Messunsicherheitsbetrachtungen am Hydrodynamischen Prüffeld

Gudrun Wendt, Rainer Engel

Fachbereich „Flüssigkeiten“

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig

Ausgangssituation

Frage 1:

Welche Anforderungen/Messunsicherheiten will ich realisieren?

Frage 2:

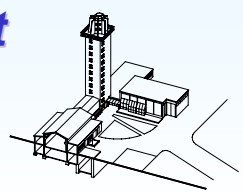
Wie muss ich eine Messanlage konzipieren und bauen, um die angestrebte Messunsicherheit zu erreichen?

Frage 3:

Wie mache ich die realisierten Parameter überprüfbar?

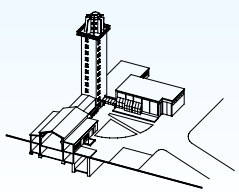
Drei Grundprinzipien/Prämissen:

- Anforderungen (Gesamtmessunsicherheit) an der „Praxis“ orientieren
- Messunsicherheiten auf die wichtigen Teilkomponenten aufteilen
- Wenn möglich, „Doppelauslegung“ wichtiger Elemente, um systematische Einflüsse zu erkennen und Messunsicherheit überprüfbar zu machen



Gliederung

1. Ableitung der grundlegenden messtechnischen Anforderungen
2. Allgemeiner Aufbau des Hydrodynamischen Prüffeldes
3. Messunsicherheitsbetrachtung
4. Umsetzung der Anforderungen im HDP
5. Derzeitiger Bearbeitungsstand und Ausblick



Rückführung der Flüssigkeitsmessung bisher

nur elementweise über Masse, Länge, Dichte, Zeit

Massenormal | Längennormale | Dichtenormal | Zeitnormale

Elementweise Rückführung

Wasserzähler-Prüfstände
U_{rel} = 0,2 ... 0,5 %

Prüf- und Kalibrierstände Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,05 ... 0,2 %

Bezugsnormale - Eichkolben - Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,05 ... 0,3 %

Staatlich anerkannte Prüfstellen, Hersteller, DKD, Eichbehörden

Direkter Vergleich

Direkter Vergleich

Wasserzähler
U_{rel} = 1 ... 5 %

Zähler/Messanlagen für Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,2 ... 1 %

Gebrauchsort

Geschlossenes System der Rückführung aller Flüssigkeitsmessungen

Nationales Normal
für Menge und Durchfluss
von strömenden Flüssigkeiten
Hydrodynamisches Prüffeld

U_{rel} = 0,02 %

PTB
FB 1.5

Masse-normale | Längen-normale | Dichte-normale | Zeit-normale

Elementweise Rückführung

Vergleich mittels Transferzähler

Direkter Vergleich

Wasserzähler-Prüfstände
U_{rel} = 0,2 ... 0,5 %

Prüf- und Kalibrierstände für Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,05 ... 0,2 %

Bezugsnormale/Zähler für Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,05 ... 0,3 %

Staatlich anerkannte Prüfstellen, Hersteller, DKD, Eichbehörden

Direkter Vergleich

Direkter Vergleich

Wasserzähler
U_{rel} = 2 ... 5 %

Flüssigkeitszähler für Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,2 ... 1 %

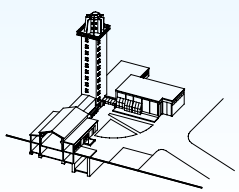
Gebrauchsort

Durchflussbereich

Eichordnung – AV: **Ausnahmen von der Eichpflicht Anhang A, Punkt 28:**

Messgeräte im geschäftlichen Verkehr über Versorgungsleitungen zwischen gleichbleibenden Partnern für Wasser mit maximalem Durchfluss von mindestens 2 000 m^3/h

➡ **Q_{max} des HDP ≥ 2 000 m^3/h**



Messunsicherheit

Wasserzähler:
Eichordnung, EWG-Richtlinie, MID, CEN 14 154, OIML R49:

Fehlergrenzen ± 2 % für Kaltwasserzähler
± 3 % für Warmwasserzähler

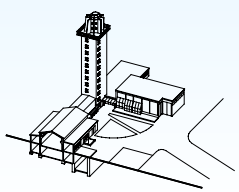
(ggf. gemäß R49 auch ± 1 % für Wasserzähler mit $Q_n \geq 100\ m^3/h$)

Messanlagen für Flüssigkeiten außer Wasser:
Eichordnung, EWG-Richtlinie, MID, OIML R117:

Fehlergrenzen ± 0,3 % für Pipeline-Messsysteme
± 0,2 % für Pipeline-Zähler

Durchflussmessgeräte für Prozesssteuerung, -automatisierung und -kontrolle:

Erweiterte Messunsicherheit ≤ 0,1 %



Resultierende Anforderungen an die Normale

	MPE	Prüfstände für die Eichung	Prüfstände für Zulassungs-prüfungen
Zähler	**0,2 %**	**0,06 %**	**0,04 %**
Messsystem	**0,3 %**	**0,1 %**	**0,06 %**

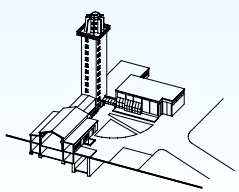
Gesetzliche Anforderungen (z.B. R117)

	Erweiterte Messunsicherheit	Kalibriereinrichtungen (DKD)
Durchflussmessgerät im Einsatz	**≤ 0,1 %**	**0,05 – 0,03 %**

Anforderungen aus der Industrie (z.B. über DKD)

➡ ***Erweiterte Messunsicherheit des HDP ≤ 0,02%***

➡ ***für Flüssigkeiten außer Wasser***



Geschlossenes System der Rückführung aller Flüssigkeitsmessungen

Nationales Normal
für Menge und Durchfluss
von strömenden Flüssigkeiten
Hydrodynamisches Prüffeld

U_{rel} = 0,02 %

PTB
FB 1.5

Masse-normale | Längen-normale | Dichte-normale | Zeit-normale

Elementweise Rückführung

Vergleich mittels Transferzähler

Direkter Vergleich

Wasserzähler-Prüfstände
U_{rel} = 0,2 ... 0,5 %

Prüf- und Kalibrierstände für Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,05 ... 0,2 %

Bezugsnormale/Zähler für Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,05 ... 0,3 %

