussetzungen annähernd erfüllt, da
  - lange Einlaufstrecken zwischen den Messsystemen wie auch nach Rohrbögen

- Problem sind dynamische Verhältnisse hinsichtlich
  - Temperatur $t$
  - Durchfluss $Q$ und

- Durchflussvariation ca.: $100 \leq Q \leq 800$ m³/h
  siehe Folie 17: $> 0{,}2\ \% \leq s_Q \leq 31\ \%$ - typisch: 5 %

- Temperaturvariation ca: $50\ °C \leq t \leq 85\ °C$, meist jedoch zwischen $55\ °C \leq t \leq 65\ °C$:
  siehe Folie 17: $> 0{,}2\ \% \leq s_t \leq 16\ \%$ - typisch: 5 %

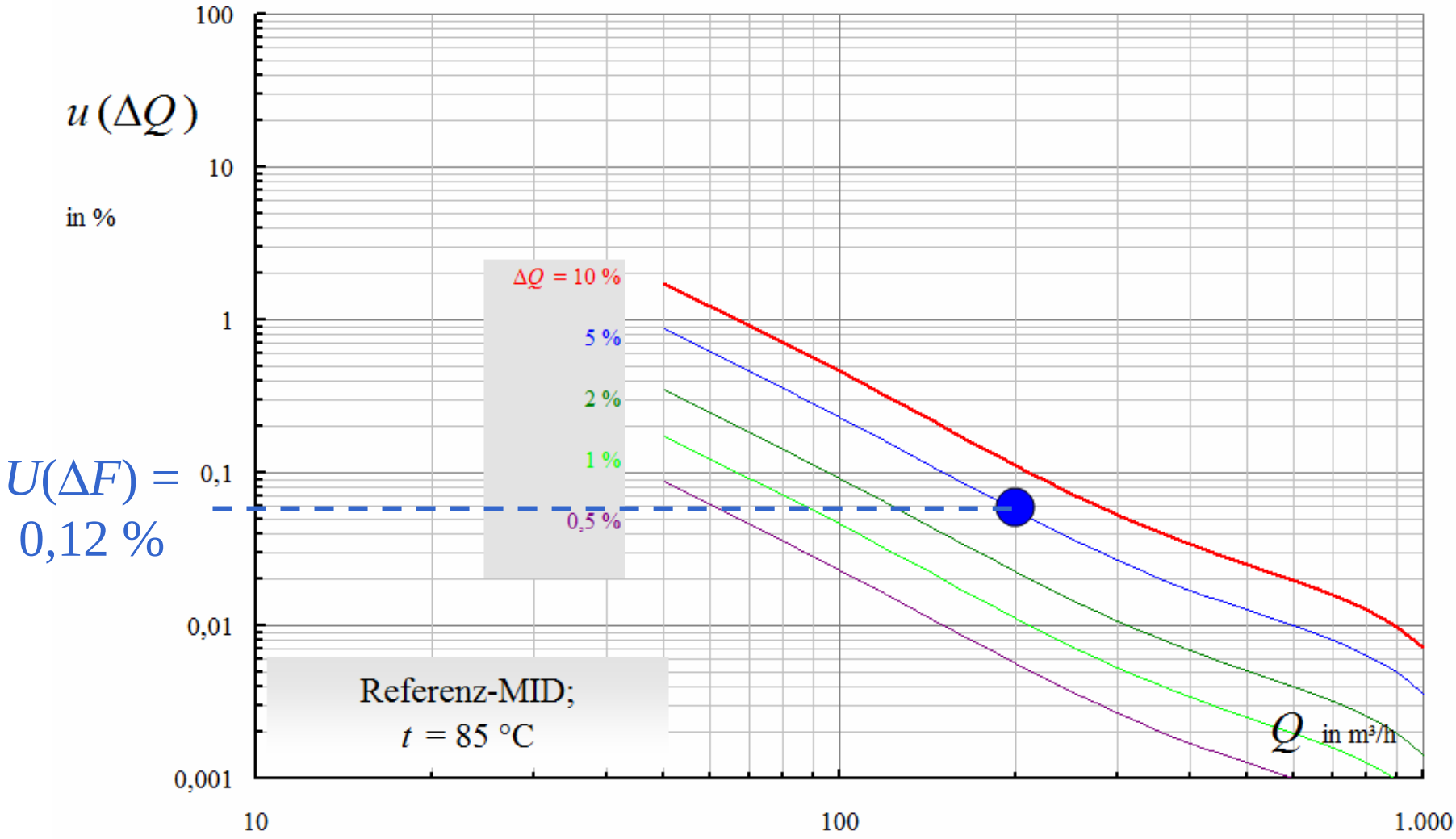
# Berücksichtigung von Durchflussvariationen

