KROHNE

Zeitfehlerbestimmung bei der Umschalteinrichtung für gravimetrische Prüfstände

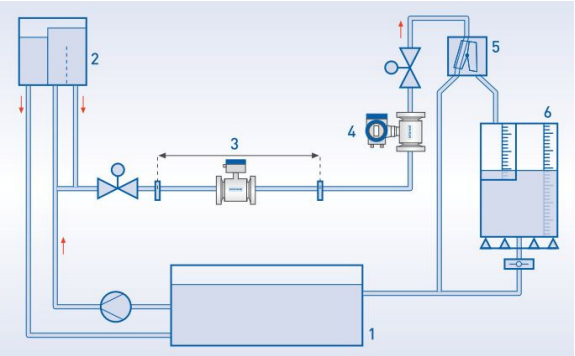
12.09.2012 Dr. Nicolaus Mathies

KROHNE

1. Einleitung
2. Gravimetrische Messanlagen
3. Diverter - Grundlagen
4. Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit
5. Auswertung
6. Ergebnisse
7. Laufende Messreihen

Einleitung

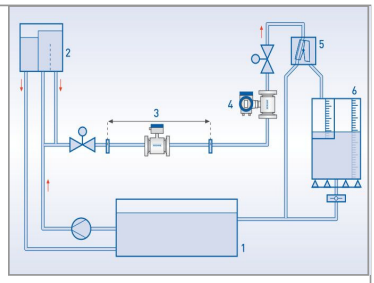
Allgemeines über Durchflussmessung



1. Einleitung
2. Gravimetrische Messanlagen
3. Diverter - Grundlagen
4. Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit
5. Auswertung
6. Ergebnisse
7. Laufende Messreihen

Gravimetrische Messanlagen

Ergebnis einer Kalibrierung:
Systematische Messabweichung des Prüflings und Standardmessunsicherheit der Messung



$$F_{\mathrm{Pr}} = \frac{V_{\mathrm{Pr.ist}} - V_{\mathrm{Pr.soll}}}{V_{\mathrm{Pr.soll}}} = \frac{\dfrac{I_{\mathrm{Pr}}}{I_{\mathrm{Wert.Pr}}}}{\dfrac{I_{\mathrm{MID/Pr}}}{I_{\mathrm{Wert.Pr}}} \cdot \dfrac{V_{\mathrm{MID.soll}}}{\left(\dfrac{I_{\mathrm{MID}}}{I_{\mathrm{Wert.MID}}}\right)} \cdot \dfrac{\rho_{\mathrm{W.MID}}}{\rho_{\mathrm{W.Pr}}} + \Delta V_{\mathrm{L1}} + \Delta} - 1$$

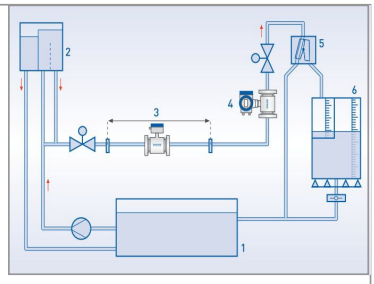
$$V_{\mathrm{MID.soll}} = \frac{W_{\mathrm{korr}} \cdot \left(1 - \dfrac{\rho_{\mathrm{RI}}}{\rho_{\mathrm{N}}}\right) - V_0\left(\left\{\left(\dfrac{p}{p_0} - \dfrac{f_2 \cdot T_2 \cdot R_{\mathrm{D}}}{p_0}\right)\rho_0 \cdot \dfrac{T_0}{T_2} + f_2 - \left(\dfrac{p}{p_0} - \dfrac{f_1 \cdot T_1 \cdot R_{\mathrm{D}}}{p_0}\right)\rho_0 \cdot \dfrac{T_0}{T_1} + f_1\right\}\right)}{\left(1 - \dfrac{\left(\dfrac{p}{p_0} - \dfrac{f_2 \cdot T_2 \cdot R_{\mathrm{D}}}{p_0}\right)\rho_0 \cdot \dfrac{T_0}{T_2} + f_2}{\rho_{\mathrm{W2}}}\right) \cdot \rho_{\mathrm{W.MID}}} \left(1 - \frac{f_2}{\rho_{\mathrm{W2}}}\right) + \frac{V_0\left(f_2 - f_1\right) + W_{\mathrm{a}}}{\rho_{\mathrm{W.MID}}} + \Delta V_{\mathrm{R2}} + \Delta V_{\mathrm{L2}} + \Delta V_{\mathrm{U}}$$

Gravimetrische Messanlagen

Generelle Formel:

$$u_{\mathrm{c}}^{2}(y) = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \left(\frac{\partial f}{\partial x_{\mathrm{i}}}\right)^2 u^2(x_{\mathrm{i}})$$