Staatlich anerkannte Prüfstellen, Hersteller, DKD, Eichbehörden

Direkter Vergleich

Direkter Vergleich

Wasserzähler
U_{rel} = 2 ... 5 %

Flüssigkeitszähler für Flüss. außer Wasser
U_{rel} = 0,2 ... 1 %

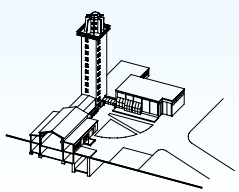
Gebrauchsort

Das Hydrodynamische Prüffeld der PTB –

Mengen- und Durchflussnormal für Flüssigkeiten im Bereich bis 2 100 m^3/h

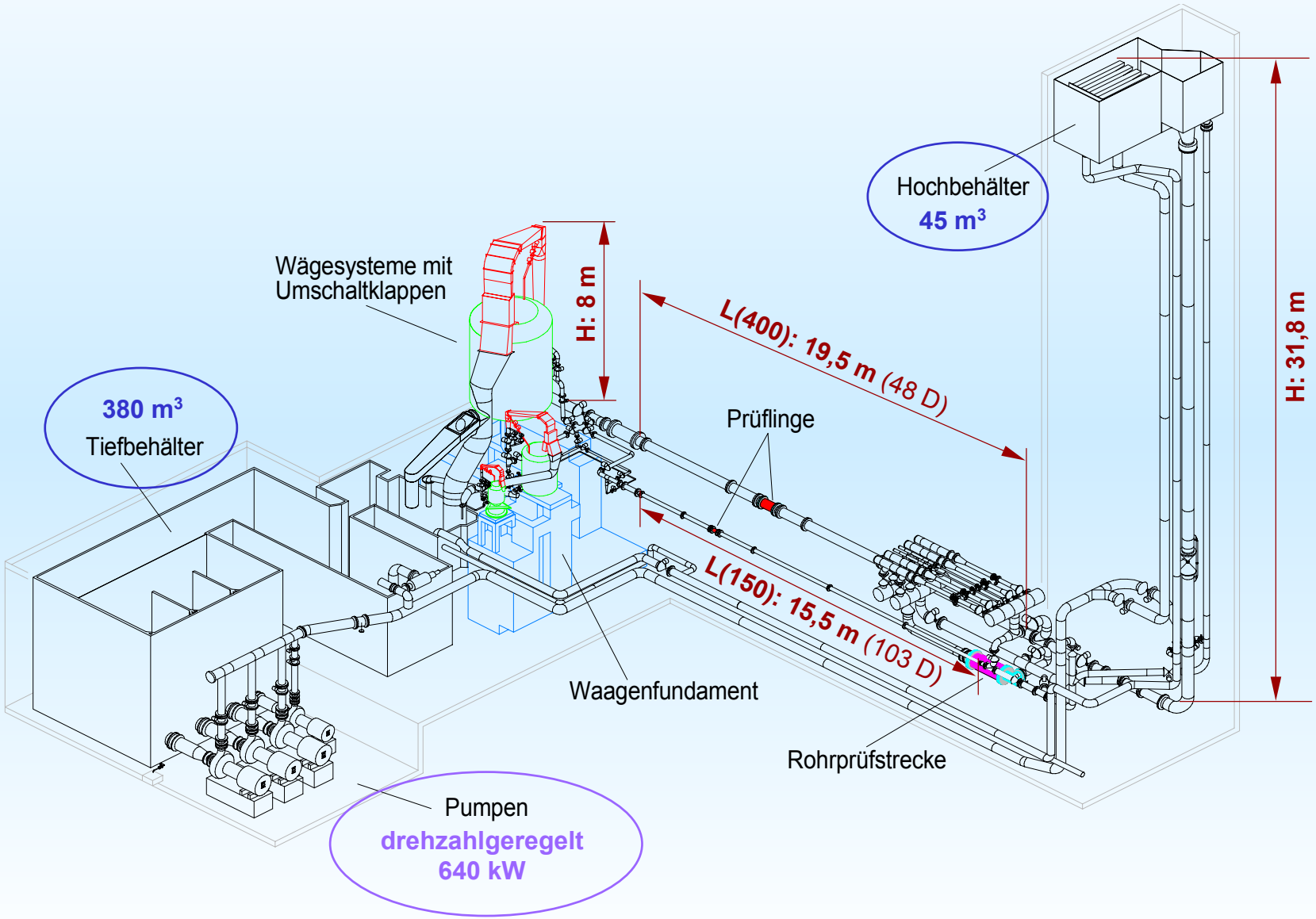
Grundaufbau

Wichtigste Parameter



2. Allgemeiner Aufbau des HDP (1)

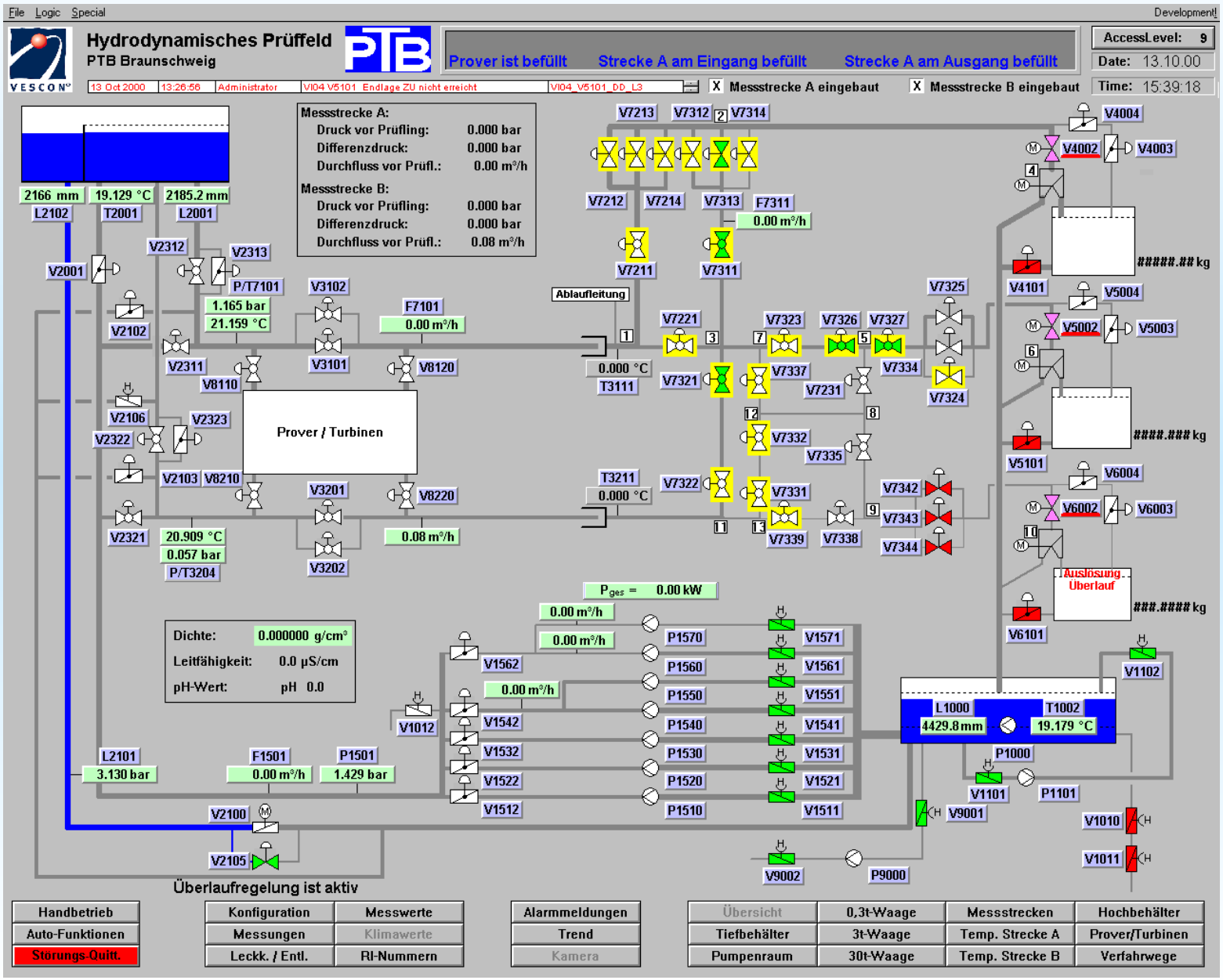
2. Allgemeiner Aufbau des HDP – Schematische Übersicht



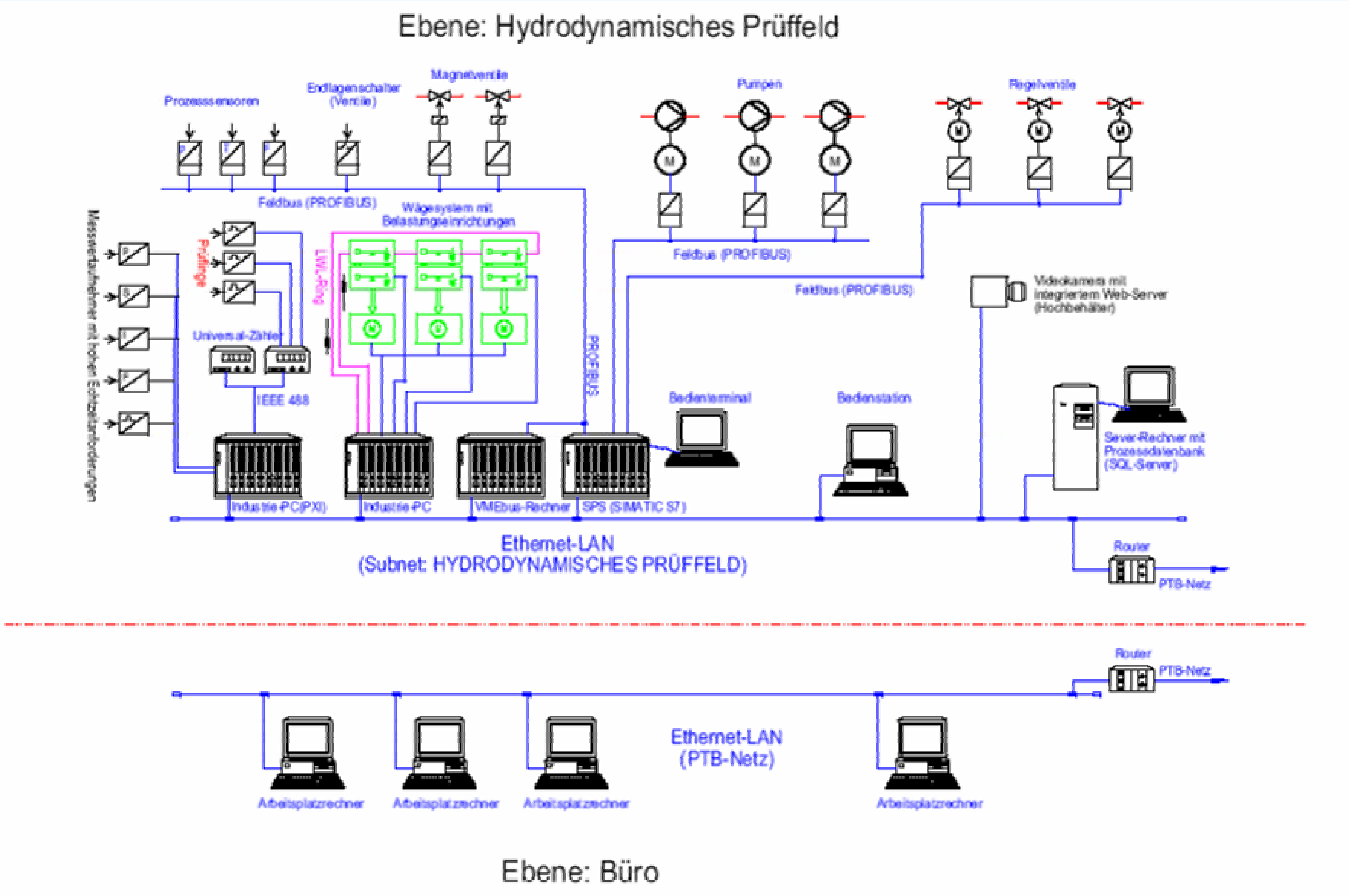
2. Allgemeiner Aufbau des HDP – Wichtigste Parameter

Messgrößen	Volumendurchfluss Massedurchfluss Volumen Masse	Durchflussmessgeräte und Volumen- bzw. Massezähler
Messarten	a) Fliegender START/STOPP b) Stehender START/STOPP	Steuerung über Umschaltklappe Steuerung über AUF-ZU-Ventil
Bezugsnormale	Gravimetrische Messung Volumetrische Messung	Waagen: 30 t, 3 t, 300 kg Rohrprüfstrecke: 250 Liter
Betriebsarten	Betrieb mit Hochbehälter Pumpen-Direkt-Betrieb	Konstanter Druck in der Messstrecke (ca. 0,35 MPa) Variabler Druck in der Messstrecke (bis ca. 0,6 MPa)
Nennweiten	Messstrecke A Messstrecke B	DN 200 … DN 400 DN 20 … DN 150
Durchflussbereich	Messstrecke A Messstrecke B	3 m^3/h … 2 100 m^3/h 0,3 m^3/h … 320 m^3/h
Erweiterte Messunsicherheit	± 0,02 %	bei Betrieb mit Hochbehälter
Wiederhol-Standardabweichung	± 0,003 %	bei Betrieb mit Hochbehälter
Temperaturbereich	18 °C … 28 °C	
Temperaturkonstanz	± 0,05 °C ± 0,1 °C	während einer Messung während einer Messreihe

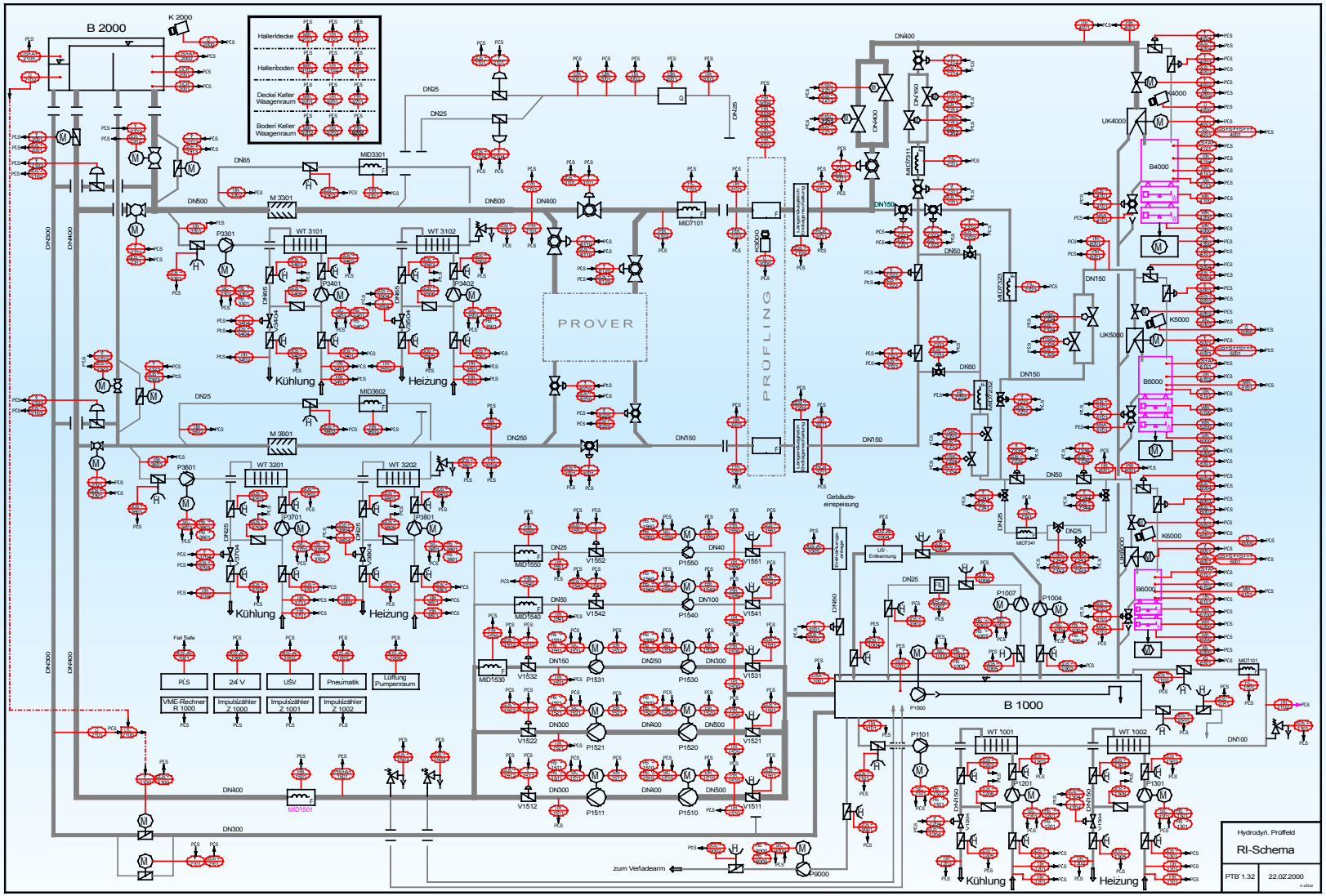
2. Allgemeiner Aufbau des HDP – Bildschirm-Layout



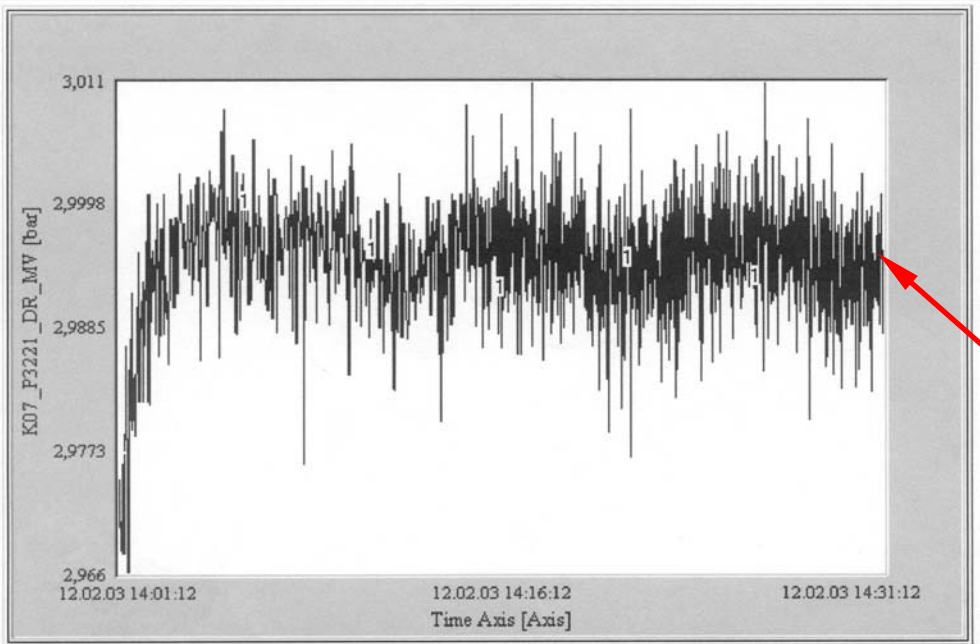
2. Allgemeiner Aufbau des HDP – IT-Infrastruktur



2. Allgemeiner Aufbau des HDP – RI-Schema



2. Allgemeiner Aufbau des HDP – Messwerterfassunng



TagName	Graph Scale	
K07_P3221_DR_MV (1)	Min: 2,966	Max: 3,011

Tag Information

Analog Tags

TagName	Description	Unit	MinEU	MaxEU
K07_P3221_DR_MV	K07 Messwert Prozessdruck Messstr. B Regelung	bar	0	15

Statistics

TagName	Min	Max	StdDev	Avg	Range	Valid Data (%)
K07_P3221_DR_MV	2,966	3,011	0,005	2,995	0,046	100,000

Online-Visualisierung von Mess- und Prozessgrößen

Beispiel:

Flüssigkeitsdruck in der Messstrecke

einschließlich der Ermittlung statistischer Kennwerte

Wann und wie beginnt man eine Messunsicherheitsbetrachtung?

