ARC Seibersdorf research

Gedanken zum Bau hochpräziser Durchflussprüfstände

Dipl.Ing. Alfons Witt, ARC Seibersdorf research GmbH

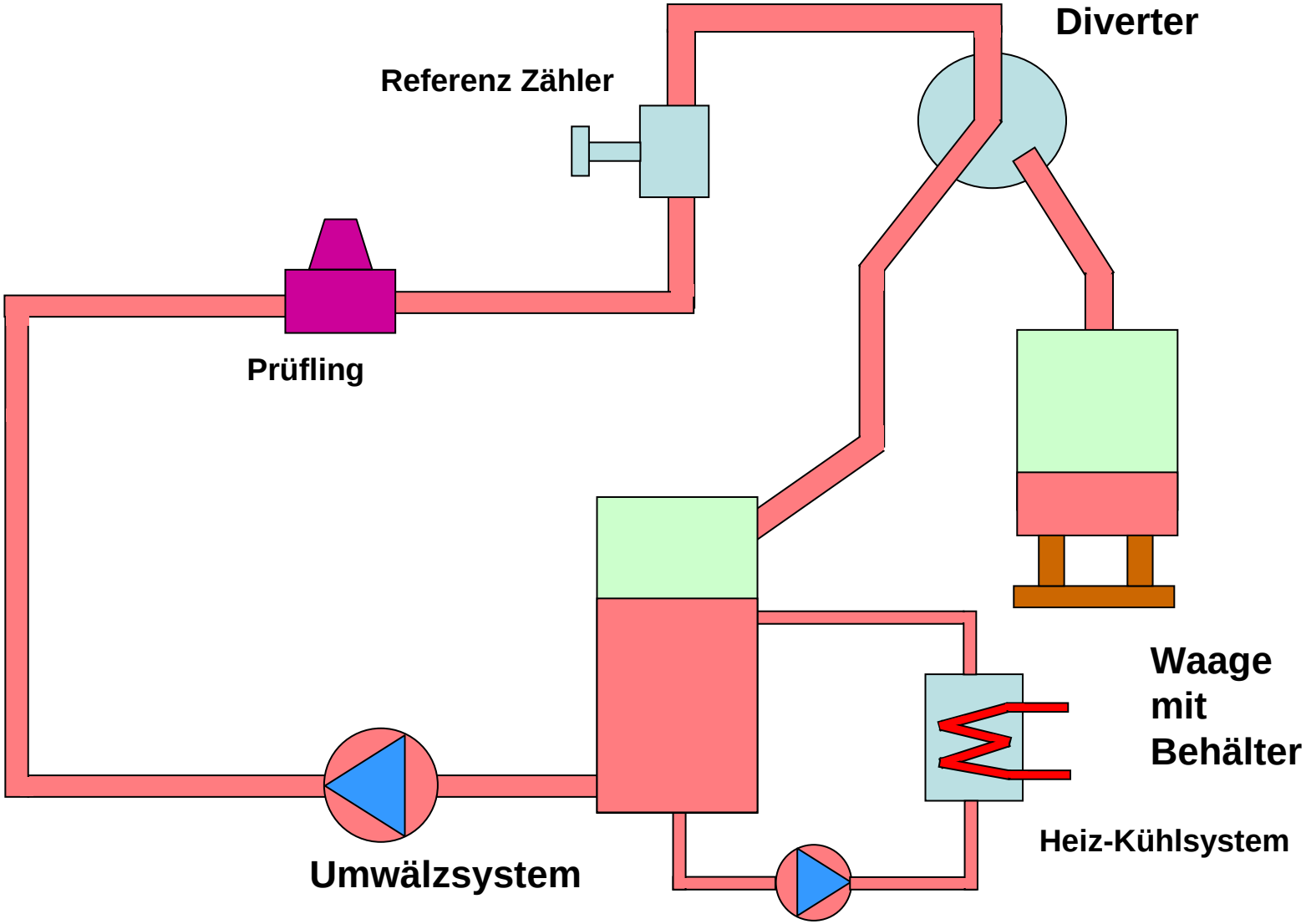
2005

seibersdorf research

Themen

- Komponenten eines Prüfstandes
- Meßunsicherheitsbudget und ausgewählte Einflussfaktoren
  - -Dichte
  - -Auftriebskorrektur

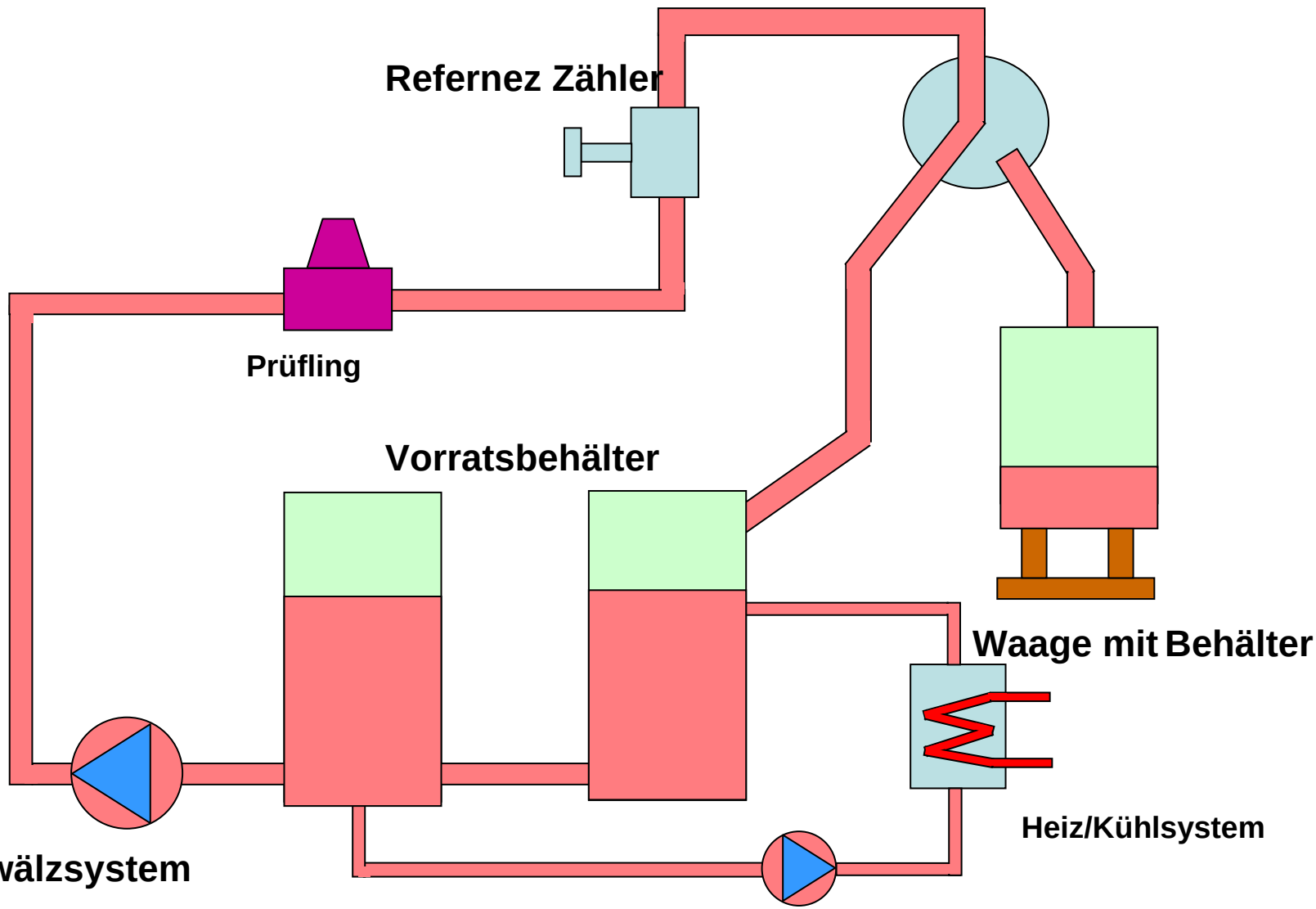
Prüfanlage für Durchflusszähler



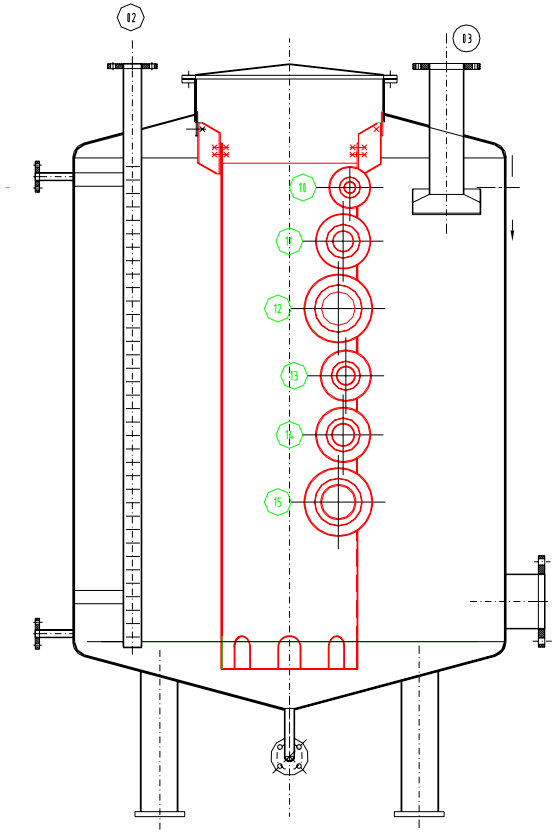
Vorratsbehälter

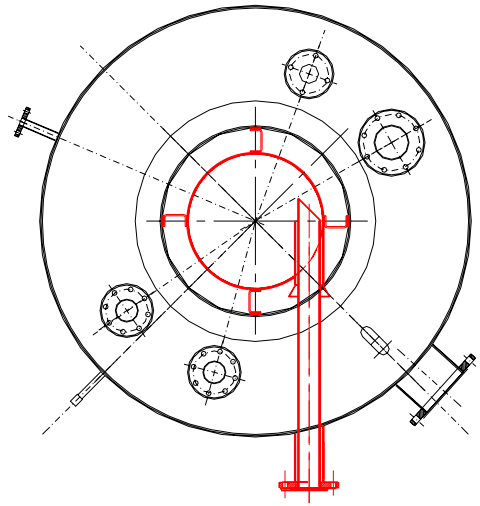
- Bevoratung des Prüfwassers
- Temperatureinstellung und Konstanthaltung
- Beruhigung des rückfließenden Wassers
- Entgasung
- Ansaugbedingungen für Pumpen