Ergebnis für eine gravimetrische Messanlage:



$$u_{\mathrm{c}}^{2}(V_{\mathrm{MID.soll}}) =$$

$$\left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial W_{\mathrm{korr}}}\right)^2 u^2(W_{\mathrm{korr}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial V_0}\right)^2 u^2(V_0) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial T_1}\right)^2 u^2(T_1)$$

$$+ \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial \Delta V_{\mathrm{R2}}}\right)^2 u^2(\Delta V_{\mathrm{R2}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial \Delta V_{\mathrm{L2}}}\right)^2 u^2(\Delta V_{\mathrm{L2}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial \Delta V_{\mathrm{U}}}\right)^2 u^2(\Delta V_{\mathrm{U}})$$

$$+ \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial f_2}\right)^2 u^2(f_2) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial \rho_{\mathrm{W.MID}}}\right)^2 u^2(\rho_{\mathrm{W.MID}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial W_{\mathrm{a}}}\right)^2 u^2(W_{\mathrm{a}})$$

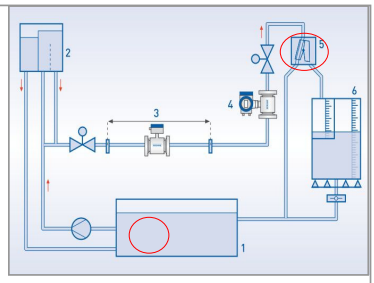
$$+ \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial T_2}\right)^2 u^2(T_2) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial p}\right)^2 u^2(p) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial \rho_{\mathrm{W2}}}\right)^2 u^2(\rho_{\mathrm{W2}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID.soll}}}{\partial f_1}\right)^2 u^2(f_1)$$

Gravimetrische Messanlagen

Einfluss der Eingangsgrößen auf das Ergebnis variiert.
Einige Einflussgrößen haben einen höheren Einfluss als andere.

Treibende Einflussgrößen sind:

- Zeitfehler
- Dichte des Mediums



$$u_c^2(V_{\mathrm{MID,soll}}) = \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial W_{\mathrm{korr}}}\right)^2 u^2(W_{\mathrm{korr}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial V_0}\right)^2 u^2(V_0) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial T_1}\right)^2 u^2(T_1) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial \Delta V_{\mathrm{R2}}}\right)^2 u^2(\Delta V_{\mathrm{R2}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial \Delta V_{\mathrm{L2}}}\right)^2 u^2(\Delta V_{\mathrm{L2}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial \Delta V_{\mathrm{U}}}\right)^2 u^2(\Delta V_{\mathrm{U}})$$

$$+ \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial f_2}\right)^2 u^2(f_2) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial \rho_{\mathrm{W,MID}}}\right)^2 u^2(\rho_{\mathrm{W,MID}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial W_{\mathrm{a}}}\right)^2 u^2(W_{\mathrm{a}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial T_2}\right)^2 u^2(T_2) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial p}\right)^2 u^2(p) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial \rho_{\mathrm{W2}}}\right)^2 u^2(\rho_{\mathrm{W2}}) + \left(\frac{\partial V_{\mathrm{MID,soll}}}{\partial f_1}\right)^2 u^2(f_1)$$

1. Einleitung
2. Gravimetrische Messanlagen
3. Diverter - Grundlagen
4. Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit
5. Auswertung
6. Ergebnisse
7. Laufende Messreihen

