

## Durchflussmessung

### Der Weg zum Messunsicherheitsmodell

**Berlin**

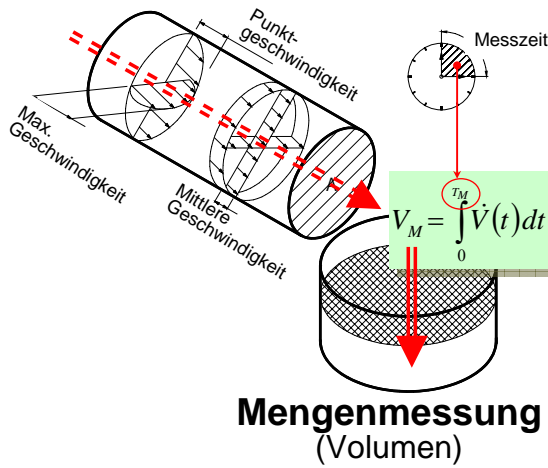
19. März 2013

**Rainer Engel**

Leiter der Arbeitsgruppe "Rückführung Flüssigkeitsmessungen"  
PTB Braunschweig

- **Messgrößen** in der Durchflussmessung
- Messtechnische **Rückführung**
- **Kalibriermessverfahren**
- **Modellbildung**

Volumenstrom



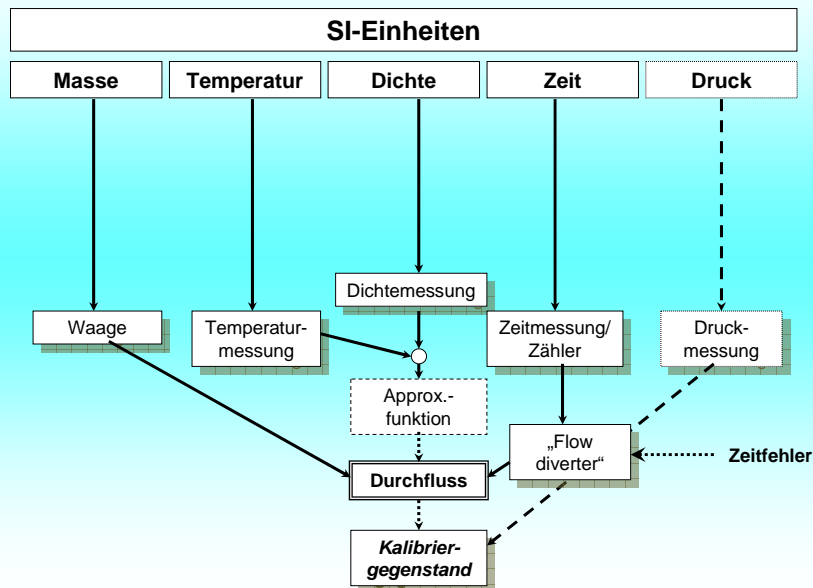
Messgrößen:

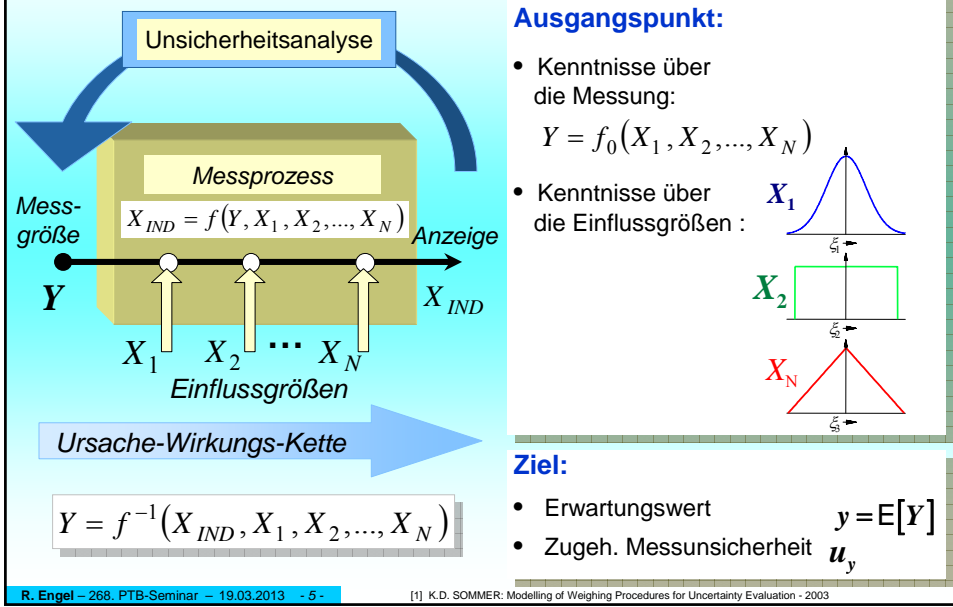
- 1) Volumenstrom
- 2) Volumen (strömender Flüssigkeiten)
- 3) Massestrom
- 4) Masse (strömender Flüss.)