Prüfanlage für Durchflusszähler

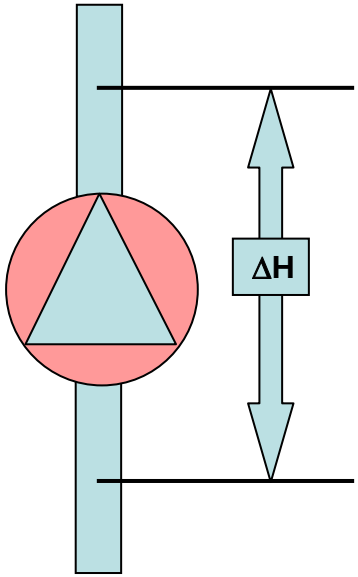


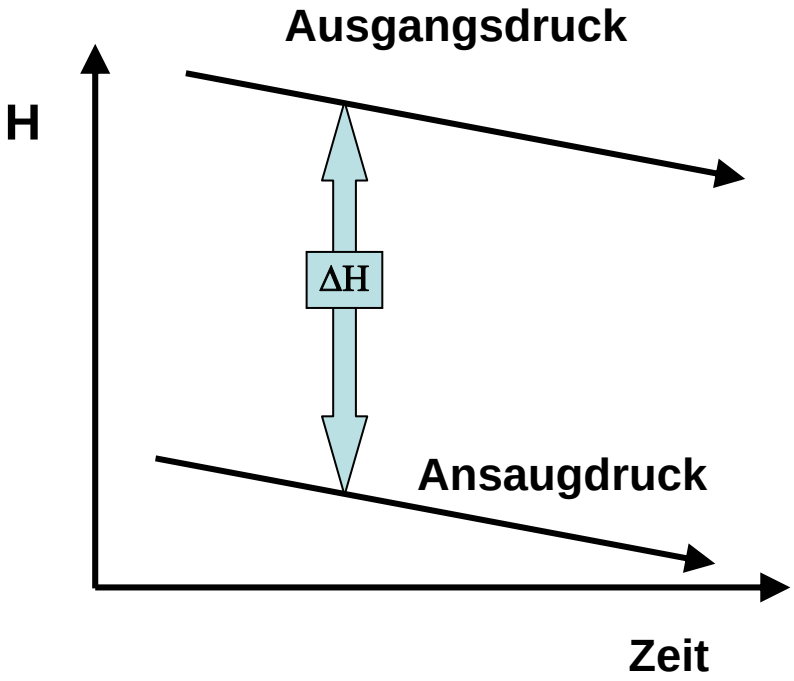
Rückflussbehälter



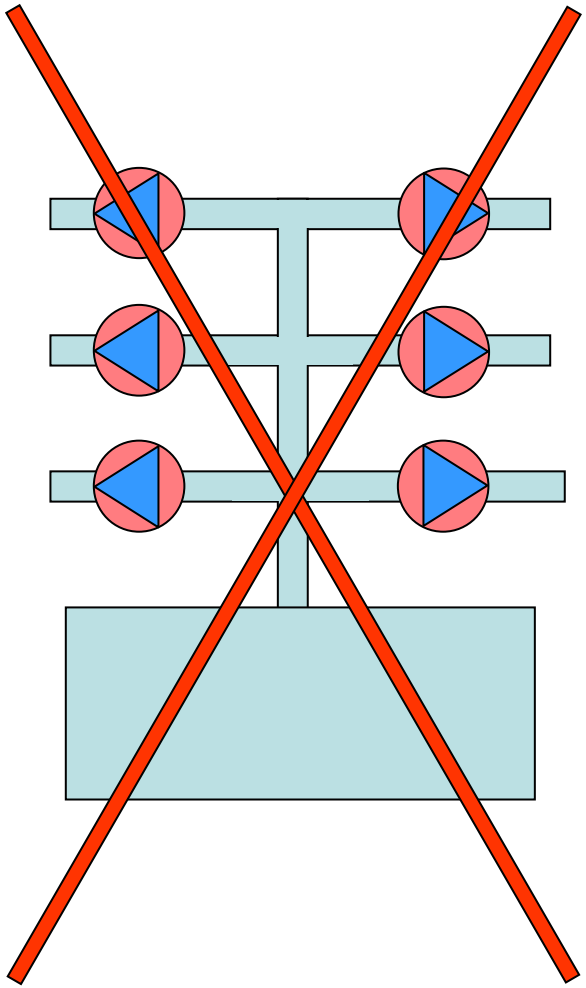


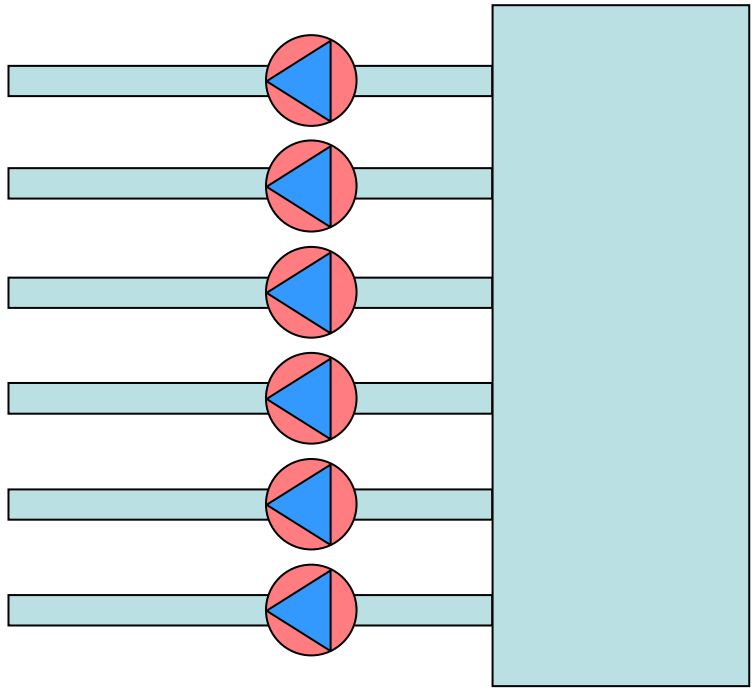
Ansaugbedingungen für Pumpen



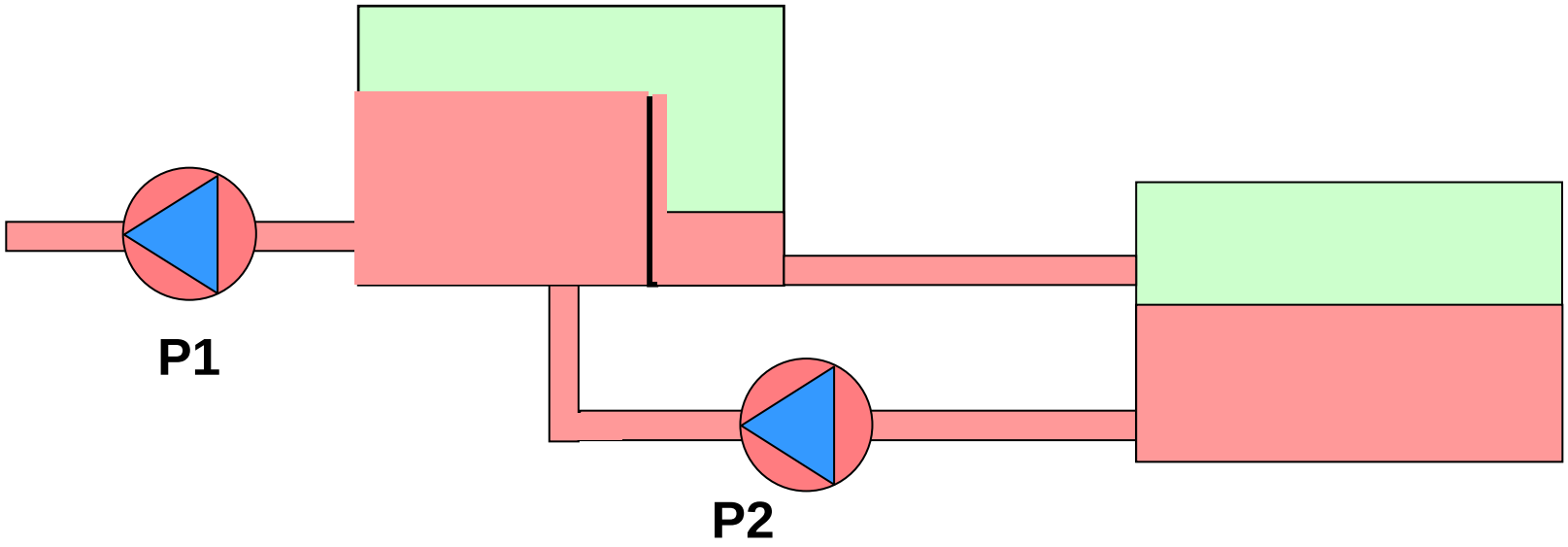


Pumpensaugleitung