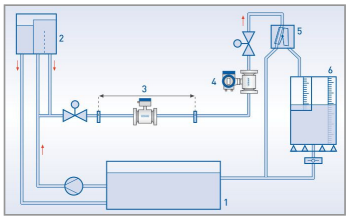
Diverter - Grundlagen

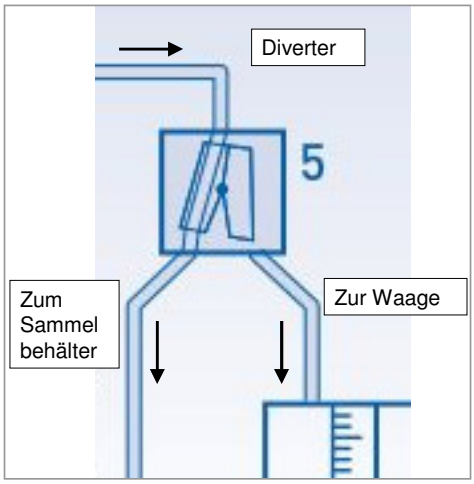
Funktion eines Diverters

1) **Umlenken** des Mediums in den Wägebehälter für die Zeit der Messung

2) **Kreuzen** des Flüssigkeitsstrahls während des Umschaltvorgangs

3) **Zeitstempel** für die Messung zum Wägesystem

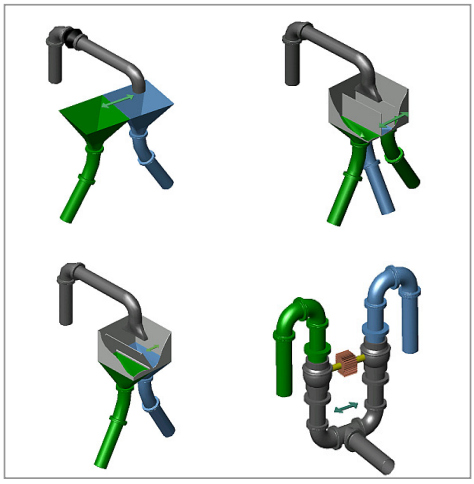




Diverter - Grundlagen

Einsatzbedingungen

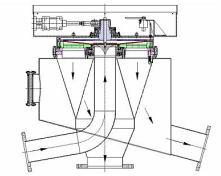
1. Konstruktionen
2. Schaltzeiten
3. Strömungsbedingungen
4. Volumenströme
5. Medien (Wasser, Öl, Wasser-Glykol)
6. Temperatur
7. Betriebsdruck
8. Unterschiedliche Anlagentechnik, Ventile, Regelung etc



Diverter - Grundlagen

Konstruktion

1. Schwenkrohr
2. Klappe
3. Behälter
   a) verfahrbar
   b) schwenkbar
4. Ventile
5. Schlitzplatte

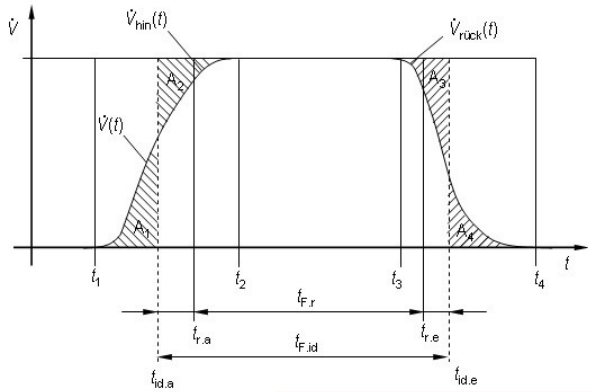


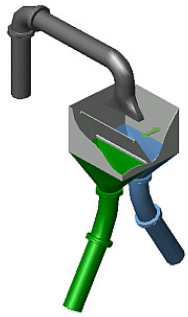
1. Einleitung
2. Gravimetrische Messanlagen
3. Diverter - Grundlagen
4. Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit
5. Auswertung
6. Ergebnisse
7. Laufende Messreihen

KROHNE

Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Phänomen und Messgrößen





Bestimmung von:

1) Systematische Messabweichung (Zeitfehler)
2) Zufällige Messabweichung (Messunsicherheit)

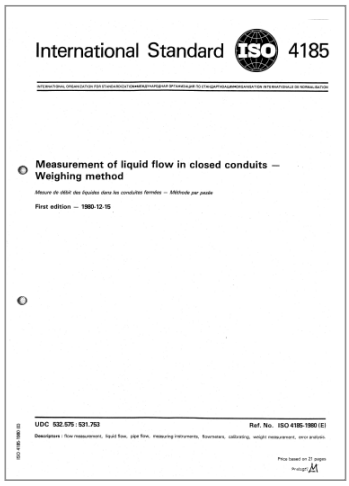
KROHNE

Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

International Standard ISO 4185
(DIN EN 24185)
Measurement of liquid flow in closed conduits - Weighing method
First Edition 1980

Methode 1:
Graphische Bestimmung des Zeitfehlers

Methode 2:
Rechnerische Bestimmung des Zeitfehlers



International Standard ISO 4185

Measurement of liquid flow in closed conduits — Weighing method

Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées — Méthode par pesée

First edition — 1980-12-15

UDC 532.575 : 531.753 Ref. No. ISO 4185-1980 (E)

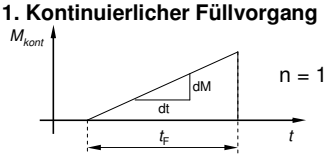
Descriptors : flow measurement, liquid flow, pipe flow, measuring instruments, flowmeters, calibrating, weight measurement, error analysis.

Price based on 21 pages

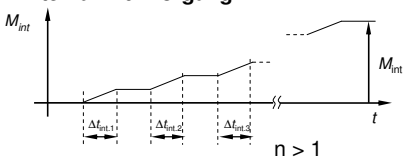
Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

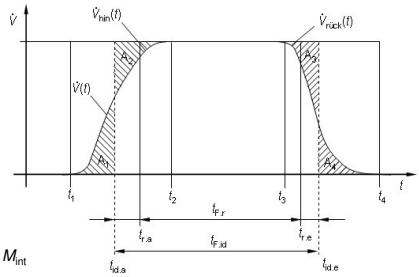
Methode 2 definiert zwei unterschiedliche Füllvorgänge für das Wägesystem mit unterschiedlichen Anzahlen von Umschaltungen (n)