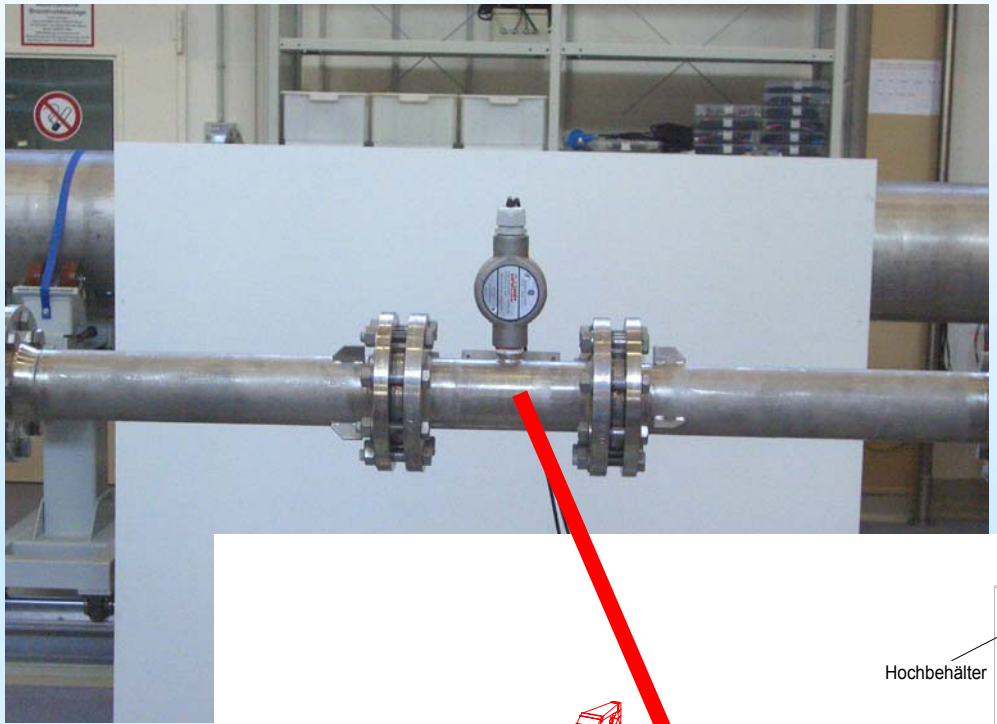
Ausgangsgleichungen

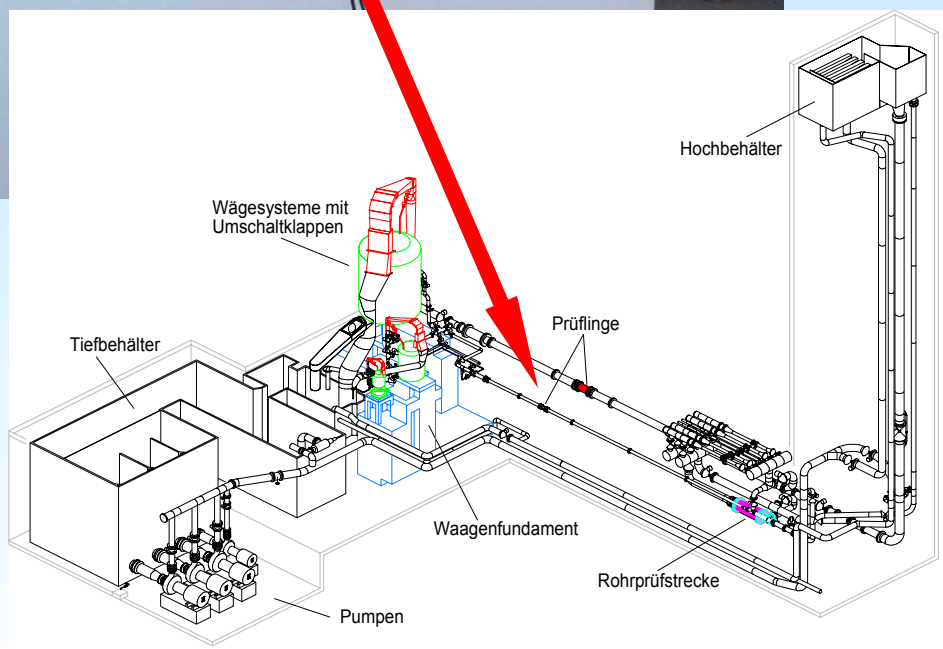
Ableitung von Teilanforderungen

3. Messunsicherheitsbetrachtung - Ausgangsgleichungen

Typische Messaufgabe:

Kalibrierung/Ermittlung der Messabweichung eines Volumenzählers





Ergebnis-Messgröße für Messunsicherheitsbetrachtung:

Flüssigkeitsvolumen V_M, das in der Zeit zwischen t_A und t_E (Messzeit) durch den Querschnitt der Messstrecke an der Einbaustelle des Prüflings geströmt ist

3. Messunsicherheitsbetrachtung - Ausgangsgleichungen

m_{Normal} / ρ_{Wasser}

ΔV_{Rohr}

$V_{Prüfling}$

Messvolumen „Prüfling“
- Wasserdichte
- Zeitmessung des Umschaltvorgangs
- Temperaturänderung während der Messung
- Kompressibilität des Wassers
- Druckänderung während der Messung
- Auflösung der Anzeige
- Strömungsprofil u.a.m.

Volumenänderung Zwischenrohr
- Temperaturänderung während der Messung
- Kompressibilität des Wassers
- Druckänderung während der Messung

Wasserdichte
- Dichtemessung
- Temperaturmessung
- Probennahme

Gravimetrisches Normal (Waage)
- Wassermasse
- Parameter/Kalibrierung der Wägesysteme
- Luftdichte
- Wasserdichte
- Verdunstungs- und Spritzverluste
- Umschaltklappe

Mathematisches Modell des Messprozesses: Vollständige Bestimmungsgleichung

$$V_M = \frac{\Delta m_W + \Delta K_W}{\rho_{dest}(\vartheta_{FM}) + K_{\rho F}} K_{LA}\left[1 + K_\vartheta + K_p + K_{Kl}\right] + K_R + K_{Ver} + K_G + \delta V_M$$

V_M - Messvolumen Prüfling

Δm_W - Differenz der Waageanzeigen

ΔK_W - Korrektion der Waagenanzeige einschl. Luftkorrektion bei Kalibr.

$\rho_{dest}(\vartheta_{FM})$ - Dichte des destillierten Wassers bei ϑ_{FM}

$K_{\rho F}$ - Korrektion der Dichte der Messflüss. gegenüber dest. Wasser

K_{LA} - Luftauftriebskorrektion für Volumen der Messflüssigkeit

K_ϑ - Korrektion für die Abweichungen der Thermometeranzeige von der zu messenden mittl. Flüss.-temperatur an der Messstelle

K_P - Korrektion für die Kompressibilität der Messflüssigkeit

K_{Kl} - Korrektion für Messabweichungen an der Umschaltklappe

K_R - Korrektion der Volumenänderungen im Rohr zwischen der Messstelle und der Klappe im Verlauf der Messzeit

K_{Ver} - Korrektion (Erwartungswert Null) für Verdunsten und Versprühen

K_G - Korrektion (Erwartungswert Null) für Messabweichungen durch Gas-blasen in der Messflüss.

δV_M - Gesamtheit der Auswirkungen aller zufälligen nicht erfassbaren Verän-derungen und Schwankungen von Einflussgrößen (Stand.-abw. unter Wiederholbedingungen)

Untersetzung der Bestimmungsgleichung:

$$\Delta m_{\mathrm{W}} = m_{\mathrm{W2}} - m_{\mathrm{W1}}$$

$$\Delta K_{\mathrm{W}} = K_{\mathrm{W}}(m_{\mathrm{W2}}) - K_{\mathrm{W}}(m_{\mathrm{W1}})$$

$$K_{\mathrm{W}}(m_{\mathrm{W}}) = m_{\mathrm{N}}\left(1 - \frac{\rho_{\mathrm{Lcal}}}{\rho_{\mathrm{N}}}\right) - m_{\mathrm{W}}$$

$$\rho_{\mathrm{dest}}(\vartheta) = \sum_{i=0}^{5} c_i \vartheta^i$$

$$K_{\rho\mathrm{F}} = \rho_{\mathrm{F}}(\vartheta) - \rho_{\mathrm{dest}}(\vartheta)$$

$$K_{\mathrm{LA}} = \frac{1}{\dfrac{1}{1+K_{\Delta\rho\mathrm{L}}} - \dfrac{\rho_{\mathrm{LW1}}}{\rho_{\mathrm{FW2}}}}$$

$$K_{\Delta\rho\mathrm{L}} = \frac{m_{\mathrm{LW2}}}{m_{\mathrm{FW2}} - m_{\mathrm{FW1}}} \cdot \frac{\rho_{\mathrm{LW1}} - \rho_{\mathrm{LW2}}}{\rho_{\mathrm{LW2}}}$$

$$K_{\vartheta} = \gamma_{\mathrm{F}}\left(\overline{\vartheta}_{\mathrm{FM}} - \vartheta_{\mathrm{Th}}\right)$$