Randbedingungen:

- Geschwindigkeitsprofil
- Mengemessung (Wägung)
- Zeitmessung
- Bestimmung der Dichte
- Konst. Prozessgrößen:
  - Volumenstrom
  - Druck
  - Temperatur

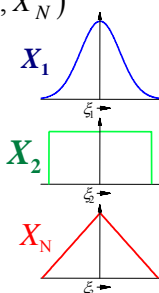
Messgrößen in der Durchflussmessung





**Ausgangspunkt:**

- Kenntnisse über die Messung:  
 $Y = f_0(X_1, X_2, \dots, X_N)$

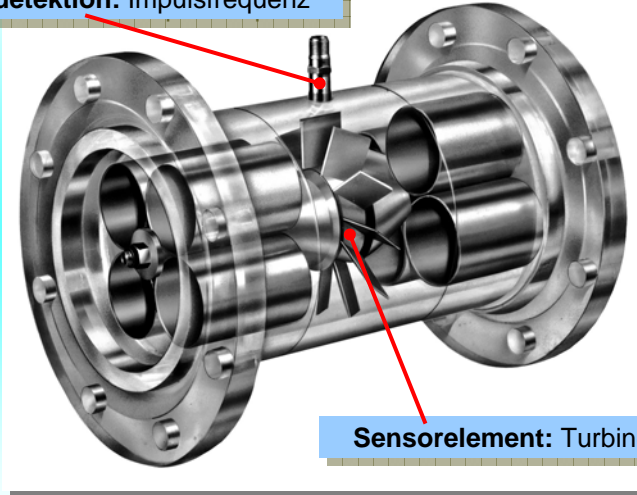


- Kenntnisse über die Einflussgrößen :

**Ziel:**

- Erwartungswert  $y = E[Y]$
- Zugeh. Messunsicherheit  $u_y$

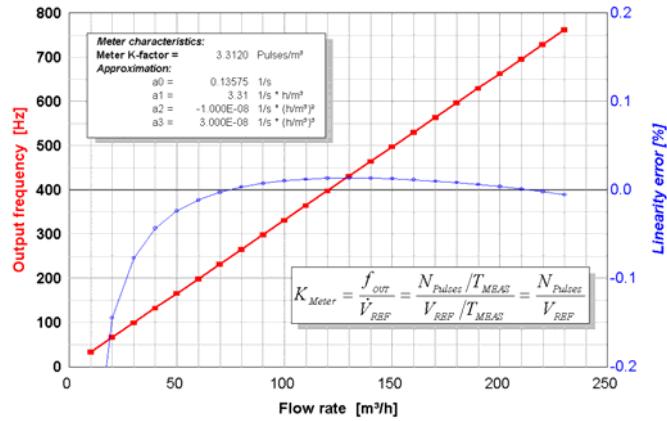
Signaldetektion: Impulsfrequenz



Sensorelement: Turbinenlaufrad

Beispiel: Messturbine (Cameron International Corp. Houston, USA)

Flowmeter characteristics:  
Output frequency vs. Flow rate



Statische Gerätecharakteristik: K-Faktor als Funktion des Volumenstroms

- Durchfluss-Normalmesseinrichtung (Darstellung der Einheiten):