1. Kontinuierlicher Füllvorgang



2. Intervall-Füllvorgang

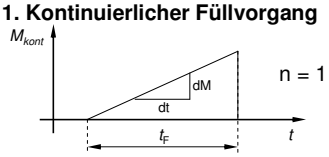




Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Methode 2 definiert zwei unterschiedliche Füllvorgänge für das Wägesystem mit unterschiedlichen Anzahlen von Umschaltungen (n)

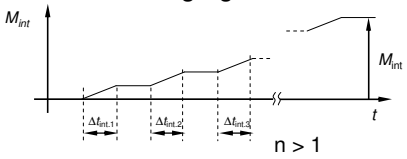
1. Kontinuierlicher Füllvorgang



Gleichung für Konti-Füllen

$$\dot{V}_{kont} = \frac{m_{kont}}{\rho_{kont}\,(t_{kont} + \Delta t)}$$

2. Intervall-Füllvorgang



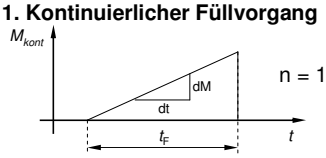
Gleichung für Intervall-Füllen

$$\dot{V}_{int} = \frac{m_{int}}{\rho_{int}\,(t_{int} + n\,\Delta t)}$$

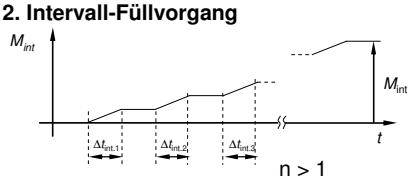
Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Methode 2 definiert zwei unterschiedliche Füllvorgänge für das Wägesystem mit unterschiedlichen Anzahlen von Umschaltungen (n)

1. Kontinuierlicher Füllvorgang



2. Intervall-Füllvorgang



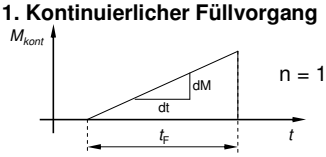
Gleichung für die Berechnung des Zeitfehlers

$$\Delta t = \frac{M_{kont} \cdot t_{int} - M_{int} \cdot t_{kont} \frac{\dot{V}_{kont}}{\dot{V}_{int}} \cdot \frac{\rho_{kont}}{\rho_{int}}}{M_{int} \cdot \frac{\dot{V}_{kont}}{\dot{V}_{int}} \cdot \frac{\rho_{kont}}{\rho_{int}} - M_{kont} \cdot n}$$

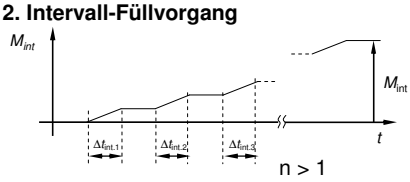
Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Methode 2 definiert zwei unterschiedliche Füllvorgänge für das Wägesystem mit unterschiedlichen Anzahlen von Umschaltungen (n)

1. Kontinuierlicher Füllvorgang



2. Intervall-Füllvorgang



<u>Undefiniert bleibt</u>:

-Reihenfolge der Messungen

-Bestimmung der Messunsicherheit

-Anzahl der Umschaltungen

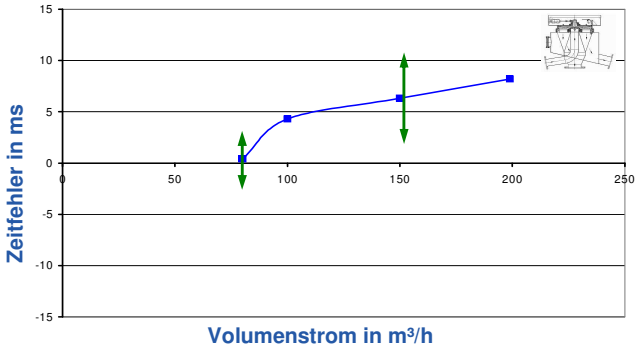
-Weitere Einflussgrößen

Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Feststellung verschiedener Phänomene während der Messungen:

1) **Zeitfehler = f (Durchfluss)**

2a) **Unsicherheit des Zeitfehlers = f (Durchfluss)**



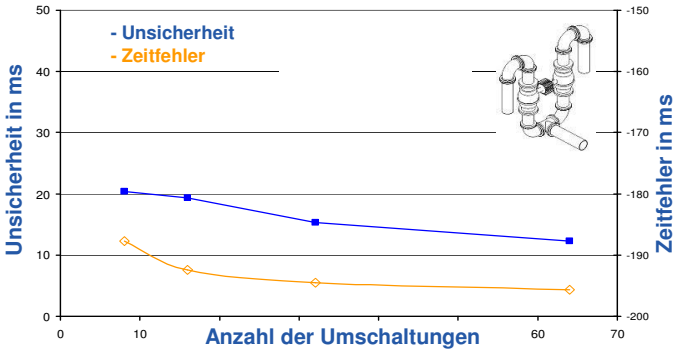
Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Feststellung verschiedener Phänomene während der Messungen:

1) **Zeitfehler = f (Durchfluss)**

2a) **Unsicherheit des Zeitfehlers = f (Durchfluss)**

2b) **Unsicherheit des Zeitfehlers = f (Anzahl der Umschaltungen)**



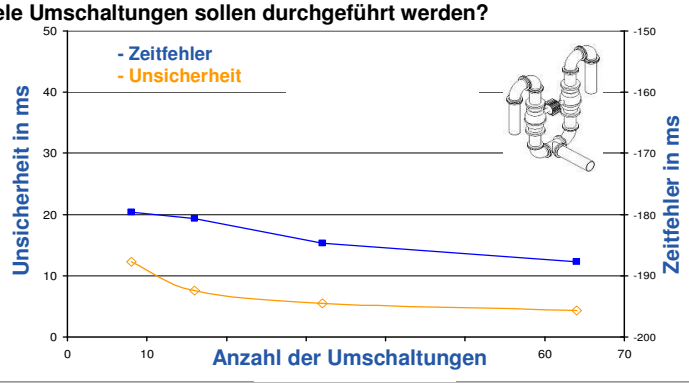
Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Offene Fragen:

-Bei welchem Durchfluss soll der Zeitfehler bestimmt werden?

-Bei welchem Durchfluss soll die Messunsicherheit bestimmt werden?

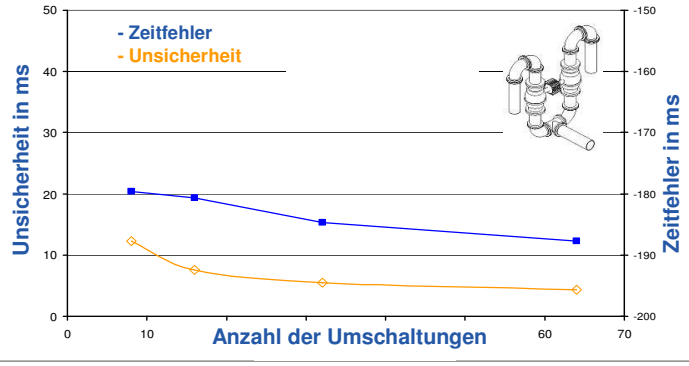
-Wie viele Umschaltungen sollen durchgeführt werden?



Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit

Ziel:

Festlegung eines einheitlichen, vergleichbaren und reproduzierbaren Verfahrens zur Bestimmung des Zeitfehlers und dessen Messunsicherheit.

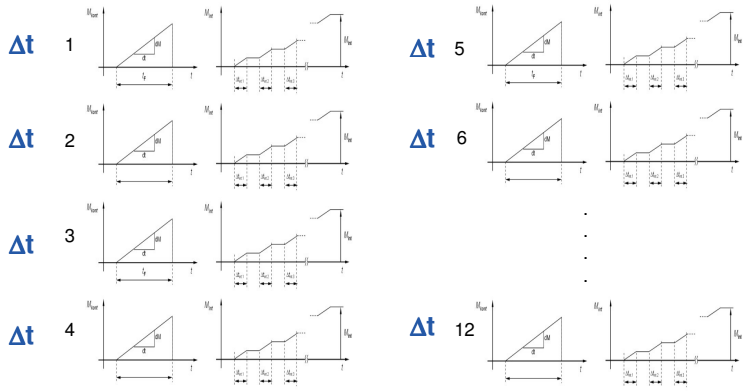


1. Einleitung
2. Gravimetrische Messanlagen
3. Diverter - Grundlagen
4. Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit
5. Auswertung
6. Ergebnisse
7. Laufende Messreihen

Auswertung

Definierte Reihenfolge der Messungen

- Bestimmung von 10 (12) Zeitfehlern, d.h. 20 (24) Messungen
- Abwechselnd Konti-Füllen und Intervall-Füllen



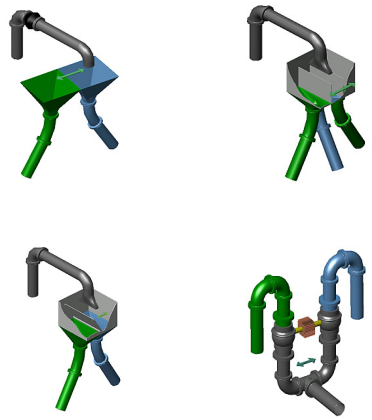
Auswertung

Umschaltanzahl

Bestimmung der für die jeweilige Messanlage maximal möglichen Anzahl von Umschaltungen

$$n_{\max} = \frac{V_{\max}}{\dot{V} \cdot \Delta t_{\text{int.min}}}$$

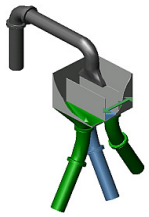
Gleichung für die Bestimmung der maximal möglichen Umschaltungen