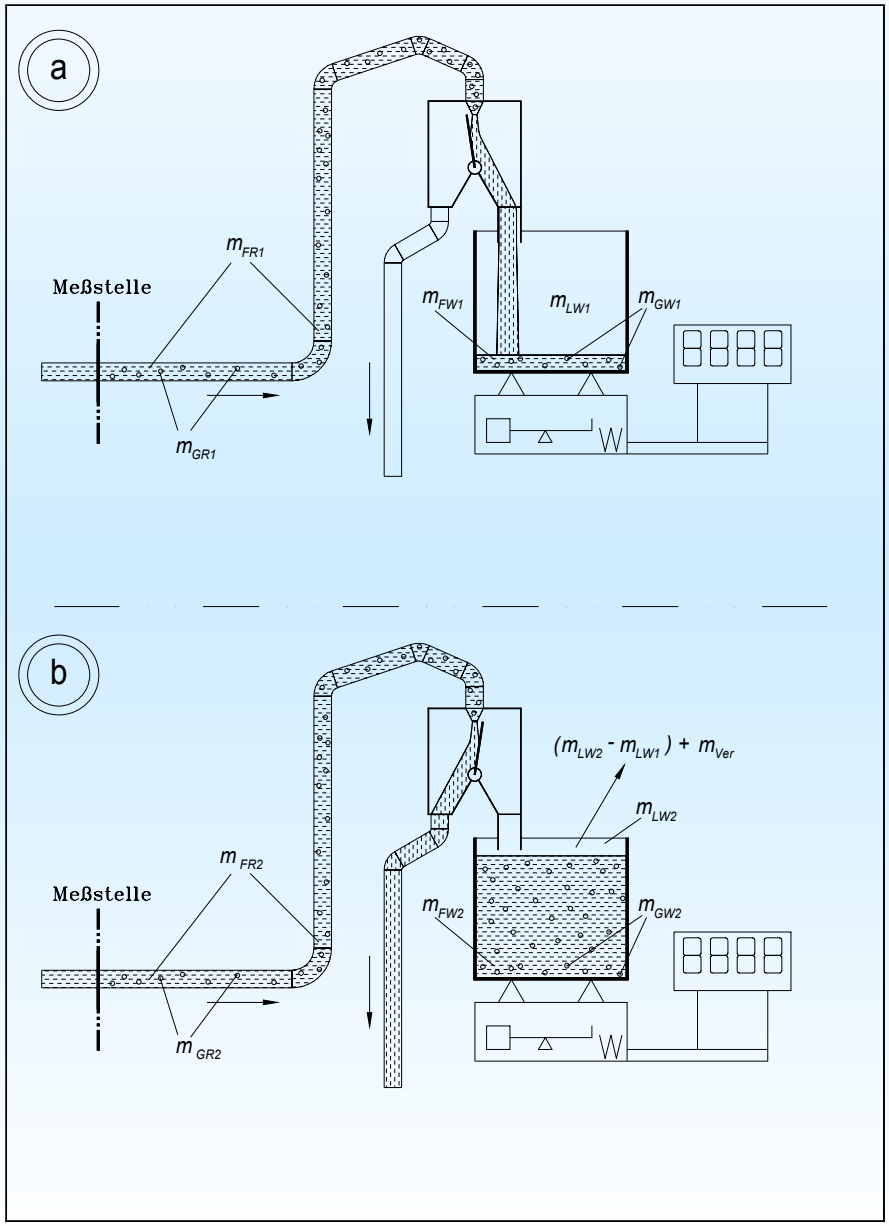
$$K_{\mathrm{p}} = \chi_{\mathrm{T}}\left(p_0 - \overline{p}_{\mathrm{FM}}\right)$$

$$K_{\mathrm{Kl}} = \frac{T_{\mathrm{Kl1}} - T_{\mathrm{Kl2}}}{T_{\mathrm{M}}} + \frac{q_{\mathrm{V1}} - q_{\mathrm{V2}}}{\overline{q}_{\mathrm{V}}} \frac{\overline{T}_{\mathrm{Kl}}}{T_{\mathrm{M}}} + \frac{q_{\mathrm{a}} - q_{\mathrm{b}}}{q_{\mathrm{ges}}} \frac{T_{\mathrm{Strahl}}}{2T_{\mathrm{M}}}$$

$$K_{\mathrm{R}} = V_{\mathrm{R}}\left(\gamma_{\mathrm{F}} - \gamma_{\mathrm{R}}\right) \cdot \left(\overline{\vartheta}_{\mathrm{FR1}} - \overline{\vartheta}_{\mathrm{FR2}}\right)$$

$$K_{\mathrm{G}} = V_{\mathrm{GM}} + V_{\mathrm{GR1}} - V_{\mathrm{GR2}}$$

3. Messunsicherheitsbetrachtung - Ausgangsgleichungen



Erläuterungen zur Massenbilanz des Messgutes im System zwischen Messstelle und Messbehälter

a) zu Beginn

b) nach Beendigung einer Messung

3. Messunsicherheitsbetrachtung – Ableitung von Teilanforderungen

Bezeichnung	(1) *Einfluß-größen* x_i	(2) *Beitrag zur relat. Meßunsicher-heit* $u_i(V_M)/V_M$	(3) *Zulässiger relat. Unsicherheits-beitrag* $[u_i(V_M)/V_M]_m$	*Abgeleitete Forderungen und Maßnahmen*
Waagenanzeige	m_W	$\frac{u(m_W)}{m_W + K_W}$	$5 \cdot 10^{-5}$	Wiederhol-Standardabweichung unter Betriebsbedingungen $< 2 \cdot 10^{-5}$, Drift der Waagenanzeige über einen Tag $< 4 \cdot 10^{-5}$, mindestens tägl. Kalibrierung der Waage, Korrektion des aktuellen, lastabhängigen Kalibrierwertes bei der Anwendung
Korrektion der Waagenanzeige	K_W	$\frac{u(K_W)}{m_W + K_W}$	$2 \cdot 10^{-5}$	Standardunsicherheit der Masse der Normalgewichte $\leq 3 \cdot 10^{-6}$ Wiederhol-Standardabweichung bei der Kalibrierung der Waage $\leq 1 \cdot 10^{-5}$
Dichte des destil-lierten Wassers	ρ_{dest}	$\frac{u(\rho_{dest})}{-(\rho_{dest} + K_{\rho F})}$	$0{,}3 \cdot 10^{-5}$	Die Dichte des destillierten Wassers wird in Abhängigkeit von der Temperatur aus einer entsprechenden Tabelle entnommen oder mit einer zugeordneten Formel berechnet
Korrektion der Flüssigkeits-dichte	$K_{\rho F}$	$\frac{u(K_{\rho F})}{-(\rho_{dest} + K_{\rho F})}$	$3 \cdot 10^{-5}$	Häufigere Kontrollen des Wertes $K_{\rho F}$ an Proben, Vergleiche mit einem kontinuierlichem Dichtemeßgerät
Luftauftrieb	K_{LA}	$u(K_{LA})$	$3 \cdot 10^{-5}$	Standardunsicherheiten des Luftdrucks < 5 mbar, der Luftfeuchte 5% und der Lufttemperatur im Wägebehälter < 1 °C. Die Lufttemperaturen im Wägebehälter zu Beginn und am Ende der Messung müssen registriert und Differenzen von > 1 °C berücksichtigt werden. Gleichzeitig darf die Nutzlast nicht unter 25% liegen

3. Messunsicherheitsbetrachtung – Ableitung von Teilanforderungen

Bezeichnung	(1) *Einfluß-größen*	(2) *Beitrag zur relat. Meßunsicher-heit*	(3) *Zulässiger relat. Unsicherheits-beitrag*	*Abgeleitete Forderungen und Maßnahmen*
Messung der Flüssigkeits-temperatur	K_ϑ	$u(K_\vartheta)$	$3 \cdot 10^{-5}$	Standardunsicherheiten des Thermometers in der Meßstrecke ≤ 0,05 °C, max. Differenzen vor der Einlauf- und hinter der Auslaufstrecke 0,2 °C, max. Differenzen im Rohrquerschnitt 0,25 °C, Unsicherheit der Mittelwertbildung 0,02 °C, Temperaturkonstanz während einer Einzelmessung ± 0,05%, während einer Meßreihe ± 0,1 °C
Kompressibilität der Flüssigkeit	K_p	$u(K_p)$	$0{,}3 \cdot 10^{-5}$	Fehlergrenze des Manometers 0,1 bar
Einflüsse durch die Umschaltklappe	K_{Kl}	$u(K_{Kl})$	$4 \cdot 10^{-5}$	Mittenjustierung der Schaltpunkte (zulässige Abweichung ± 1 mm bzw. ± 5 ms), Meßzeiten > 50 ms, relat. Durchflußänderung während der Meßzeit < $5 \cdot 10^{-3}$, Unsymmetrie des Geschwindigkeitsprofils an der Düse 2%, Strahlschnittzeiten < 0,15 s
Volumenände-rungen im Zwischenrohr	K_R	$\frac{u(K_R)}{V_M}$	$2 \cdot 10^{-5}$	Veränderung der Temperatur im Zwischenrohr während der Messung max. 0,1 °C, Einhaltung bestimmter Mindestprüfvolumina
Einflüsse durch Verdunsten und Verspritzen	K_{Ver}	$\frac{u(K_{Ver})}{V_M}$	$2 \cdot 10^{-5}$	Änderung der Lufttemperatur im Wägebehälter während der Messung ≤ 2,6 °C, Leckagen kontrollieren, K_{Ver} wird vernachlässigt
Gaseinschlüsse in der Meßflüssigkeit	K_G	$\frac{u(K_G)}{V_M}$	$2 \cdot 10^{-5}$	Kontrolle von Gasblasen durch Entlüftungseinrichtungen und Sichtstrecken, K_G wird vernachlässigt
Wiederhol-unsicherheit	δV_M	$\frac{u(\delta V_M)}{V}$	$4 \cdot 10^{-5}$	Falls der geforderte Wert in konkreten Fällen nicht erreicht wird, muß δV_M durch Mittelwertbildung aus mehreren Einzelmessungen verringert werden
Meßergebnis	V_M		$1 \cdot 10^{-4}$	

Abschätzungen für das Zwischenrohr:

Meßstrecke	Waage [t]	Prüfling [DN]	Zwischenrohr R [DN]	Rohrvolumen V_{Rmax} [l]
A	30	400	400	3099
(DN 400)		150	150/400/150/400	1681
	3	400	400/150	1054
		150	150/400/150	641
	0,3	150	150/400/150/50	453
B	30	150	150/400	1463
(DN 150)	3	150	150	422
		50	50/150/50/150	181
	0,3	150	150/50	90
		50	50/150/50	68
		15	15/150/50/15/50	64

$$K_R = V_R(\gamma_F - \gamma_R)\cdot(\overline{\vartheta}_{FR1} - \overline{\vartheta}_{FR2})$$

$$\gamma_F - \gamma_R \le 2\cdot 10^{-4}\,/\,\mathrm{K}$$

Volumenausdehnungskoeffizienten

$$\overline{\vartheta}_{FR1} - \vartheta_{FR2} \le 0{,}1$$

Geforderte Temp.-konstanz im HDP ± 0,05 K pro Einzelmessung

Soll K_R vernachlässigt werden, muss Vorgabewert eingehalten werden, d.h.

$$u(K_R)/V_M \le 2\cdot 10^{-5}$$

→ Das gilt, wenn K_R / V_M innehalb $\pm 2\sqrt{3}\cdot 10^{-5}$

→ Kleinstes zulässiges Messvolumen V_{min}

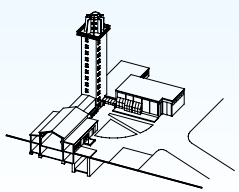
$$V_M > 0{,}58\cdot V_R$$

Wie wurden die aufgestellten Anforderungen im HDP umgesetzt?

Wägeeinrichtung

Umschaltklappe

Rohrprüfstrecke



4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Wägesystem

Waagenanzeige	m_W	$\frac{u(m_W)}{m_W + K_W}$	$5 \cdot 10^{-5}$	Wiederhol-Standardabweichung unter Betriebsbedingungen $< 2 \cdot 10^{-5}$, Drift der Waagenanzeige über einen Tag $< 4 \cdot 10^{-5}$, mindestens tägl. Kalibrierung der Waage, Korrektion des aktuellen, lastabhängigen Kalibrierwertes bei der Anwendung
Korrektion der Waagenanzeige	K_W	$\frac{u(K_W)}{m_W + K_W}$	$2 \cdot 10^{-5}$	Standardunsicherheit der Masse der Normalgewichte $\leq 3 \cdot 10^{-6}$ Wiederhol-Standardabweichung bei der Kalibrierung der Waage $\leq 1 \cdot 10^{-5}$