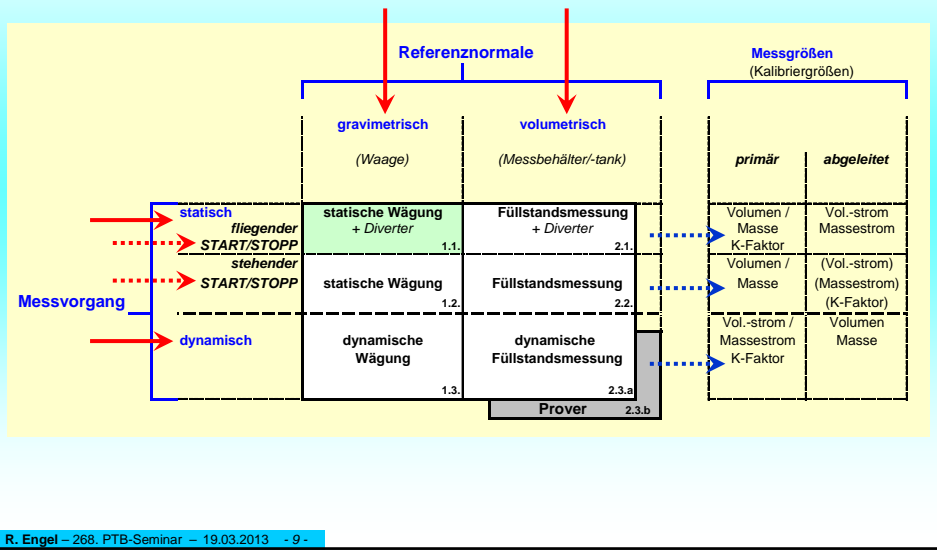
- Volumendurchfluss:	$\dot{V}$	Volumen:	$V_M = \int_0^{T_M} \dot{V}(t) dt$
- Massedurchfluss	$\dot{m}$	- Masse:	$m_M = \int_0^{T_M} \dot{m}(t) dt$

- Kalibriereinrichtung (auch: Prüfstand):

(Geräte-) K-Faktor:	$K_{Meter} = \frac{f_{Meter}}{\dot{V}_{REF}} = \frac{N_{Pulses} / T_{MEAS}}{V_{REF} / T_{MEAS}}$
- Messabweichung:	$\frac{\Delta V}{V_{REF}} = \frac{V_{MUT}(T_{MEAS}) - V_{REF}}{V_{REF}}$

Modellgleichung des Messprozesses

**PTB** Grundprinzipien von Durchfluss-Normalmesseinrichtungen und Messgrößen



**PTB** Durchflussnormalmesseinrichtung: Messgrößen

- Volumenstrom:

$$\dot{m} = \frac{m_{REF}}{T_{MEAS}}$$

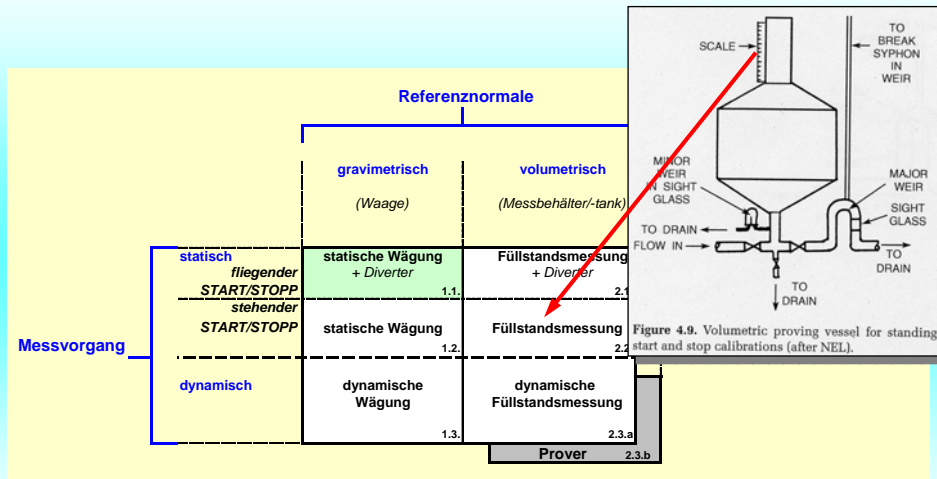
- Massestrom:

$$\dot{V} = \frac{V_{REF}}{T_{MEAS}} = \frac{m_{REF}}{\rho_{Water} \cdot T_{MEAS}}$$