Auswertung

Zeitfehler und Messunsicherheit

Bestimmung des Zeitfehlers bei definierten Durchflüssen mit der für die jeweilige Messanlage maximal möglichen Anzahl von Umschaltungen



$$\Delta t = \sum_{i=j=1}^{m} \Delta t_{ij} + \min \sum_{i=1}^{z} \left(\frac{a}{\sqrt{\sum_{j=1}^{m} \frac{\left(\Delta t_{ij} - \overline{\Delta t_{ij}}\right)^2}{m-1}}} - u\left(\Delta t_{ZM}\right) \right)^2$$

$$\Delta t = \Delta t_{\text{DM.n.max}} \pm u(\Delta t_{\text{ZM.n=10}})$$

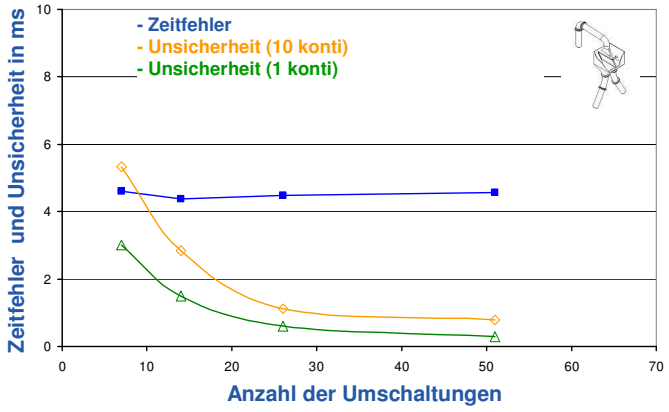
Ergebnis für Zeitfehler und Unsicherheit

KROHNE

Auswertung

Besonderheiten 1

Streuung der Messanlage beeinflusst das Ergebnis

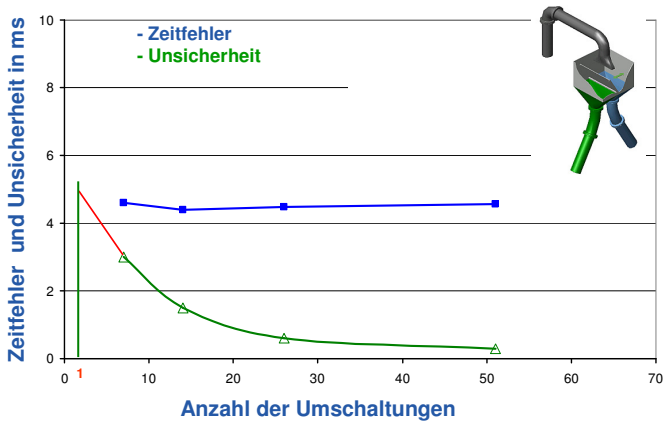


KROHNE

Auswertung

Besonderheiten 2

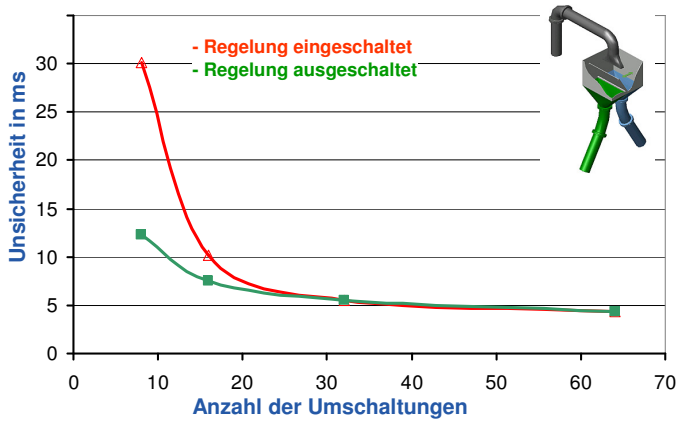
Eine Kalibrierung beinhaltet einen Umschaltvorgang



Auswertung

Besonderheiten 3

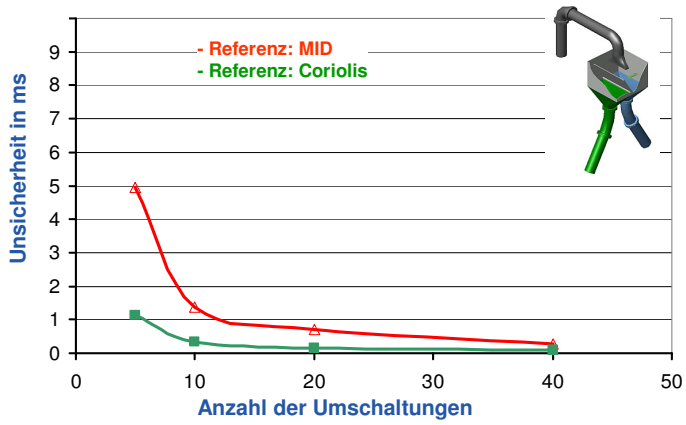
Einfluss der Durchflussregelung auf die Messunsicherheit