- siehe Vortrag 1. Wir fanden:
  - Fehlerkurve wird durch rationales Polynom beschrieben
  - Die Koeffizienten $a_i$ werden durch Ausgleichsrechnung bestimmt
  - Mit der Unsicherheit der Koeffizienten $a_i$ kann man einen Unsicherheitsbeitrag auf Grund von Durchfluss-schwankungen $\Delta Q$ bestimmen: $u(\Delta Q)$

- zur Erinnerung: Ansatz für die Fehlerkurve $F(Q,t)$ in $Q$:

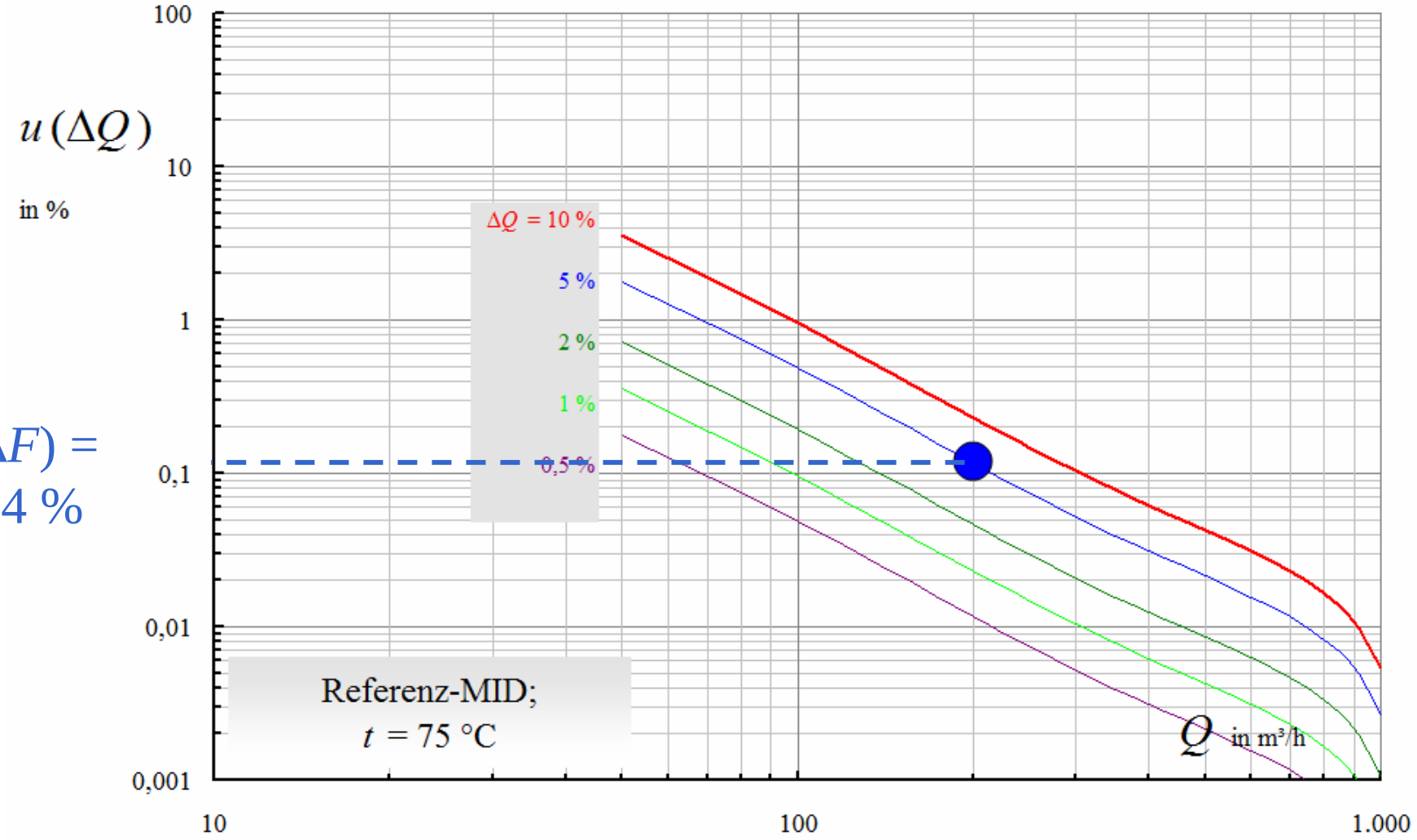
$$F(Q) = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2 + \frac{a_3}{\sqrt{Q}} + \frac{a_4}{Q} + \frac{a_5}{Q^2}$$