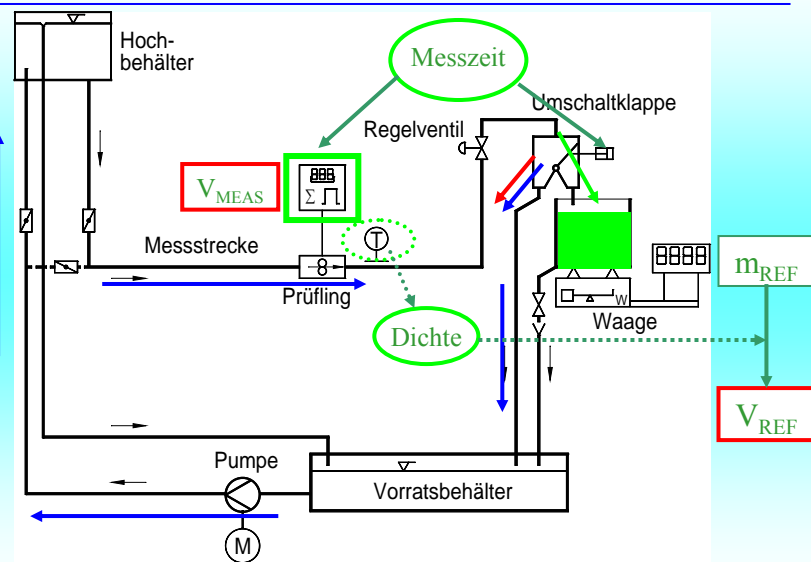
		(Waage)	(Messbehälter/-tank)
Messvorgang	statisch	statische Wägung + Diverter	
	fliegender START/STOPP	1.1	
	stehender START/STOPP	statische Wägung	
		1.2	
	dynamisch	dynamische Wägung	
		1.3	

**Beispiel: Gravimetrisches Normal**

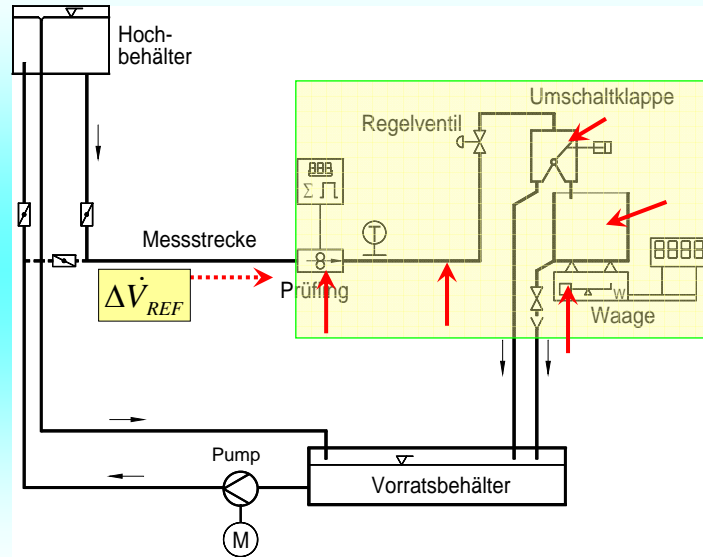
R. Engel – 268. PTB-Seminar – 19.03.2013 - 10 -