Ansaugbehälter mit Konstantniveau



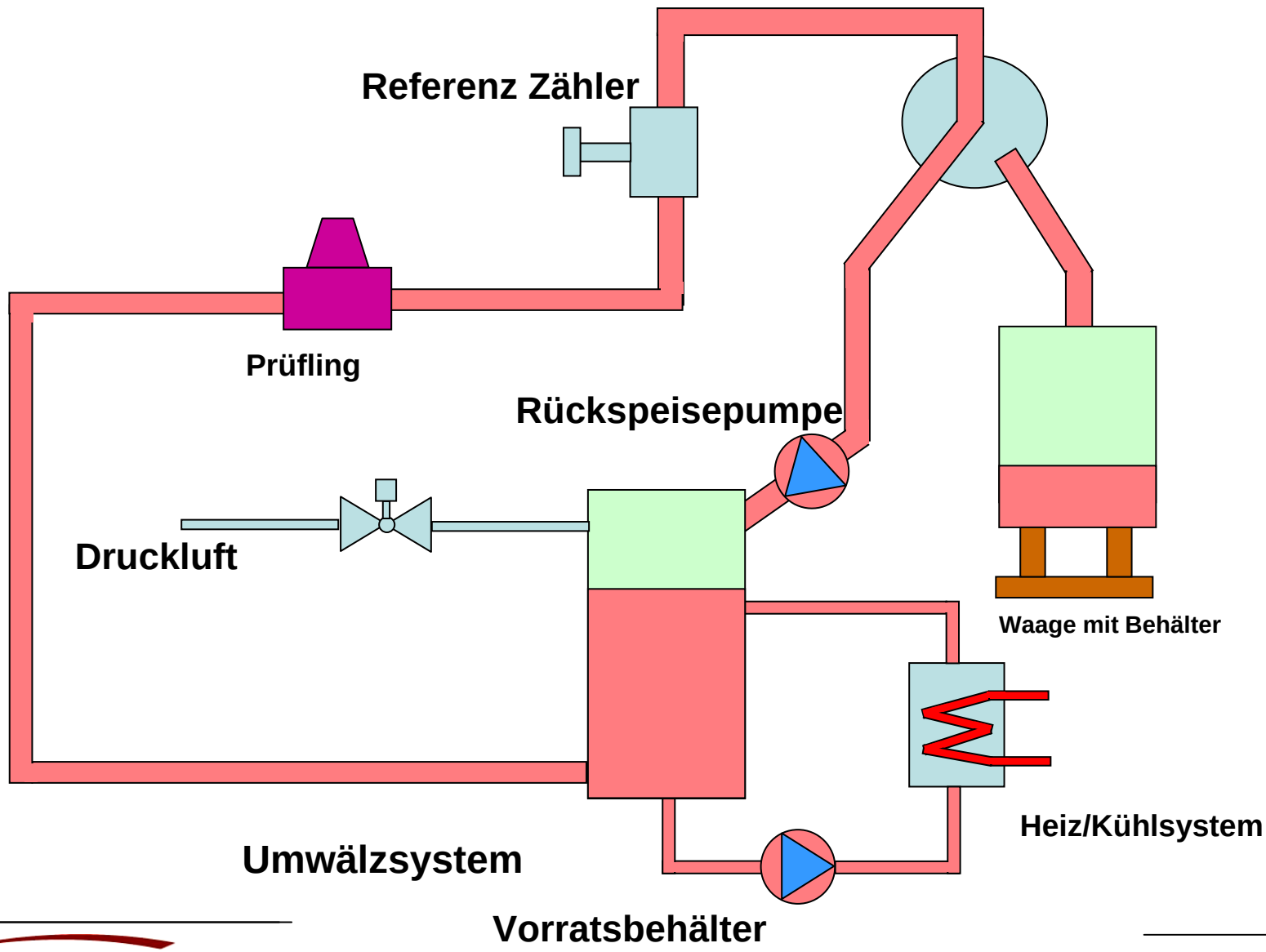
$$Q_{P2} > Q_{P1}$$

Überlaufkanten eines Konstantniveau-Behälters

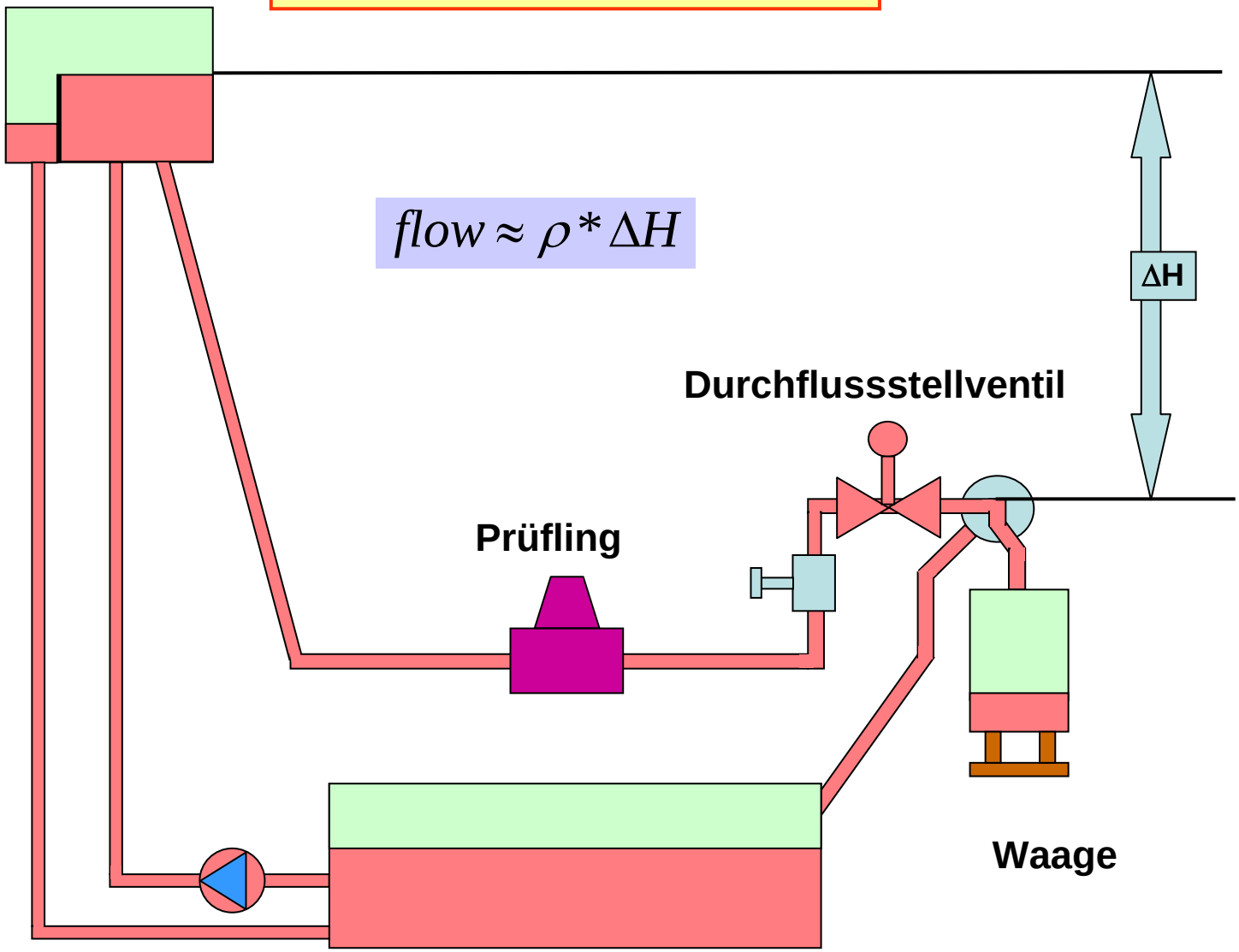
Umwälzsystem

- Aufbau des Durchflusses
- Durchflussstabilität besser 1%
- möglichs schneller Durchflussaufbau
- möglichst keine Störungen der Strömung