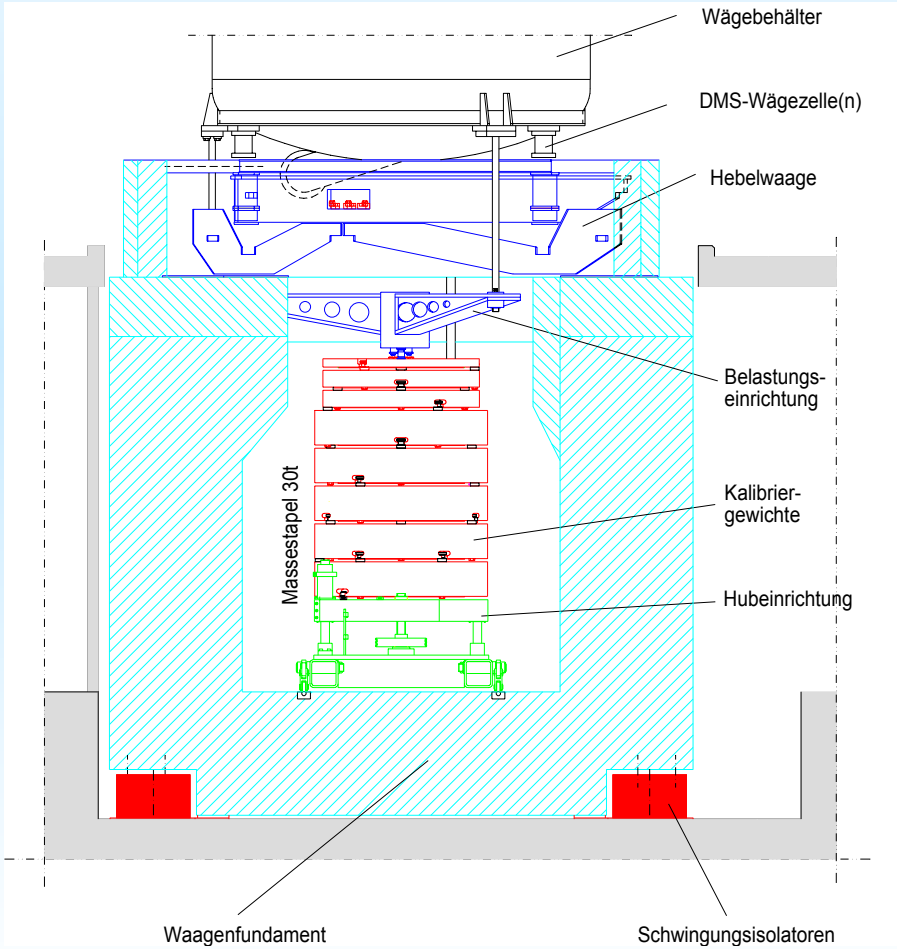
	30-t-Waage	**3-t-Waage**	**300-kg-Waage**
Wägebereich	3 … 30 t	300 … 3000 kg	15 … 300 kg
Belastbarkeit inkl. Tara	45 t	4500 kg	450 kg
Teilungswert	10 g	1 g	0,1 g
zulässige rel. Fehlergrenzen im Wägebereich (vom Messwert)	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$	$\pm 3 \cdot 10^{-5}$
rel. Standardabweichung im Wägebereich (vom Messwert)	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$
erweiterte rel. Messunsicherheit im Wägebereich (95 %)	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$

4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Wägesystem

Prinzipieller Aufbau der drei Wägesysteme (Bsp. 30-t-Waage):

Hebelwaage mit elektronischer Wägezelle (elektromagn. Kraftkompensation)

+ DMS-Wägezellen



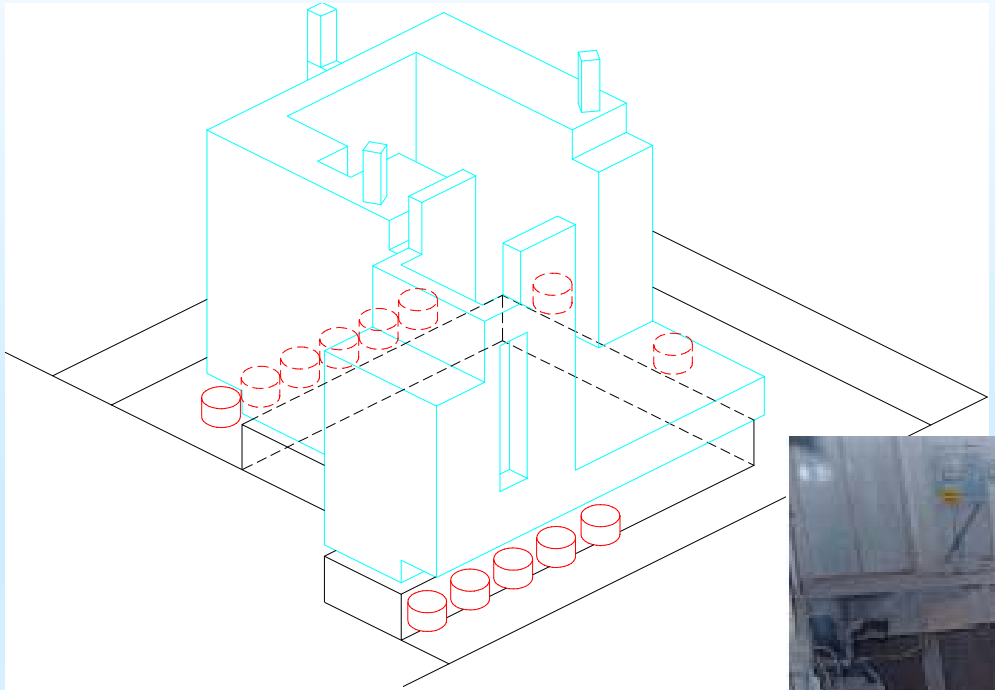
1 – Belastungseinrichtung

2 – Kalibriergewichte

3 – Hubeinrichtung

4 - Waagenfundament

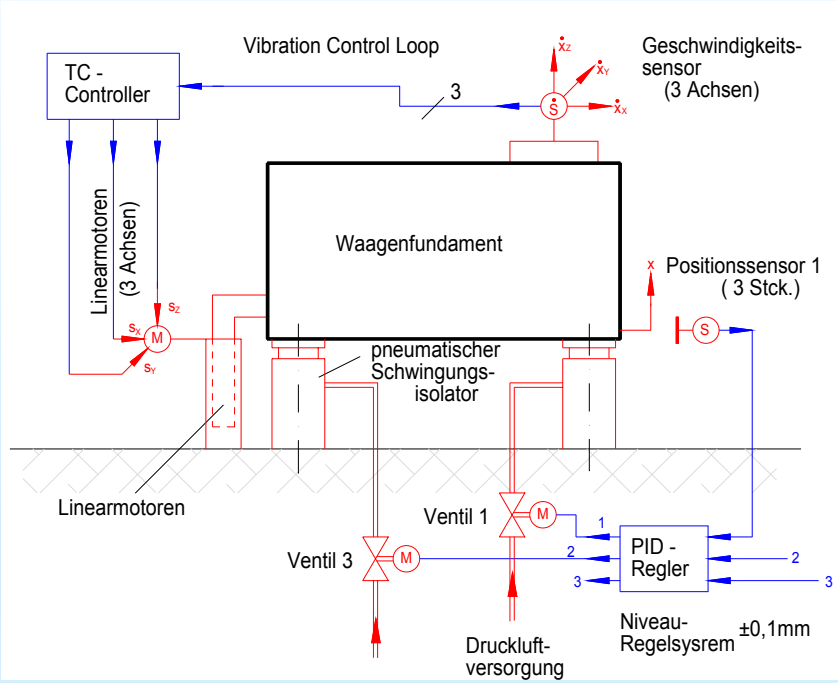
4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Wägesystem



Waagenfundament im Rohbauzustand

Lagerung des Waagenfundamentes auf 13 pneumatischen Schwingungsisolatoren

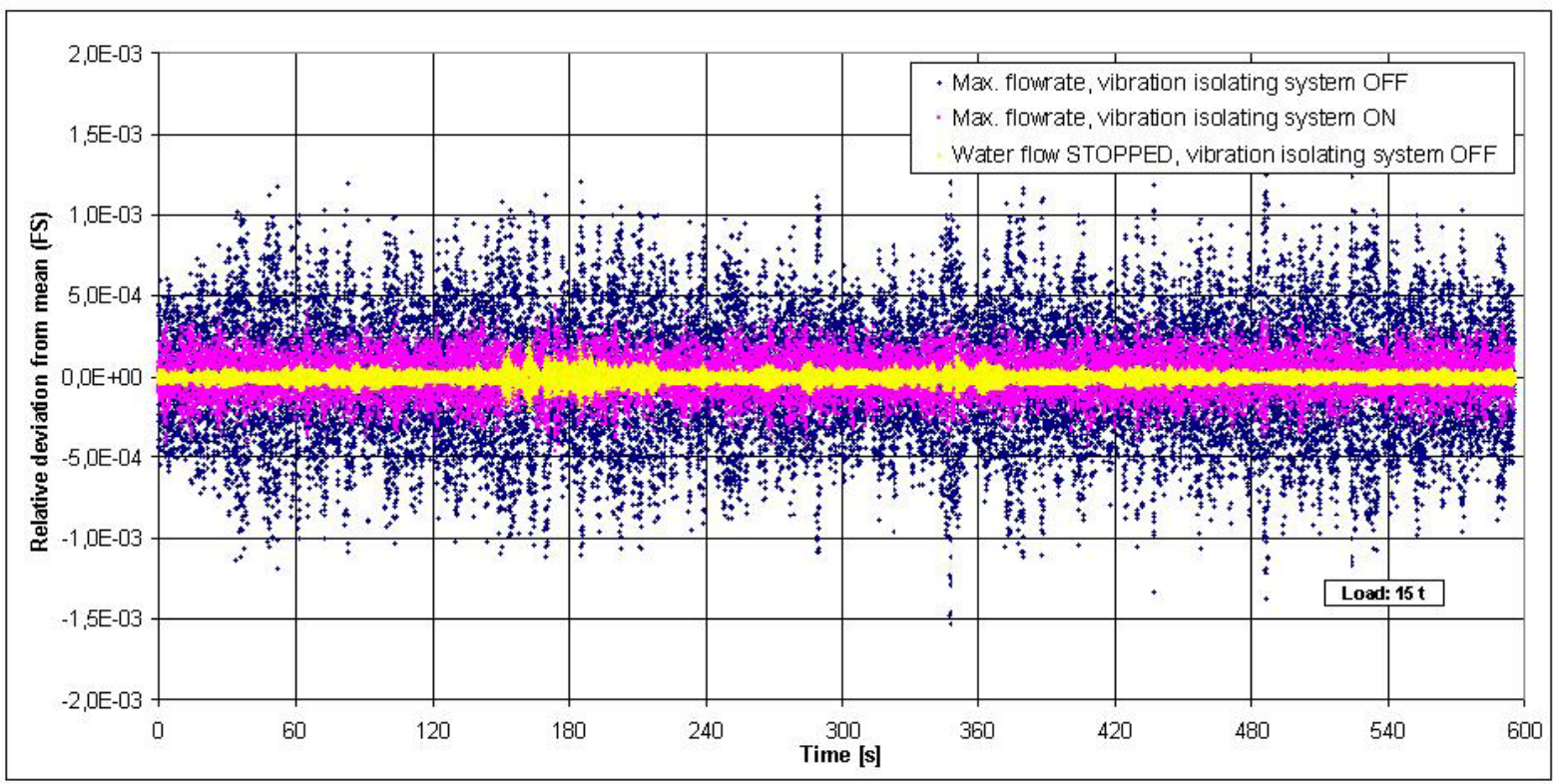
4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Schwingungsisolierung



- ***Passives Schwingungsdämpfungssystem:*** **Schwingungsisolatoren und Betonfundamentkörper**
- ***Quasistatisches Niveauregelsystem:*** **Elektronisches Regelsystem mit hochauflösenden Wegsensoren**
- ***Schnelles dynamisches Regelsystem:*** **Geschwindigkeitssensoren und elektrische Linearmotoren (schnelle Gegenregelung bei Störungsanregung)**

➡ ***Finite-Elemente-Berechnungen + exper. Untersuchungen an kleinem Prüfstand***

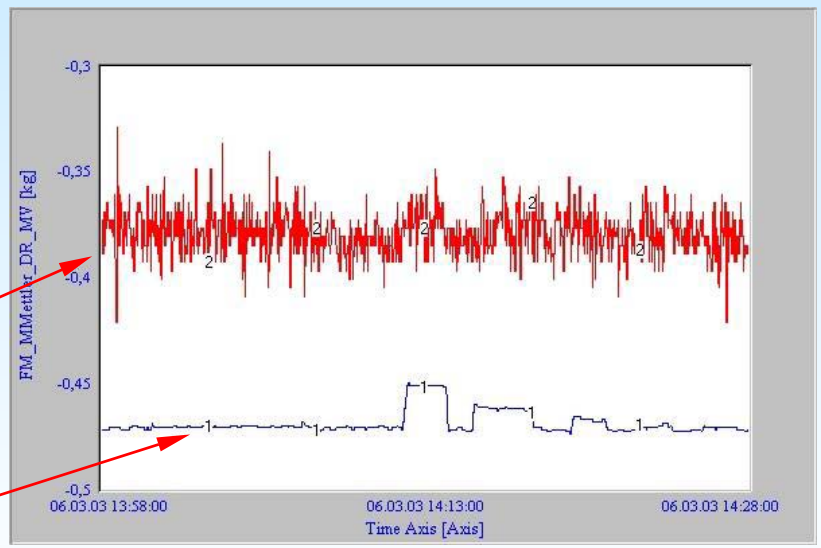
Wirksamkeit der Schwingungsisolierung bei Q_{max} = 2100 m^3/h