Beispiel: *Volumetrisches Normal*



## PTB Funktionsprinzip: Gravimetrische Kalibriereinrichtung



Messunsicherheit: **Einflussfaktoren**

R. Engel – 268. PTB-Seminar – 19.03.2013 – 13 -

## PTB Modellgleichung des Messprozesses: K-Faktor

(Geräte-) **K-Faktor** (Impulszählung):

$$K_{\text{Meter}} = \frac{f_{\text{Output}}}{\dot{V}_{\text{REF}}}$$

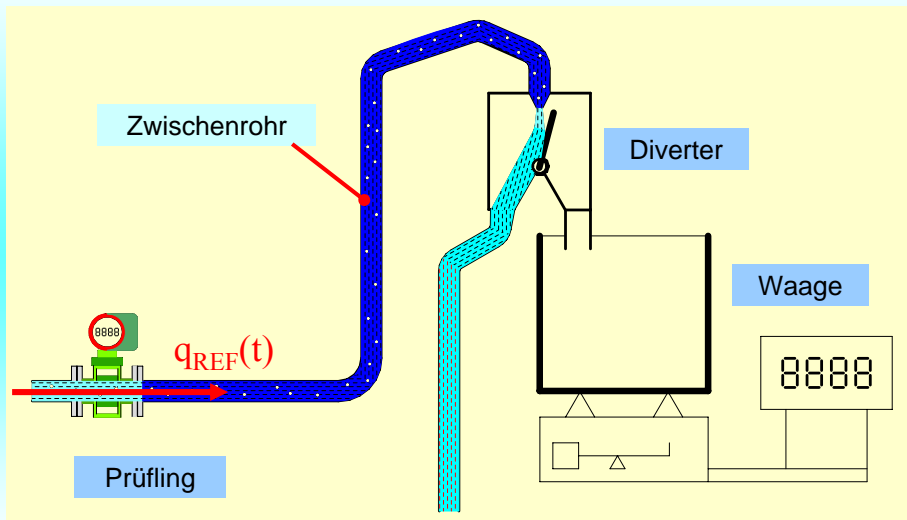
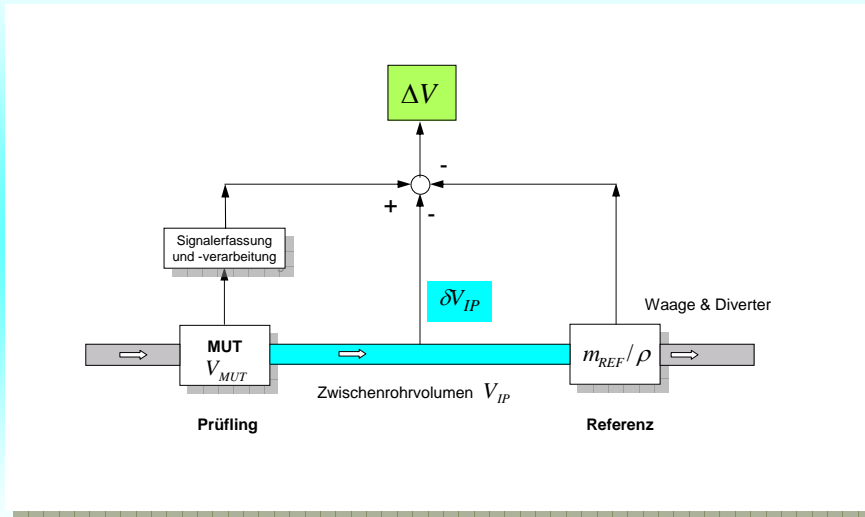
Standardunsicherheit:

$$u_{K\_meter}^2 = \left( \frac{\partial K_{\text{Meter}}}{\partial f_{\text{Output}}} u_f \right)^2 + \left( \frac{\partial K_{\text{Meter}}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{\partial \dot{V}}{\partial m} u_m \right)^2 + \left( \frac{\partial K_{\text{Meter}}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{\partial \dot{V}}{\partial \rho_{\text{Water}}} u_\rho \right)^2 + \left( \frac{\partial K_{\text{Meter}}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{\partial \dot{V}}{\partial (\Delta V_{IP})} u_{\Delta V} \right)^2 + \left( \frac{\partial K_{\text{Meter}}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{\partial \dot{V}}{\partial (\Delta V_{T\_Error})} u_{T\_Error} \right)^2 + \left( \frac{\partial K_{\text{Meter}}}{\partial \dot{V}} \cdot \frac{\partial \dot{V}}{\partial T_{\text{MEAS}}} u_T \right)^2$$