Durchflussaufbau mittels Druckluft

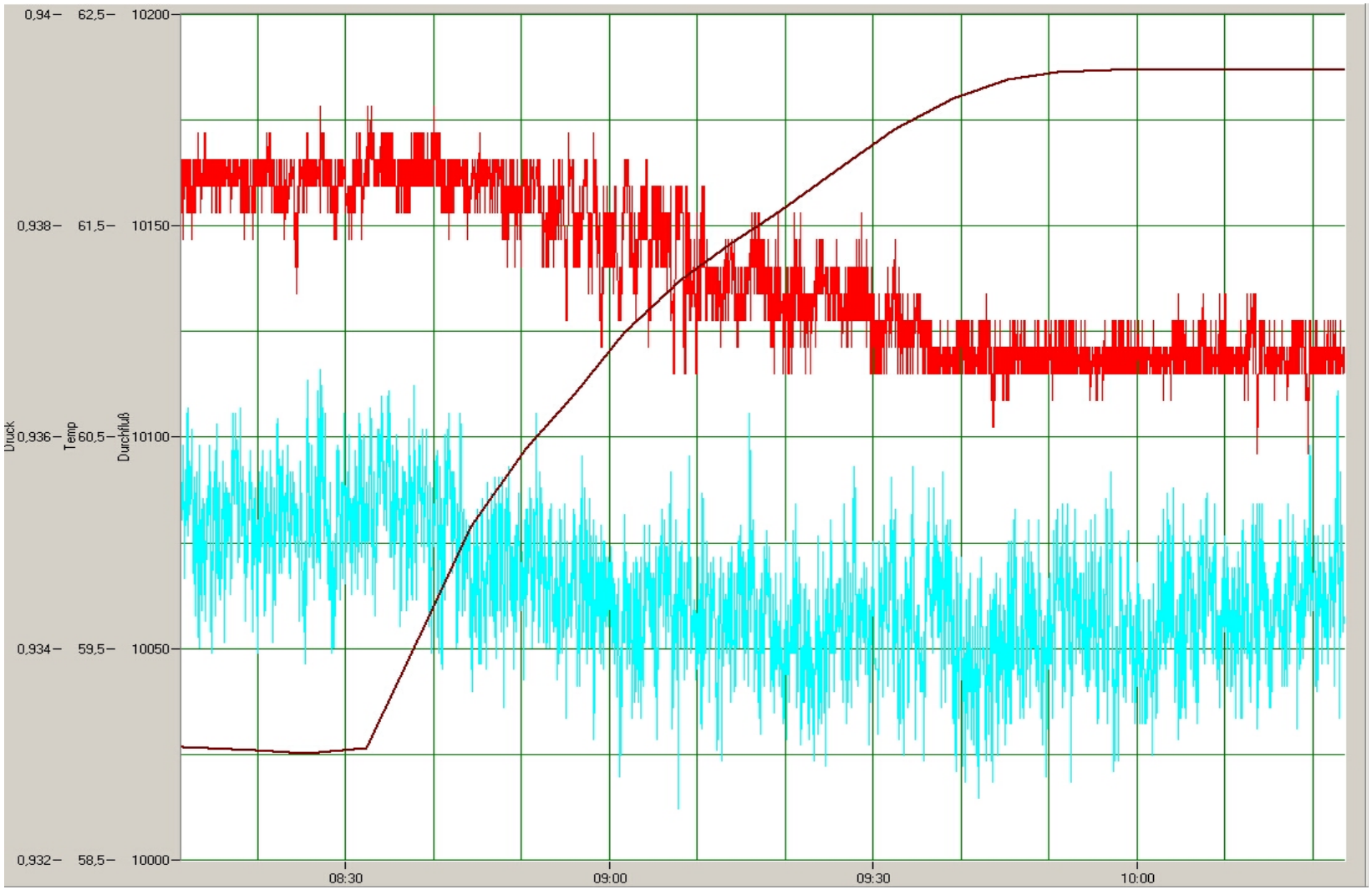


Hochbehälter

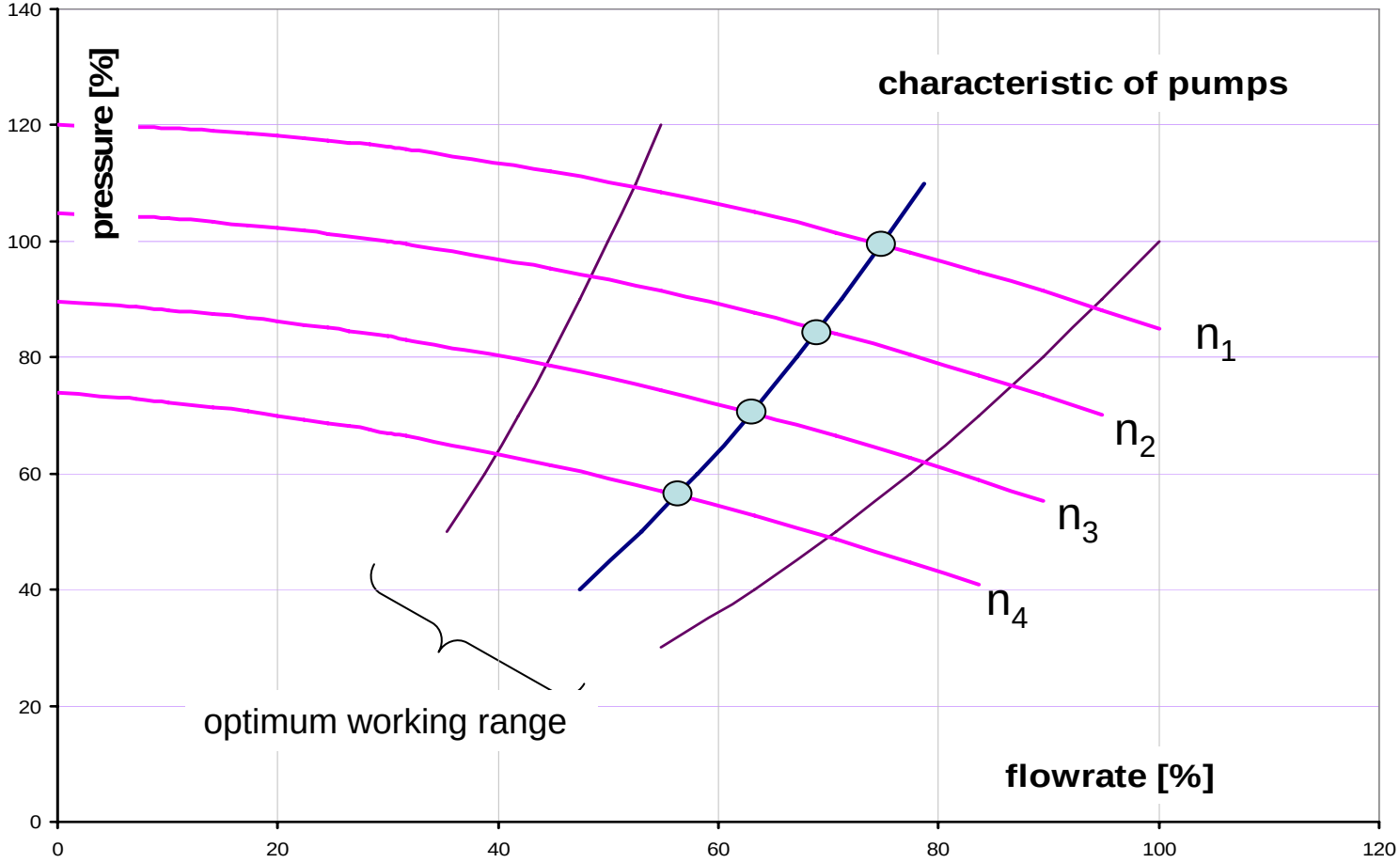


$$flow \approx \rho * \Delta H$$

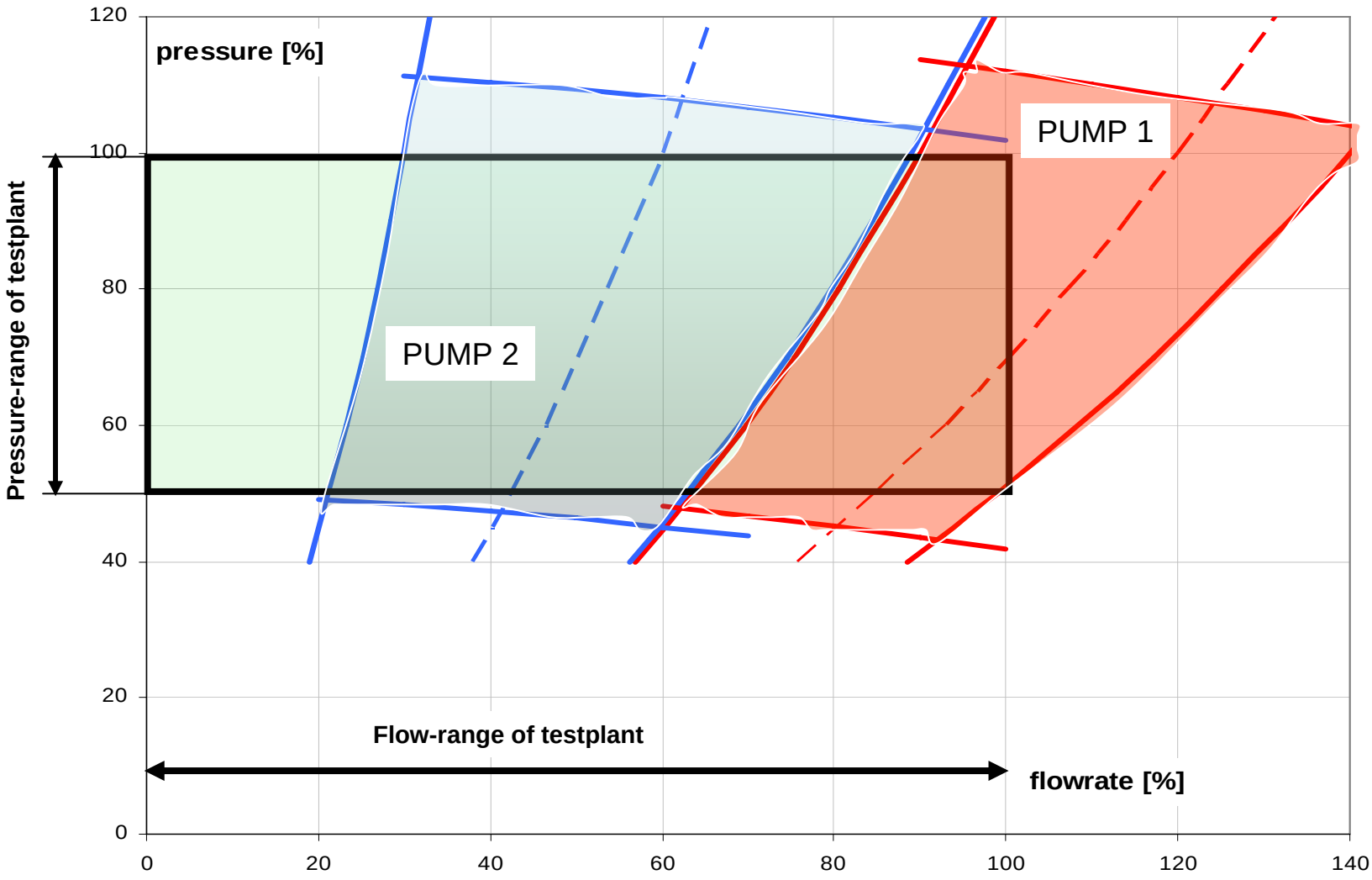
Hochbehälterbetrieb: Temperatur-Durchfluss