Auswertung

Besonderheiten 3

Einfluss der Referenz-Durchflussmessgerätes auf die Messunsicherheit



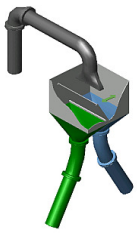
1. Einleitung
2. Gravimetrische Messanlagen
3. Diverter - Grundlagen
4. Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit
5. Auswertung
6. Ergebnisse
7. Laufende Messreihen

Ergebnisse

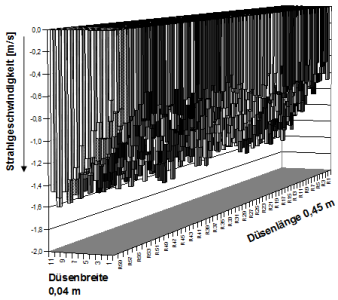
Verfahrensvergleich

Vergleich von 5 möglichen Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheit

1. Messtechnisch
2. Modellbasiert 1
3. Modellbasiert 2
4. Mathematisch
5. Abschätzung



$$\Delta t = \frac{M_{kont} \cdot t_{int} - M_{int} \cdot t_{kont} \frac{\dot{V}_{kont}}{\dot{V}_{int}} \cdot \frac{\rho_{kont}}{\rho_{int}}}{M_{int} \cdot \frac{\dot{V}_{kont}}{\dot{V}_{int}} \cdot \frac{\rho_{kont}}{\rho_{int}} - M_{kont} \cdot n}$$



$$u_c^2(\Delta t) = \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial m_{kont}}\right)^2 u^2(m_{kont}) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial m_{int}}\right)^2 u^2(m_{int}) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_{kont}}\right)^2 u^2(t_{kont}) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial t_{int}}\right)^2 u^2(t_{int})$$
$$+ \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial \dot{V}_{kont}}\right)^2 u^2(V_{kont}) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial \dot{V}_{int}}\right)^2 u^2(V_{int}) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial \rho_{kont}}\right)^2 u^2(\rho_{kont}) + \left(\frac{\partial \Delta t}{\partial \rho_{int}}\right)^2 u^2(\rho_{int})$$

KROHNE

Ergebnisse

Verfahrensvergleich

Vergleich von 5 möglichen Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheit

Verfahren	Unsicherheit in ms	Bemerkung
Messtechnisch	4,4	Angabe für n = 10
Modellbasiert 1	4,5	Durchflussschwankungen werden vernachlässigt
Modellbasiert 2	12,0	Durchflussschwankungen werden vernachlässigt
Mathematisch	4,8	Angabe für n = 10
Abschätzung	25,0	Maximale Strahldurchtrittszeit

technisches messen, Mai 2010, zusammen mit PTB, Braunschweig

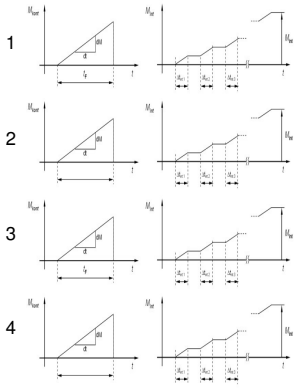
10 Wiederholungen
10 Umschaltungen

KROHNE

Ergebnisse

Software zur Auswertung

Erstellung einer n x n – Matrix:



$$(\Delta t_{ij}) = \begin{pmatrix} \Delta t_{11} & \Delta t_{12} & \cdots & \Delta t_{1m} \\ \Delta t_{21} & \Delta t_{22} & \cdots & \Delta t_{2m} \\ \Delta t_{w3} & \Delta t_{w2} & \cdots & \Delta t_{wm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta t_{m1} & \Delta t_{m2} & \cdots & \Delta t_{mm} \end{pmatrix}$$

$$\Delta t = \frac{M_{kont} \cdot t_{int} - M_{int} \cdot t_{kont} \frac{\dot{V}_{kont}}{\dot{V}_{int}} \cdot \frac{\rho_{kont}}{\rho_{int}}}{M_{int} \cdot \frac{\dot{V}_{kont}}{\dot{V}_{int}} \cdot \frac{\rho_{kont}}{\rho_{int}} - M_{kont} \cdot n}$$