Relative Standardunsicherheit

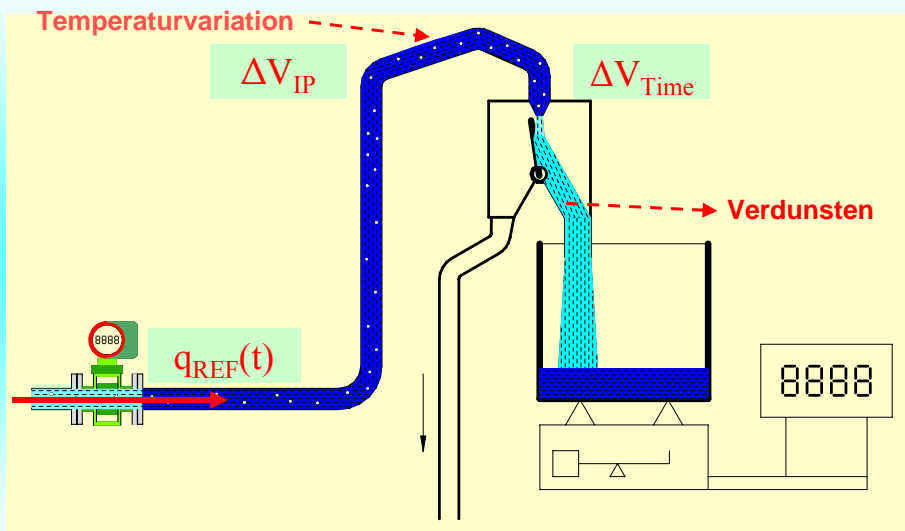
$$\left( \frac{u_{K\_Meter}}{K_{\text{Meter}}} \right)^2 = \left( \frac{u_f}{f_{\text{Output}}} \right)^2 + \left( \frac{u_m}{m} \right)^2 + \left( \frac{u_\rho}{\rho_{\text{Water}}} \right)^2 + \left( \frac{u_{\Delta V}}{V_0} \right)^2 + \left( \frac{u_{T\_Error}}{V_0} \right)^2 + \left( \frac{u_T}{T_{\text{MEAS}}} \right)^2$$