# Ergebnis für den Referenz-MID, $t$ = 85 °C



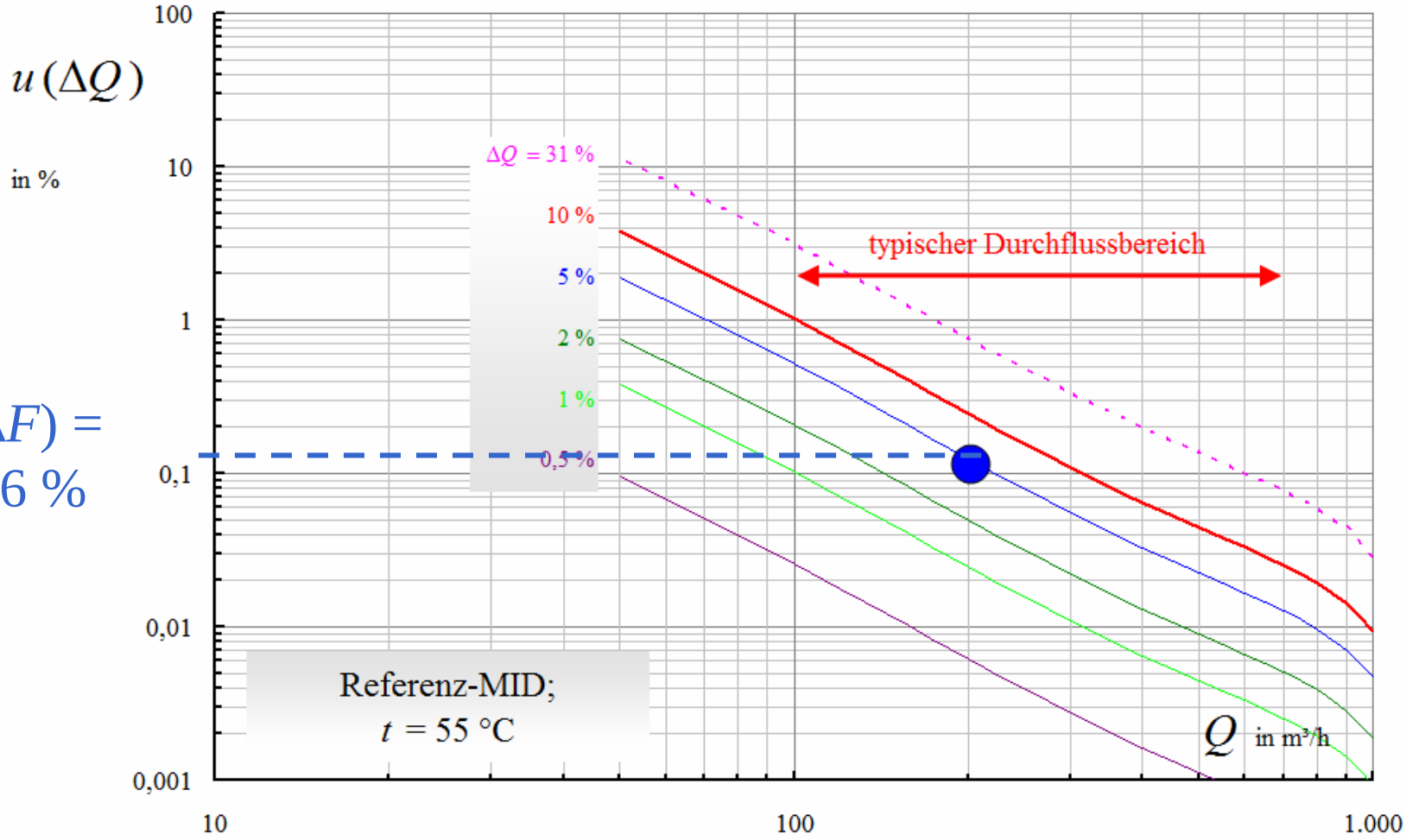

$U(\Delta F)$ = 0,12 %

# Ergebnis für den Referenz-MID, $t$ = 75 °C




$U(\Delta F)$ = 0,24 %

# Ergebnis für den Referenz-MID, $t$ = 55 °C




$U(\Delta F)$ = 0,26 %

# Messunsicherheiten der verwendeten Messgeräte

| Messgerät | Messunsicherheit *U* in % | DN (ca) mm | Anmerkung |
|---|---|---|---|
| LDV-System | 0,76 *) | 200 | Optisches Normal |
| MID | 0,95 | 200 | Referenzgerät |
| MID | 1,20 | 400 | |
| Ultraschall inline | 1,41 | 400 | |
| Ultraschall clamp-on | 1,42 | 400 | |
| Blende | 0,95 | 400 | starke Temperaturabhängigkeit |

*) theoretischer Wert aus MU-Betrachtung

# Bewertung der Messergebnisse

Aus den bisherigen Untersuchungen zur Messstabilität durch ca. 300 Tage (1 a) kann man Folgendes festhalten:

- Die „klassischen“ Messsysteme (MID, US inline) zeigen bisher ein befriedigendes Verhalten, das jenem am Prüfstand entspricht. Die Driften waren meist kleiner als 0,2 %!
- Auch das „clamp-on-System“ zeigte mit $U \approx$ 1,5 % überraschend gute Ergebnisse. Voraussetzung ist die präzise Kalibrierung, die am Messrohr in der PTB-IB durchgeführt wurde

# Bewertung-Fortsetzung

- Das Wirkdruckmessgerät (Blende) brachte ebenfalls ein sehr gutes Dauerverhalten. Gegenüber der Kalibrierung trat jedoch ein Sprung auf, der folgende Ursachen haben könnte:
  - Nichtideale Einlaufstrecke von ca. 35 D (siehe DIN EN ISO 5167-1/2:2004 ..\Bilder\EN ISO 5167-1005.bmp ..\Bilder\EN ISO 5167-1-Ein- und Auslaufstrecken.bmp
  - Fehler bei der Kalibrierung/Berechnung
  - Montage nach 180°-Bogen (allerdings: Abstand ca. 70 D!)

    ..\Bilder\Anordnung in der Rohrschleife - neu.doc

- Die Staudrucksonde (Annubar) hat ein wenig befriedigendes Langzeitverhalten. Für $Q < 300$ m³/h traten deutliche Drifterscheinungen von typisch: 3 % auf

# Bewertung-Fortsetzung

- Das LDV-System zeigte seine Stärke in der Kalibrier-freiheit. Die bereits 2008 geschätzte Messunsicherheit mit etwa 0,7 % deckte sich sehr gut mit den anderen Messergebnissen. Es kann sogar vermutet werden, dass die erweiterte Messunsicherheit, die ja quasi ein Maximalwert ist, bei diesen Messkampagnen deutlich unterschritten wurde

- Durch die Anordnung mit dem Einzug von DN 400 auf DN 200 lässt sich auch aus einem gestörten Profil ein sehr vernünftiges Messsignal bestimmen

# Bewertung-Fortsetzung

- Die Kalibrierfreiheit des LDV-Systems öffnet auch die Möglichkeit, im Fernwärmenetz eingebaute DFS nach anderen Messprinzipien zu überprüfen bzw. (mit verminderter Messgenauigkeit) auch zu kalibrieren

- Das LDV-System erfordert zwar höhere Anschaffungs-kosten, kann dann aber im Prinzip mit mehreren Fenster-kammern und damit auch an vielen Stellen eines (oder mehrerer) Netze verwendet werden! Ein Ausbau für die regelmäßige Kalibrierung von Verrechnungszählern ist damit obsolet!