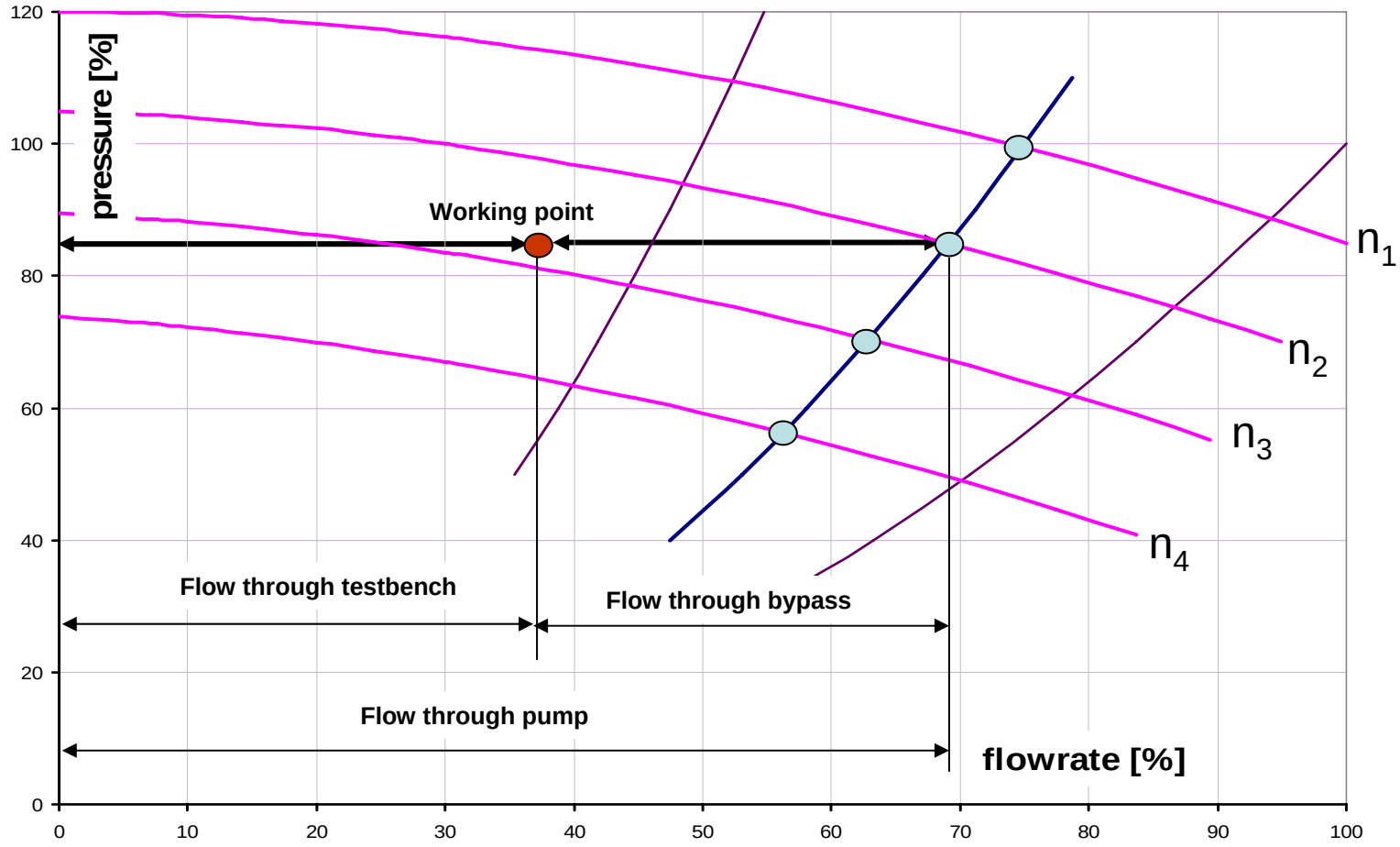
Arbeitsbereich von Kreiselpumpen



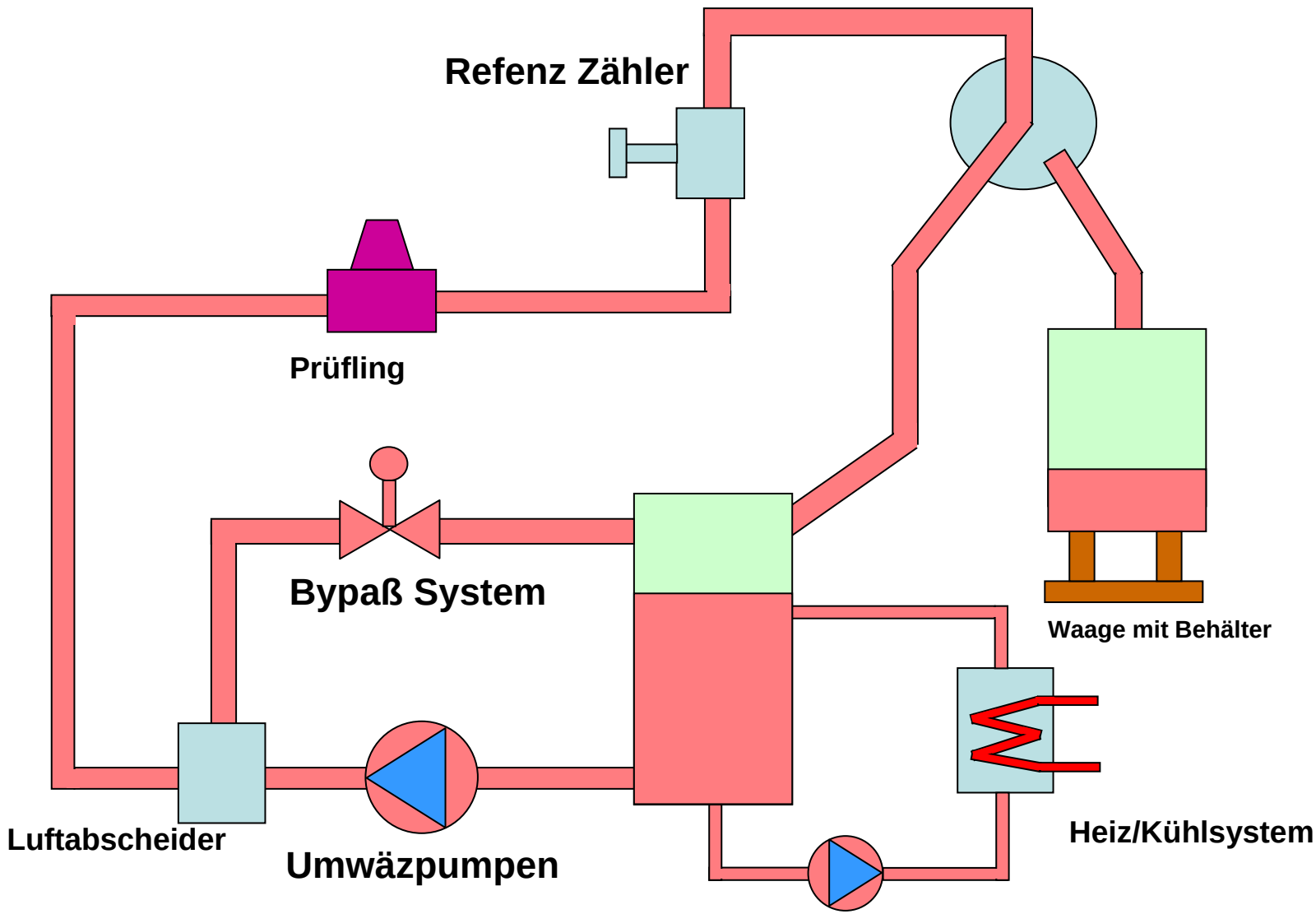
Auswahl von Kreiselpumpen



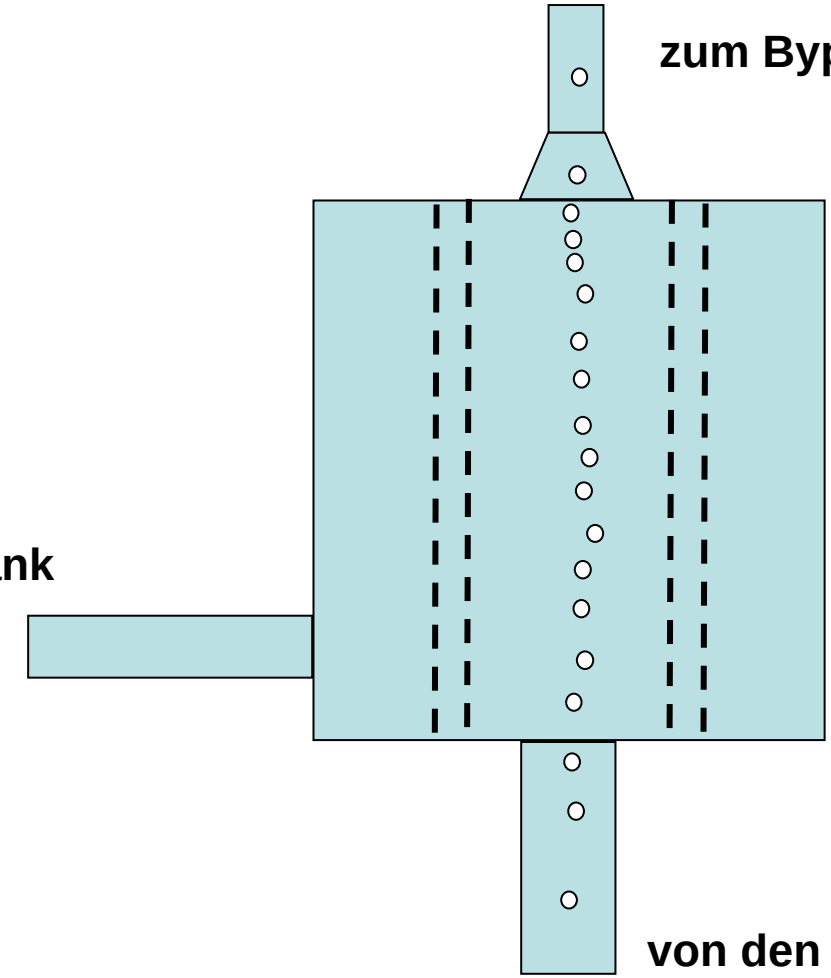
Bypass-system



Prüfanlage mit Bypaßsystem



Luftabscheider

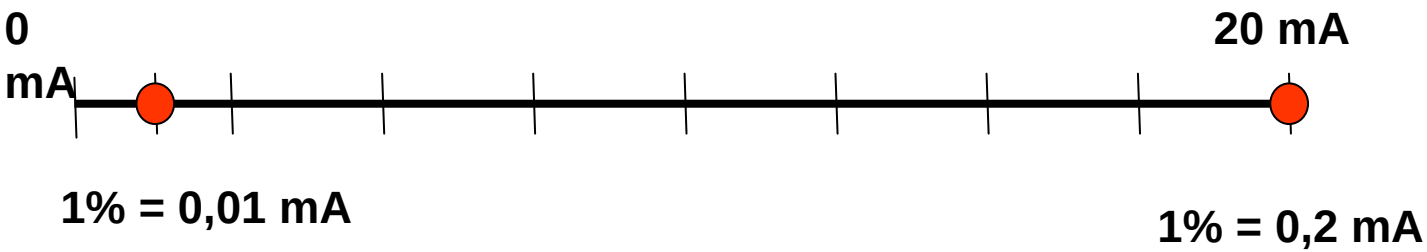


Durchfluss Regelroutine