Deutliche Reduzierung der Streuung der Waagenanzeige

4. Umsetzung der Anforderungen – Sensitivität des Wägesystems

Beispiel 3-t-Waage



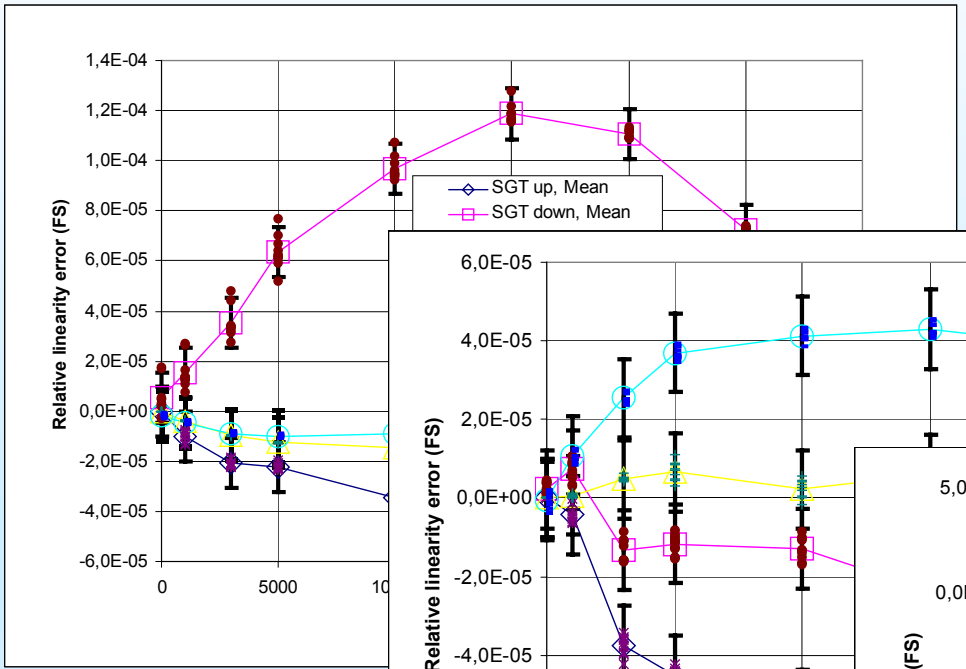
Auflage von Massestücken von 20 g, 10 g, 5 g, 2 g und 1 g

DMS-Wägezellen

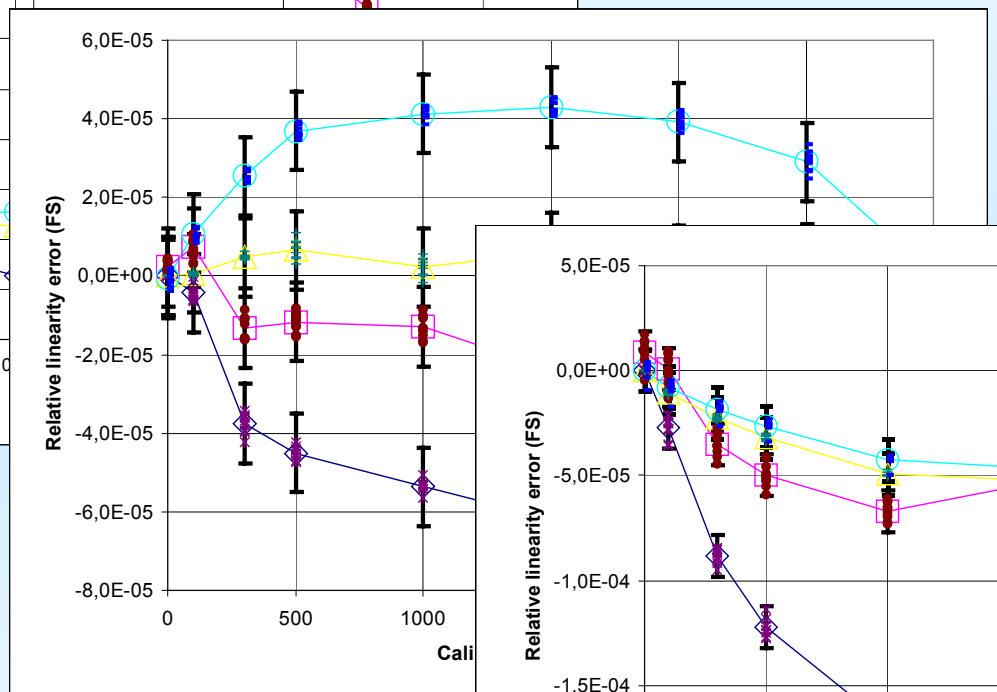
Hebelwaage mit elektro-magn. Kraftkompensation

4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Wägesystem

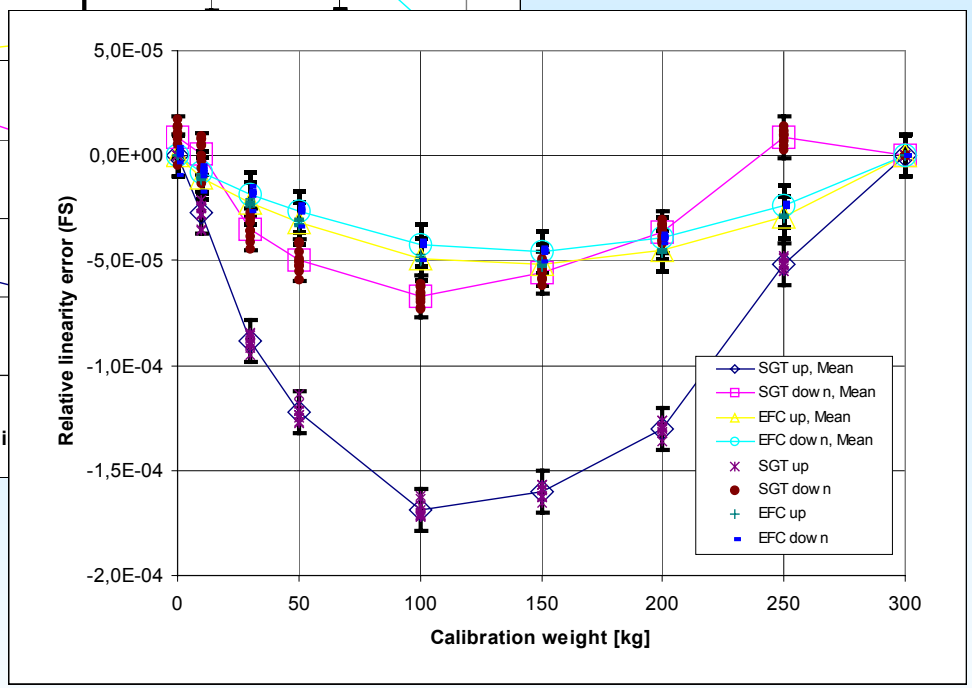
Kalibrierergebnisse für die alle Wägesysteme



30-t-Waage



3-t-Waage



300-kg-Waage

4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Wägesystem

PTB

Untersuchungsergebnisse bestätigen:

Wiederholbarkeit liegt unterhalb des geforderten Wertes von $1 \cdot 10^{-5}$

Hysterese ist kleiner als $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ und damit ebenfalls kleiner als der geforderte Wert von $2 \cdot 10^{-4}$

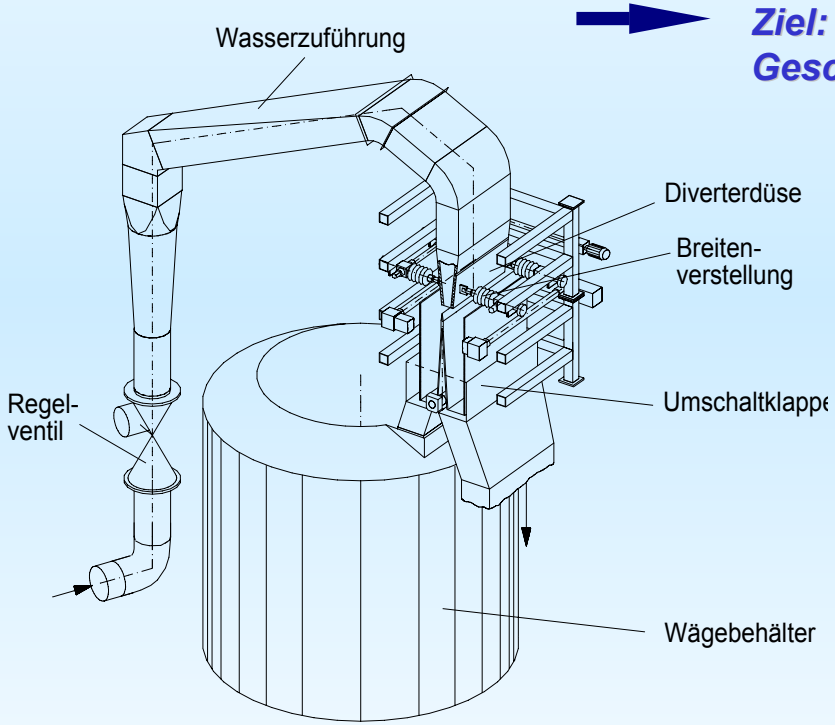
Beide Wägesysteme zeigen signifikante Unterschiede im Verhalten, die Arbeitsbereiche überschreiten jedoch nicht die geforderten Toleranzen

➡ **Vorgaben werden eingehalten**

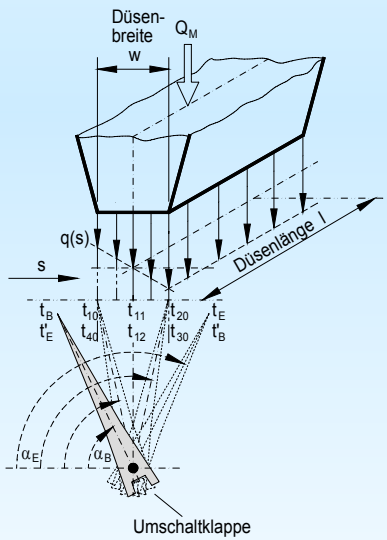
4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Umschaltklappe

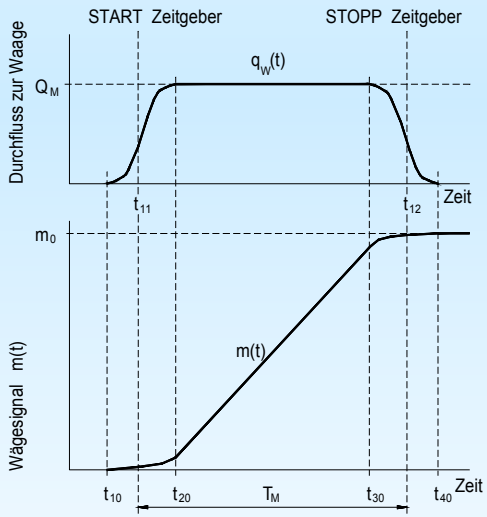
Einflüsse durch die Umschaltklappe	K_{Kl}	$u(K_{Kl})$	$4 \cdot 10^{-5}$	Mittenjustierung der Schaltpunkte (zulässige Abweichung ± 1 mm bzw. ± 5 ms), Meßzeiten > 50 ms, relat. Durchflußänderung während der Meßzeit < $5 \cdot 10^{-3}$, Unsymmetrie des Geschwindigkeitsprofils an der Düse 2%, Strahlschnittzeiten < 0,15 s