Ergebnisse

Software zur Auswertung

Ergebnis von einer Messreihe mit 20 Umschaltungen

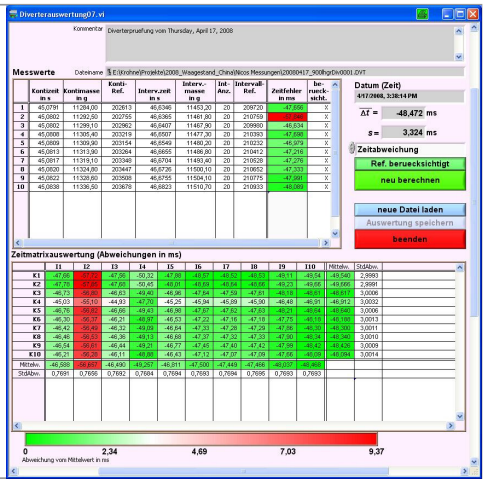
$$(\Delta t_{ij}) = \begin{pmatrix} \Delta t_{11} & \Delta t_{12} & \cdots & \Delta t_{1m} \\ \Delta t_{21} & \Delta t_{22} & \cdots & \Delta t_{2m} \\ \Delta t_{w3} & \Delta t_{w2} & \cdots & \Delta t_{wm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta t_{m1} & \Delta t_{m2} & \cdots & \Delta t_{mm} \end{pmatrix}$$

Ergebnisse

Software zur Auswertung

Ergebnis von einer Messreihe mit 20 Umschaltungen

$$(\Delta t_{ij}) = \begin{pmatrix} \Delta t_{11} & \Delta t_{12} & \cdots & \Delta t_{1m} \\ \Delta t_{21} & \Delta t_{22} & \cdots & \Delta t_{2m} \\ \Delta t_{w3} & \Delta t_{w2} & \cdots & \Delta t_{wm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta t_{m1} & \Delta t_{m2} & \cdots & \Delta t_{mm} \end{pmatrix}$$



KROHNE

Ergebnisse

Software zur Auswertung

Ergebnis von einer Messreihe mit 20 Umschaltungen

$$(\Delta t_{ij}) = \begin{pmatrix} \Delta t_{11} & \Delta t_{12} & \cdots & \Delta t_{1m} \\ \Delta t_{21} & \Delta t_{22} & \cdots & \Delta t_{2m} \\ \Delta t_{w3} & \Delta t_{w2} & \cdots & \Delta t_{wm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta t_{m1} & \Delta t_{m2} & \cdots & \Delta t_{mm} \end{pmatrix}$$

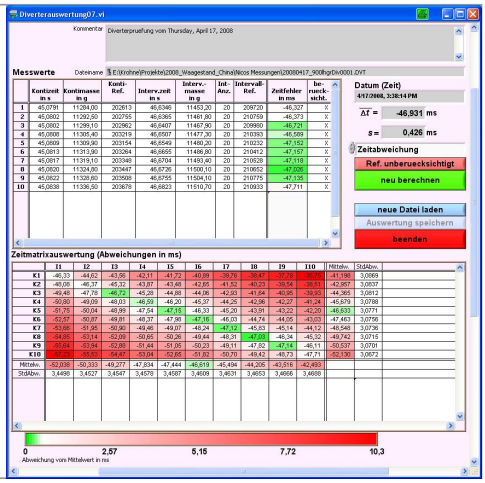
KROHNE

Ergebnisse

Software zur Auswertung

Ergebnis von einer Messreihe mit 20 Umschaltungen

$$(\Delta t_{ij}) = \begin{pmatrix} \Delta t_{11} & \Delta t_{12} & \cdots & \Delta t_{1m} \\ \Delta t_{21} & \Delta t_{22} & \cdots & \Delta t_{2m} \\ \Delta t_{w3} & \Delta t_{w2} & \cdots & \Delta t_{wm} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta t_{m1} & \Delta t_{m2} & \cdots & \Delta t_{mm} \end{pmatrix}$$



1. Einleitung
2. Gravimetrische Messanlagen
3. Diverter - Grundlagen
4. Diverter - Zeitfehler und Unsicherheit
5. Auswertung
6. Ergebnisse
7. Laufende Messreihen

Laufende Messreihen

Bestimmung des Zeitfehlers und dessen Unsicherheit bei gravimetrischen Messanlagen mit unterschiedlichen Anlagenparametern:

Versuchsbedingungen

-Referenzen: MID, Turbine, Coriolis

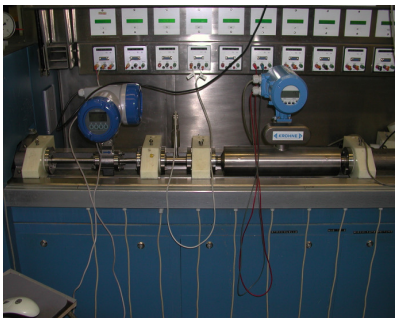
-Signal: Pulsausgang

-12 Wiederholmessungen

-5, 10, 15, 20 Umschaltungen

-Durchflüsse: 1600 l/h, 1000 l/h, 500 l/h

-Aufnahme der Fehlerkurven



KROHNE

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!