$$Y=Fp*(W-X) + Fi*Su(W-X) + Fd*(W_1-W_2)*(X_1-X_2)$$

Y: Stellgröße
X: Istwert
W: Sollwert

Fp: Proportionalfaktor
Fi: Integralfaktor
Fd: Differetialfaktor



Ausganssignal der Durchflußmessung

Normierte Eingangsgrößen der Regelroutine

W…..Sollwert

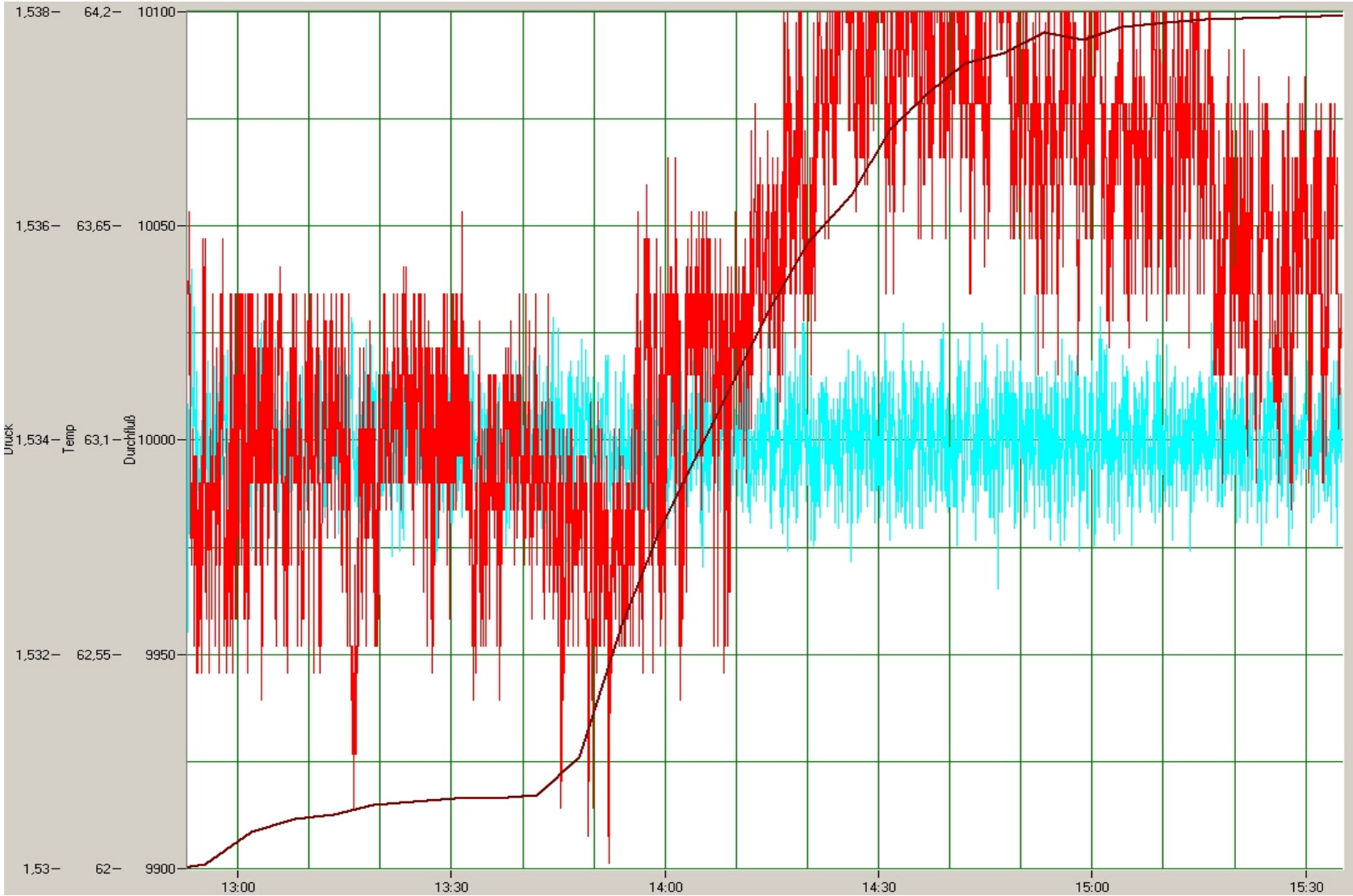
Wn….normierter Sollwert z.B. 1 oder 100 oder 10000