Ziel: Ebenes, symmetrisches Geschwindigkeitsprofil in der Auslaufdüse



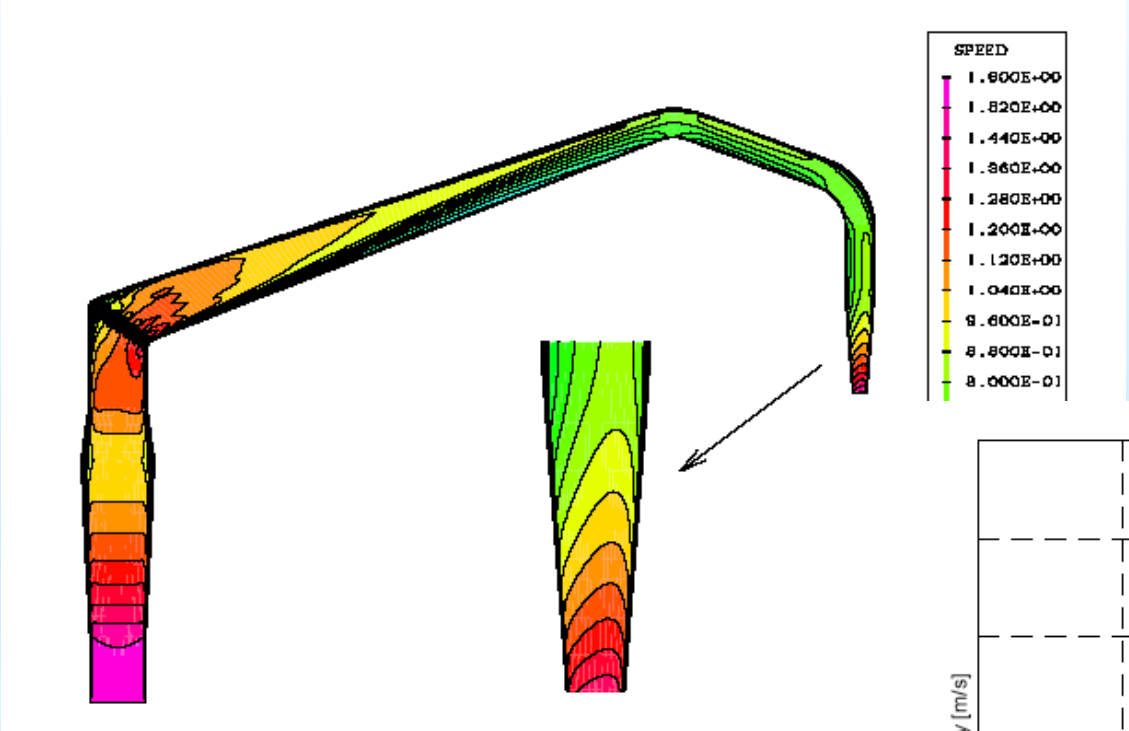
Schematische Darstellung Umschaltklappe





Strömungsverlauf am Düsenaustritt, Zeitverläufe für den Durchfluss zum Waagenbehälter du für den Wägewert

4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Umschaltklappe

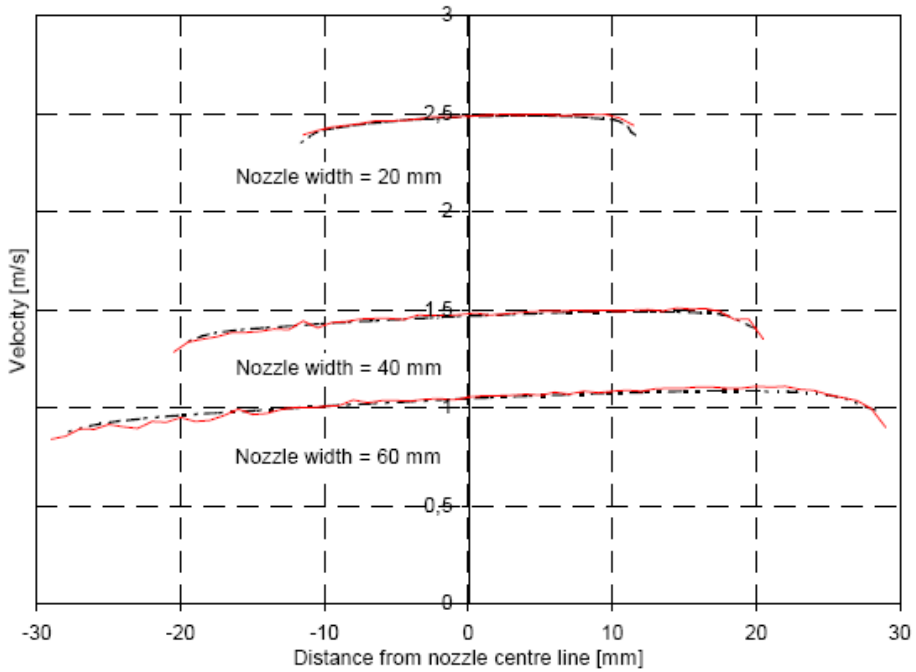


Berechnungen:

Asymmetrie $(Q_{links}-Q_{rechts})/Q_{mittel}$
0,04 % für 3 m³/h
1,8 % für 320 m³/h

Beispiel: 3-t-Waage, DN 150

Düsenlänge 450 mm
Breite im Düseneinlauf 80 mm
Breite am Düsenauslauf 3,7 … 60 mm



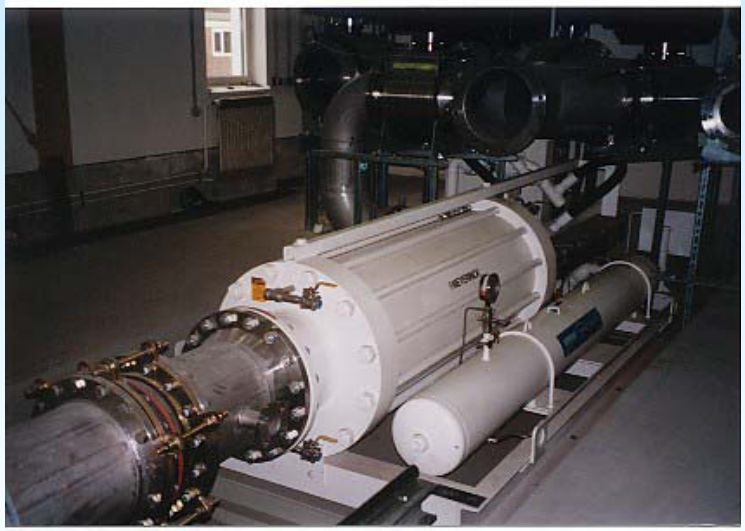
Vorgaben werden eingehalten

4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Rohrprüfstrecke

Aufgabe:

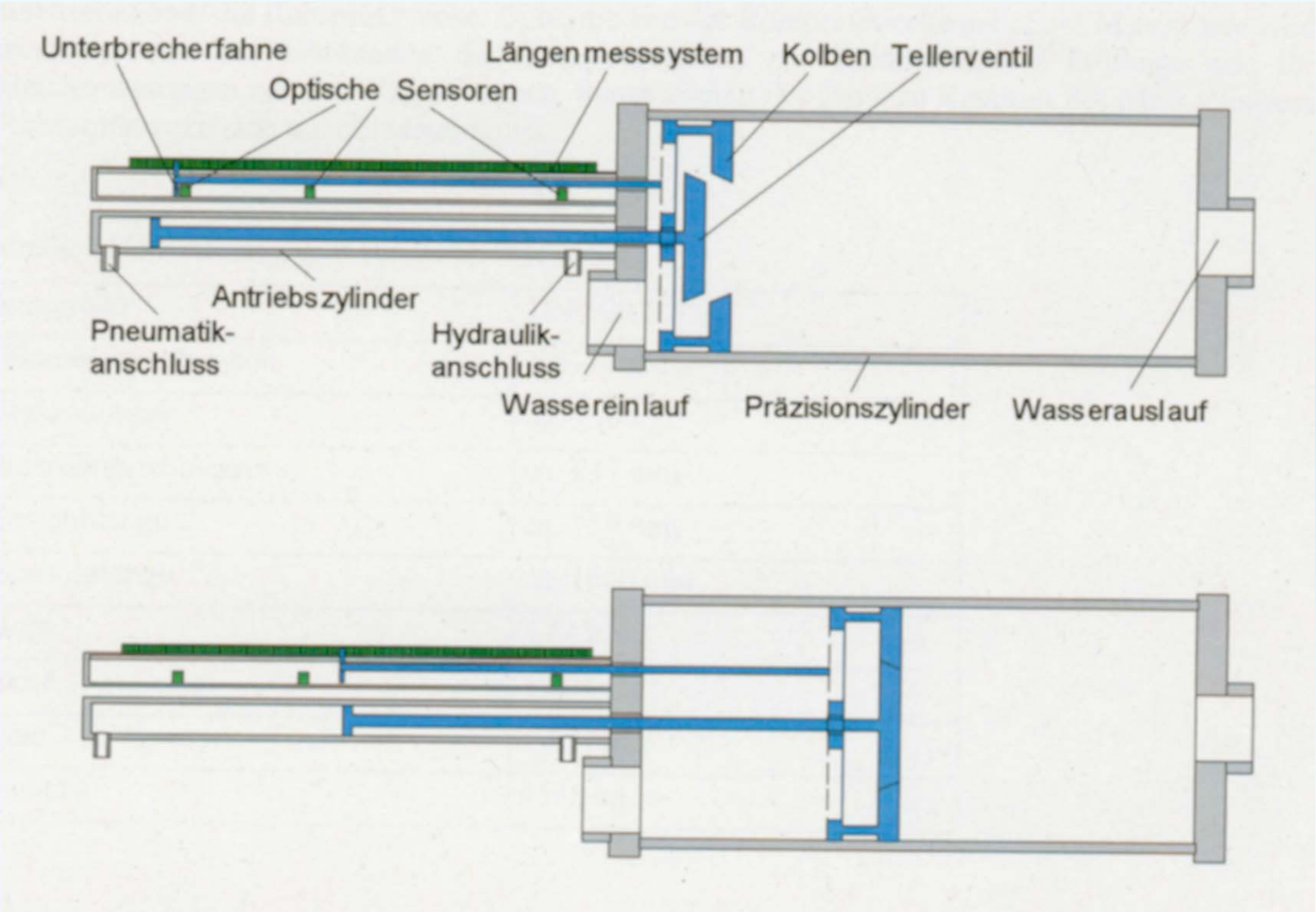
- ***Zweites unabhängiges (volumetrisches) Normalverfahren***
- ***Standardunsicherheit wie gravimetrisches Normalverfahren ≤ $1 \cdot 10^{-4}$***

Nenngröße	DN 600 (24")
Volumenstrombereich	1,6 – 1600 m³/h
Messvolumen	ca. 250 l
Messrohrdurchmesser	ca. 647 mm
Messhublänge	ca. 759 mm
Messrohrlänge	ca. 1670 mm
Länge	4,543 m
Breite	1,991 m
Höhe	1,257 m
Gewicht	4535 kg



Brooks Compact Prover 24" BCP + inkrementales Längenmesssystem Haidenhain LS406C

4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Rohrprüfstrecke

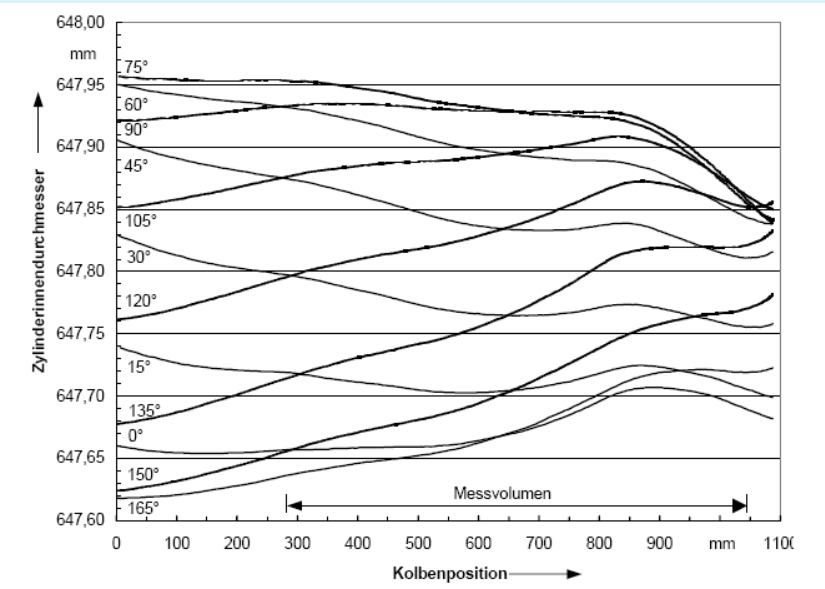


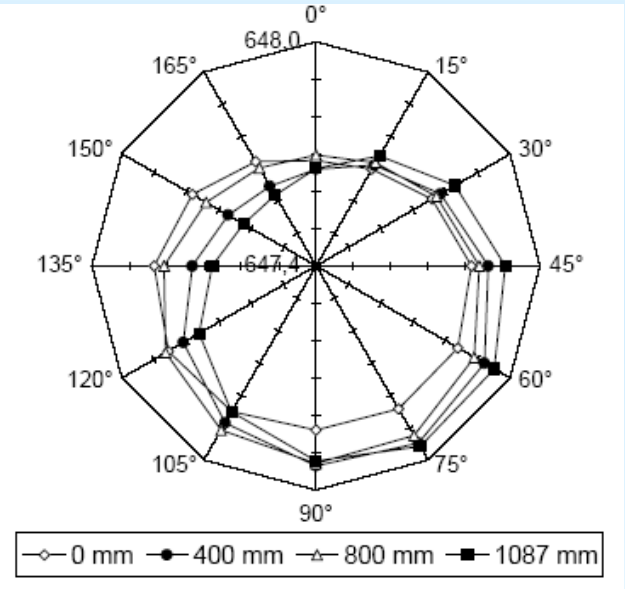
4. Umsetzung der Anforderungen im HDP – Rohrprüfstrecke