R. Engel – 268. PTB-Seminar – 19.03.2013 – 14 -

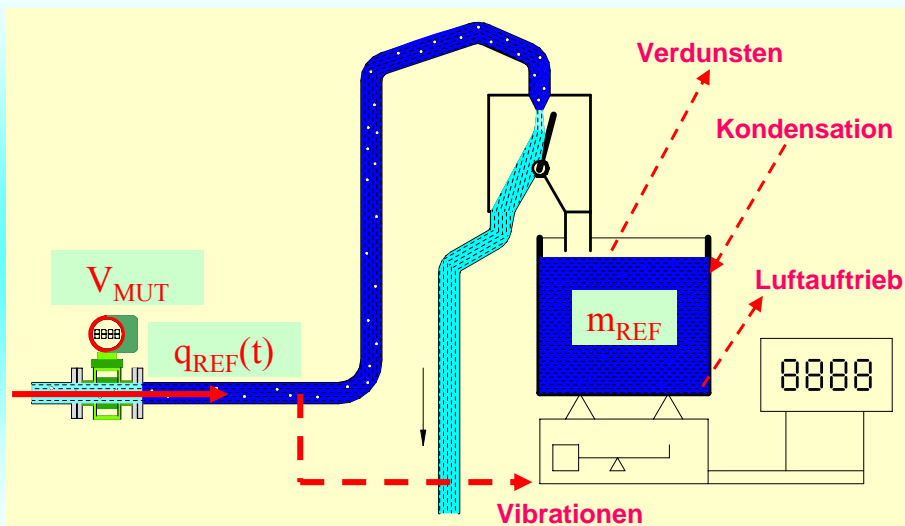


Messprinzip: Statische Wägung mit fliegendem Start-Stop





Einflussfaktoren während des Einströmens in den Wägebehälter



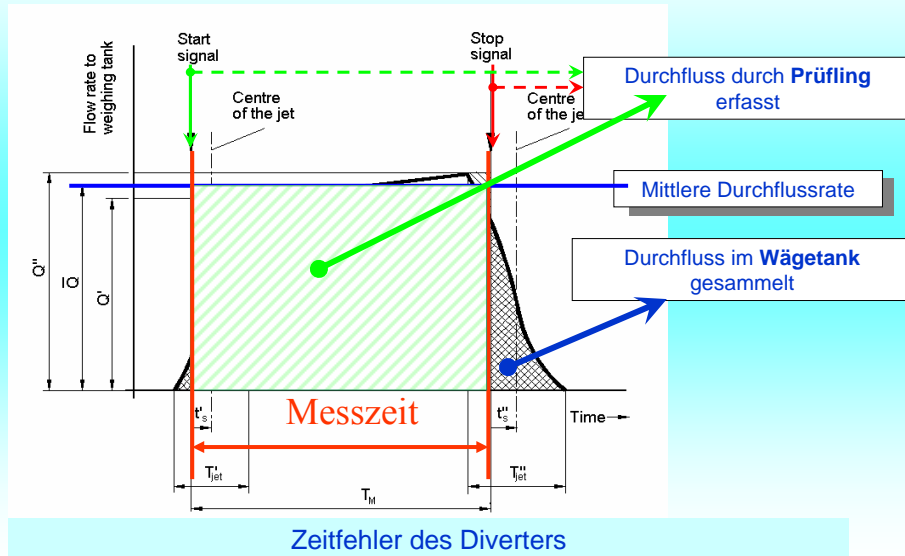
Einflussfaktoren während des Wägeprozesses

- Wägesystem: Messprozess

Masse des in den Wägebehälter eingeleiteten Wassers  $m_{Water}$  :

$$m_{Water} = W_{Water} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\rho_{Air, Meas}}{\rho_{Water}}} \left( 1 - \frac{\rho_{Air, Cal}}{\rho_{Cal\_weight}} \right) \cdot \frac{m_{Cal\_weight}}{W_{Cal\_weight}}$$

Reale Bedingungen des Betriebes: Variation des Volumenstroms



Geräte-K-Faktor (Impulszählung):

$$K_{Meter} = \frac{f_{Output}}{\dot{V}_{REF}}$$

Standardunsicher

$$u_{K_{meter}}^2 = \left( \frac{\partial K_{Meter}}{\partial f_{Output}} \right)^2 u_{f_{Output}}^2 + \left( \frac{\partial K_{Meter}}{\partial \dot{V}_{REF}} \right)^2 u_{\dot{V}_{REF}}^2$$

Relative Standard

$$\left( \frac{u_{K_{Meter}}}{K_{Meter}} \right)^2 = \left( \frac{u_f}{f_{Output}} \right)^2 + \left( \frac{u_m}{m} \right)^2 + \left( \frac{u_\rho}{\rho_{Water}} \right)^2 + \left( \frac{u_{\Delta V}}{V_0} \right)^2 + \left( \frac{u_{T_{Error}}}{V_0} \right)^2 + \left( \frac{u_T}{T_{MEAS}} \right)^2$$

**Durchfluss-Umschalteneinrichtung (Diverter)**  
 Einzige Anlagenkomponente, deren Unsicherheitsbeiträge nicht durch Ursache-Wirkungs-Beziehungen darstellbar sind, sondern durch einen summarischen Effekt „Zeitfehler“ beschrieben werden, basierend auf dem **ISO-Standard 4185**:

$$\frac{\Delta T_{Error}}{T_M} = \frac{1}{n-1} \cdot \left[ \frac{q}{\bar{q}_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^N \Delta m_i / \sum_{i=1}^N t_i}{m_0/t_0} - 1 \right]$$

Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit.

Dr. Rainer Engel  
 Leiter der Arbeitsgruppe 1.53 "Rückführung Flüssigkeitsmessungen"  
 PTB Braunschweig  
 rainer.engel@ptb.de