X ….gemessener Istwert

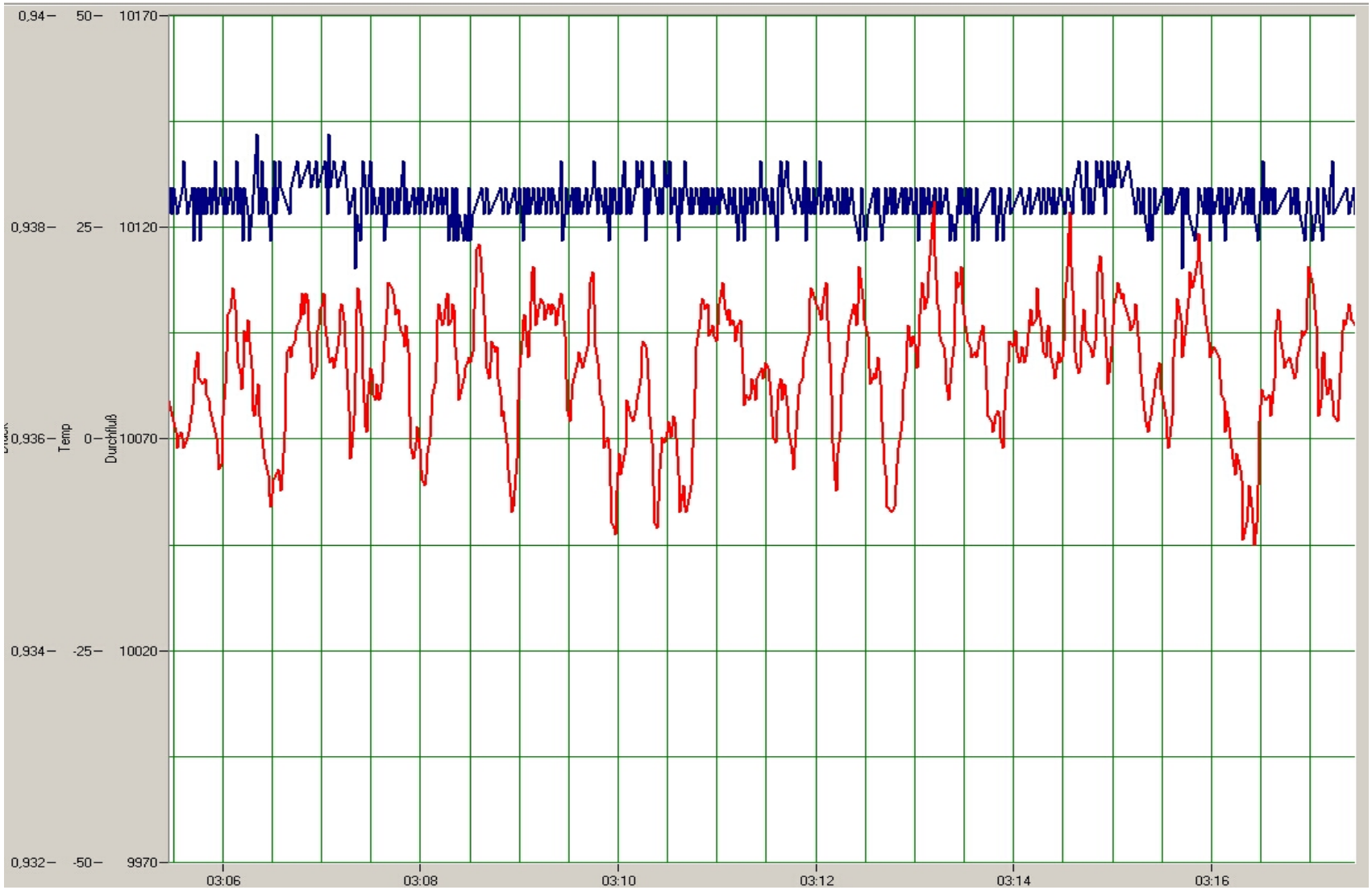
Xn…..normierter Istwert

$$Xn = (X / W) * Wn$$

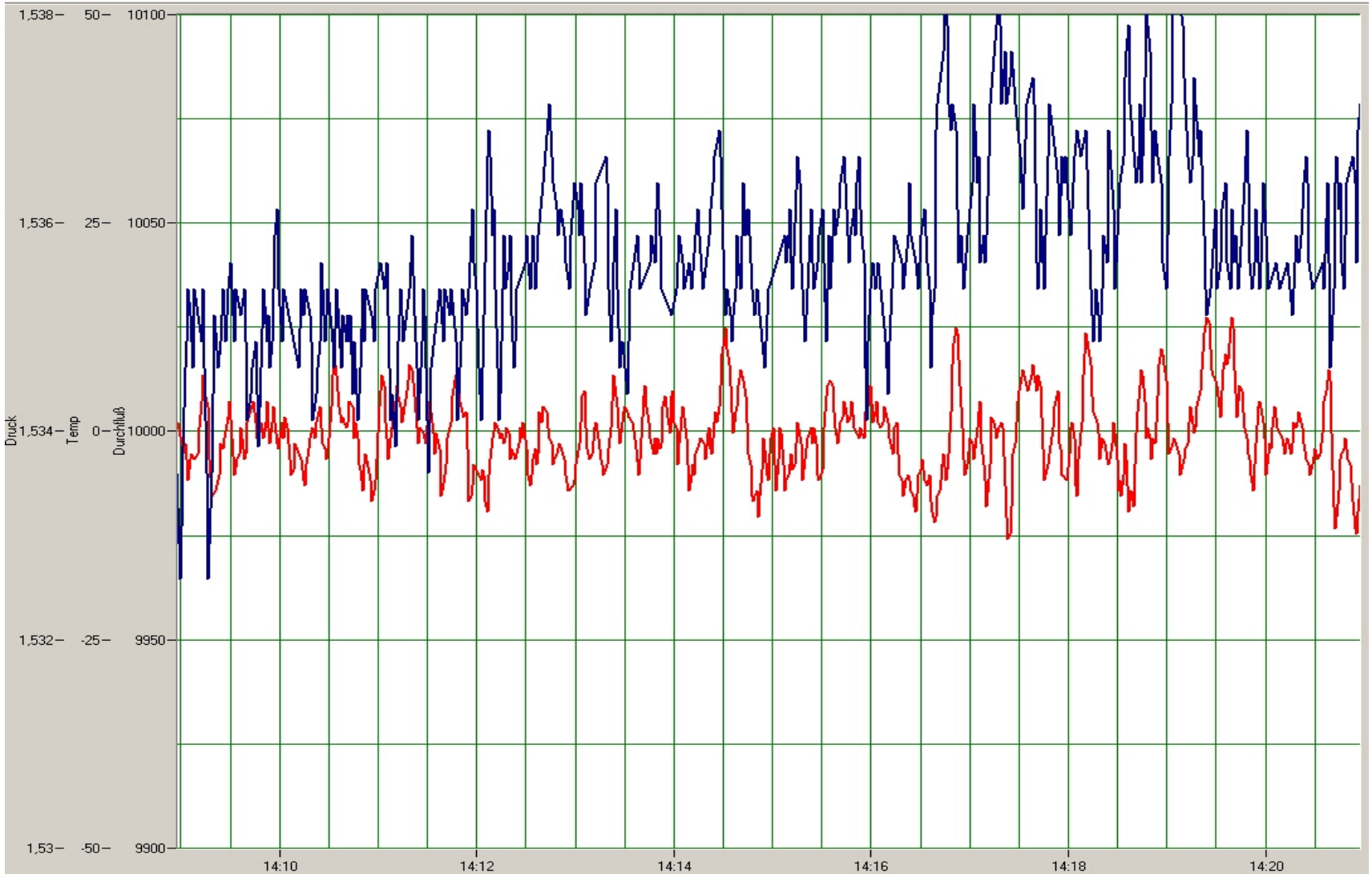
Pumpenbetrieb: Temperatur-Durchfluss



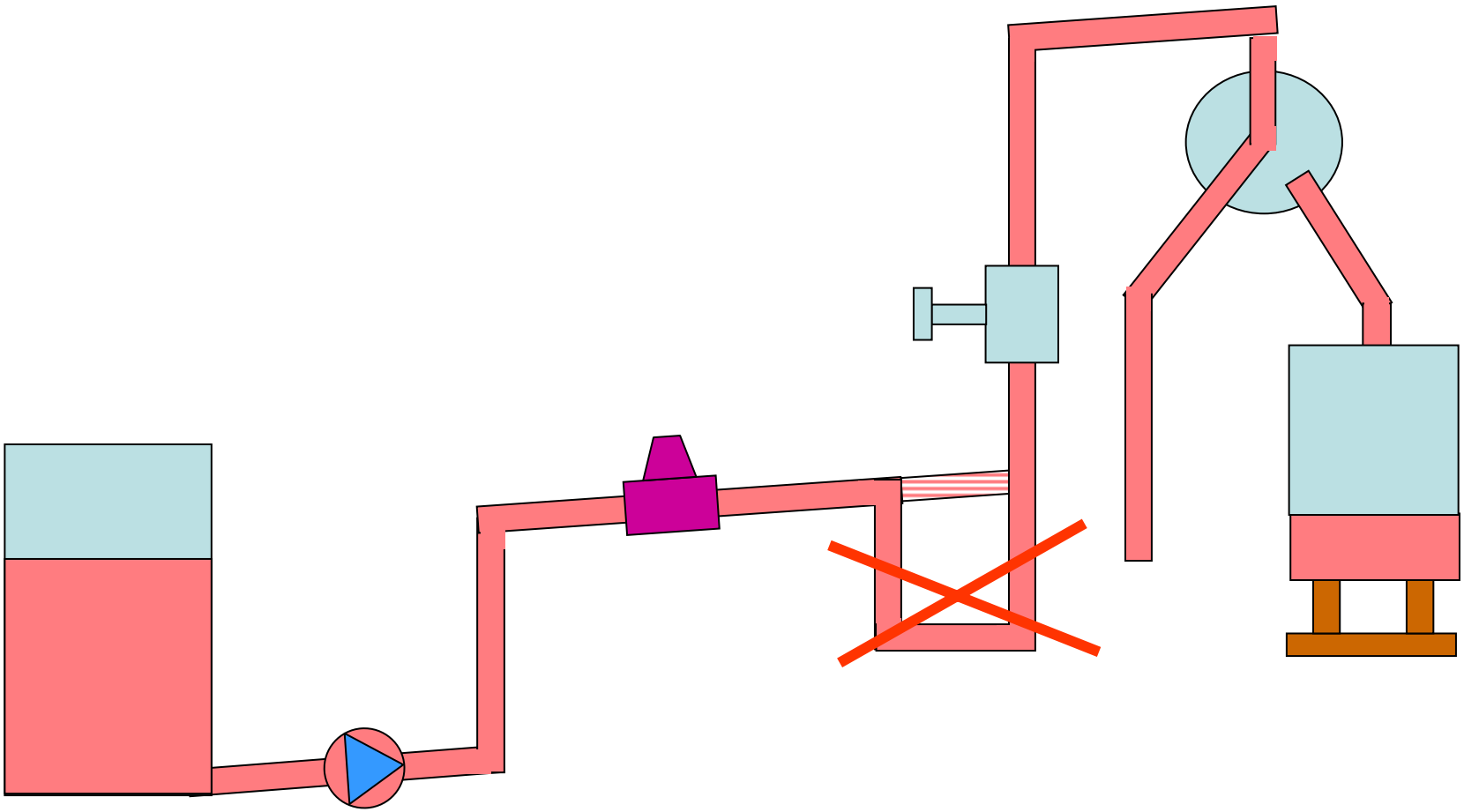
Druckschwankungen Hochbehälterbetrieb



Druckschwankungen Pumpenbetrieb