Bestimmung des Messvolumens:

- Geometrisch mit speziell entwickeltem Innendurchmesser-Messsystem
- Gravimetrisch durch Wägung des verdrängten Flüssigkeitsvolumens

Ergebnis der geometrischen Vermessung: 250,6529 dm^3

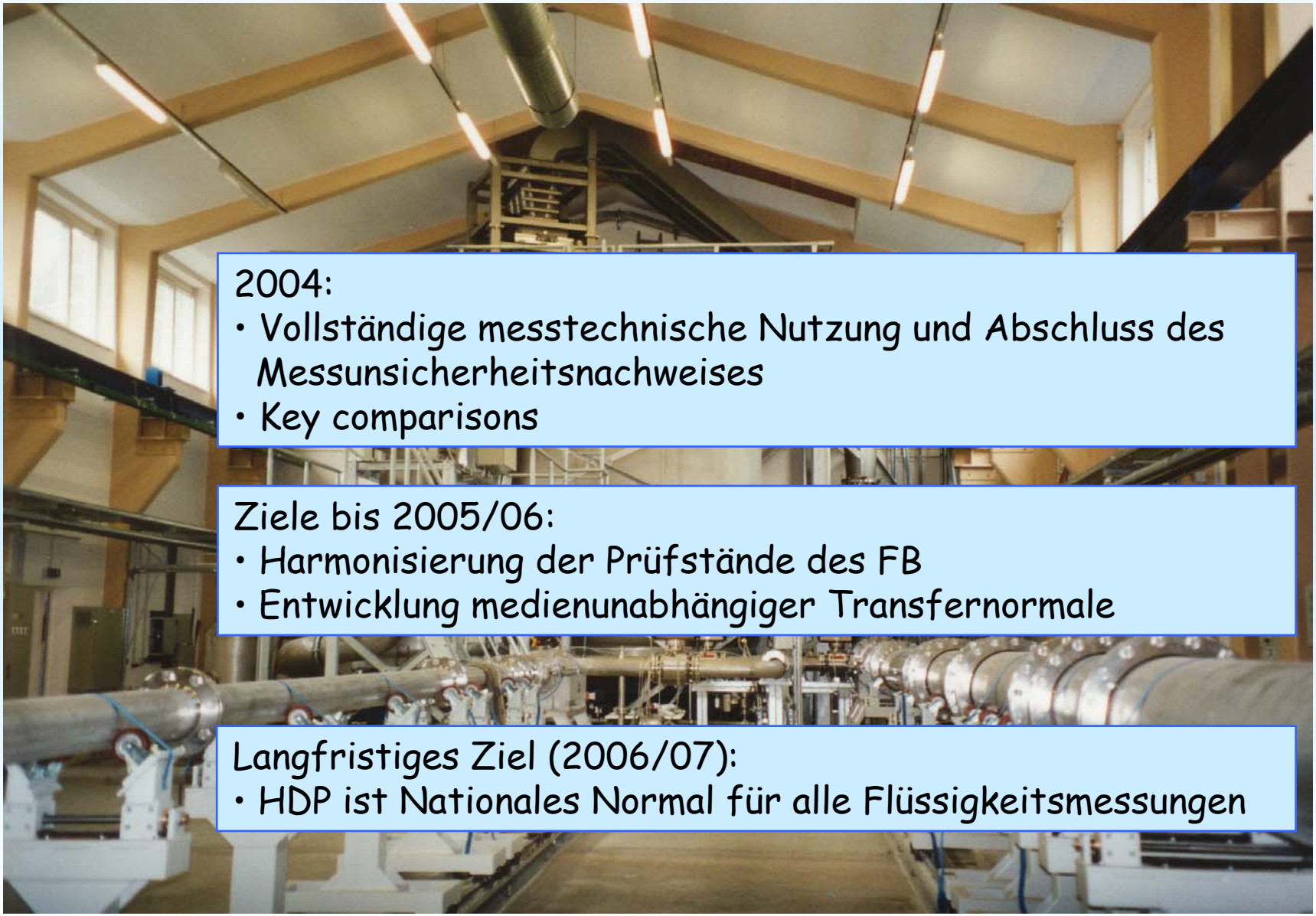




Ergebnis der gravimetrischen Vermessung: 250,6340 dm^3

➡ **Abweichung der beiden Ergebnisse: 0,0075 %**

5. Derzeitiger Bearbeitungsstand und Ausblick



2004:
- Vollständige messtechnische Nutzung und Abschluss des Messunsicherheitsnachweises
- Key comparisons

Ziele bis 2005/06:
- Harmonisierung der Prüfstände des FB
- Entwicklung medienunabhängiger Transfernormale

Langfristiges Ziel (2006/07):
- HDP ist Nationales Normal für alle Flüssigkeitsmessungen

Hydrodynamisches Prüffeld

„Konventionelle“ Anwendungsgebiete

- Darstellung und Weitergabe
- Zulassungsprüfungen
- Kalibrierungen mit höchster Genauigkeit
- Forschung für Dritte
- Vergleichsmessungen

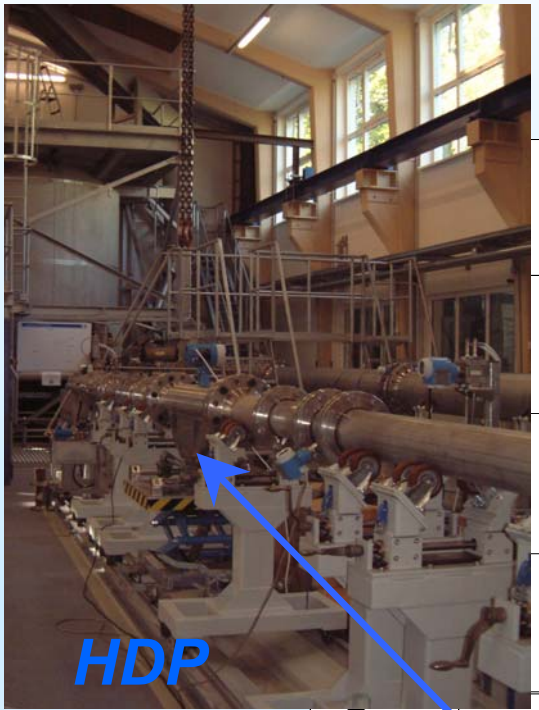
Entwicklung neuer hochgenauer Messtechnik

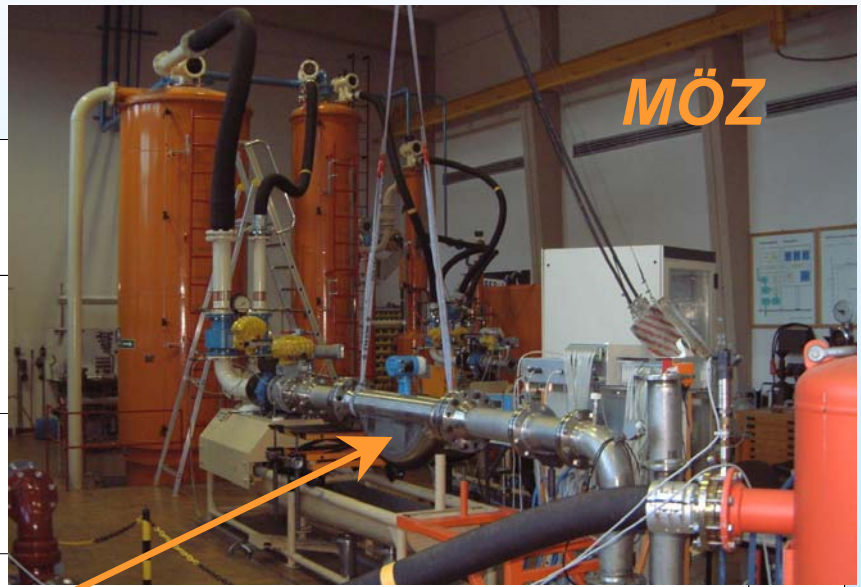
- Konventionelle Messtechnik mit optischen Methoden
- Neue Messgeräte und -verfahren
- Neue statistische Verfahren für Messdatenanalyse

Übertragung von Messergebnissen auf andere Fluide

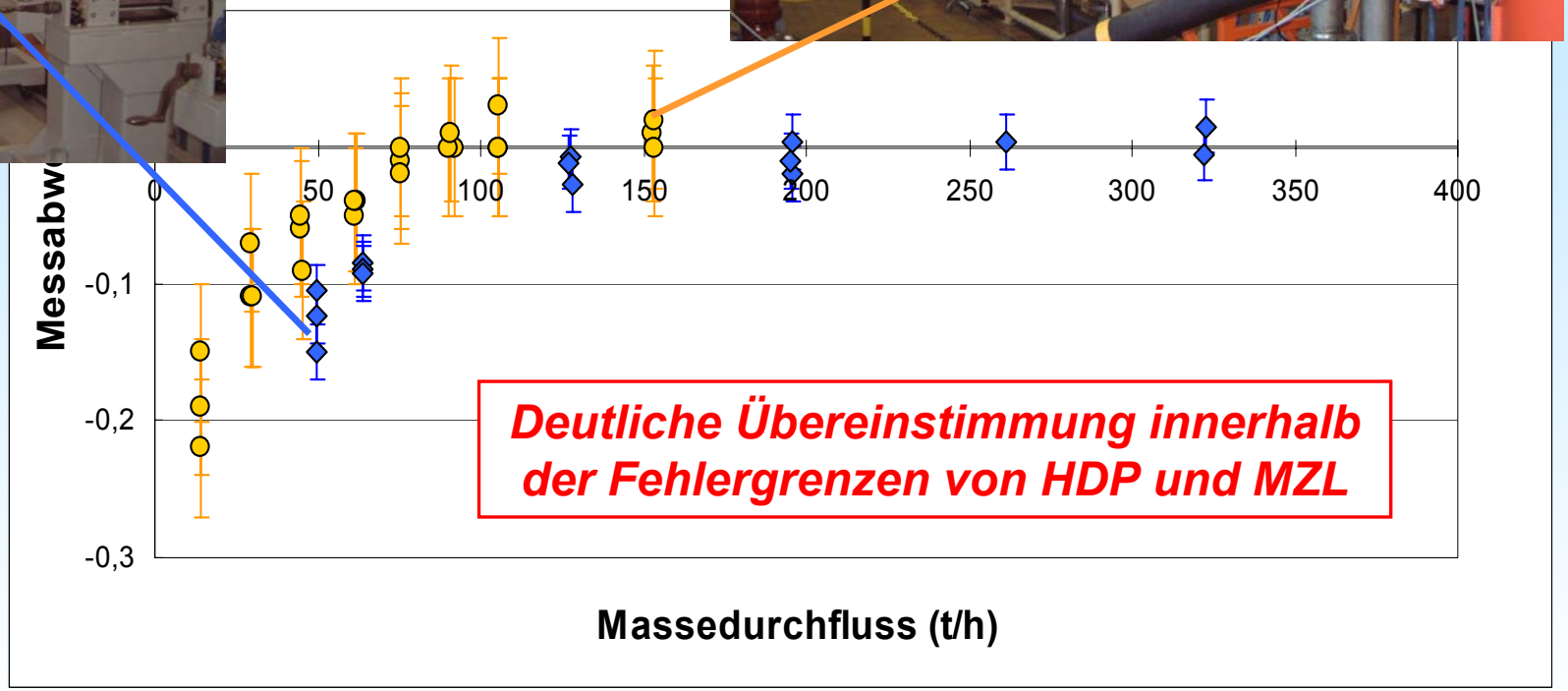
- Einfluss der Messguteigenschaften auf die Messverfahren
- Messgutunabhängige Transferstandards
- Rückführbarkeit aller Flüssigkeitsmes-sungen auf das HDP

Messvergleich HDP - Mineralölzählerprüfstand





Coriolis-Massezähler DN 150



Deutliche Übereinstimmung innerhalb der Fehlergrenzen von HDP und MZL