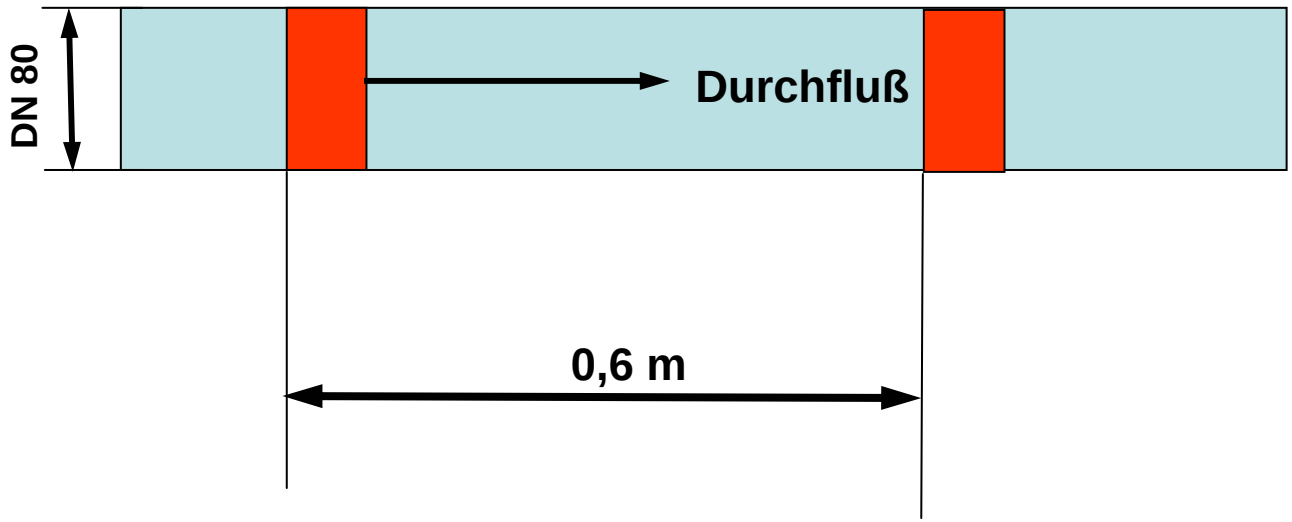


Rohrsystem

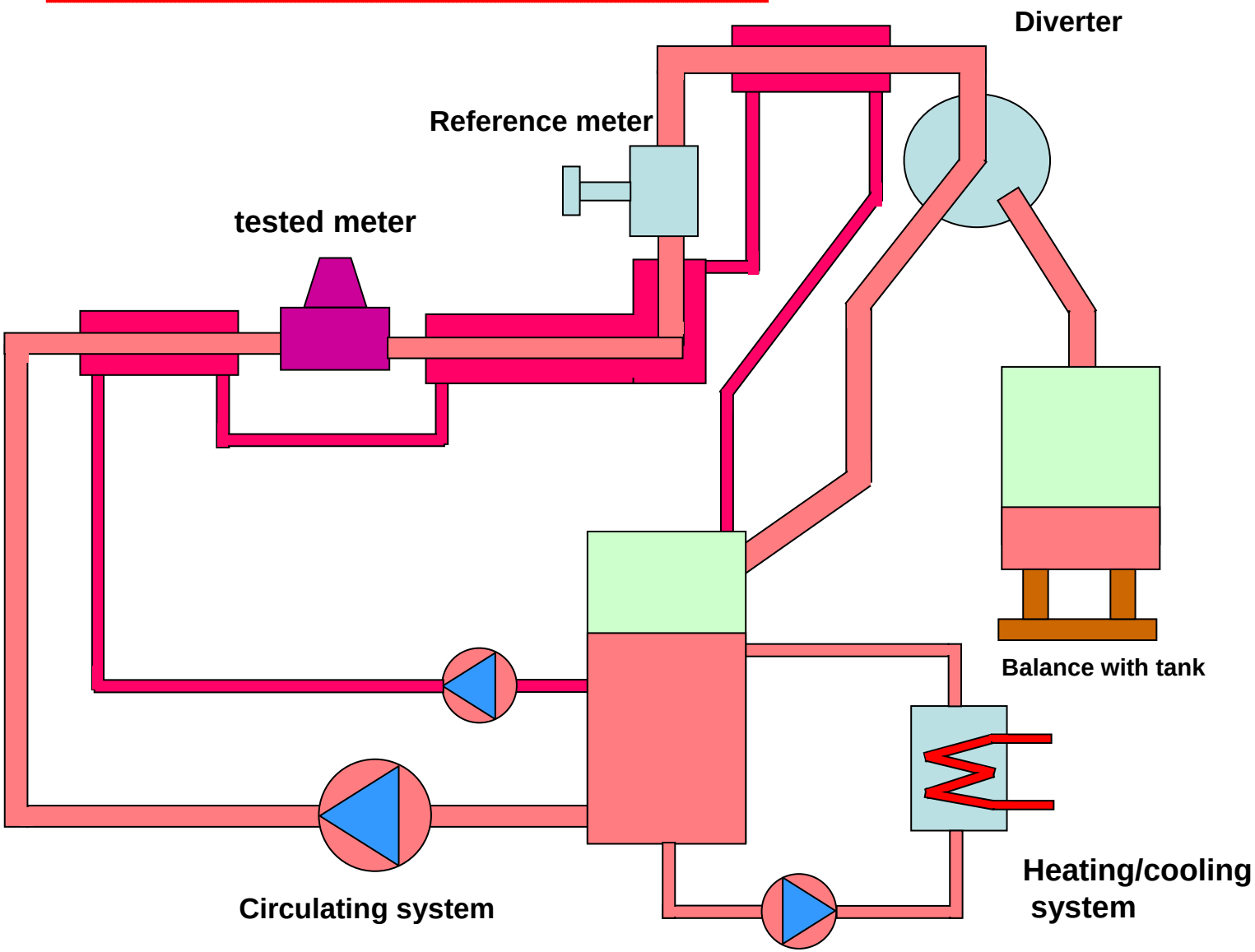


Temperaturstabilität

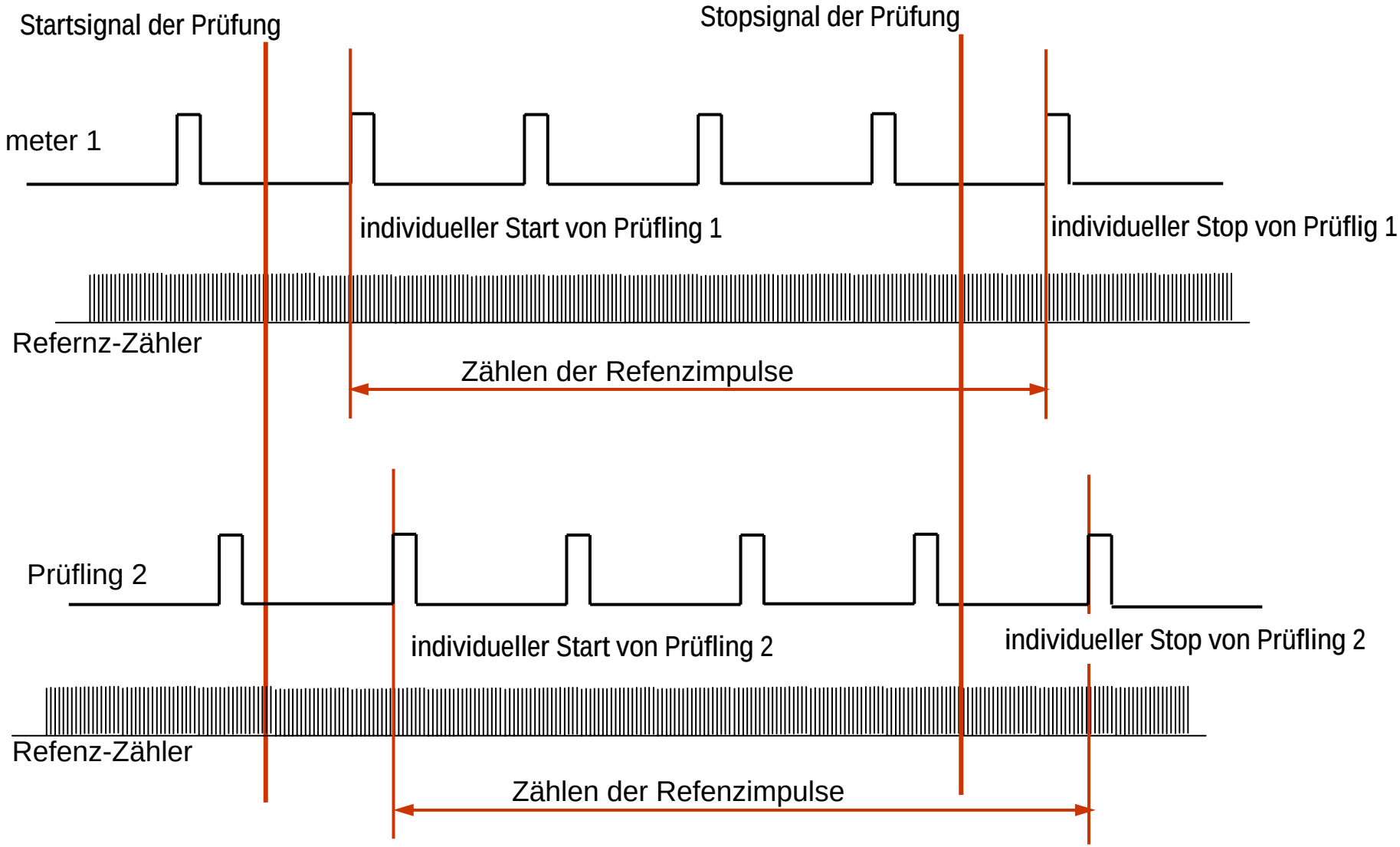
Rohrdimension:	DN 80
Durchfluß:	6 lit/h
Prüfdauer:	30 min



Begleitheizsystem



Synchronisation des Prüflings mit dem Referenz-Zähler



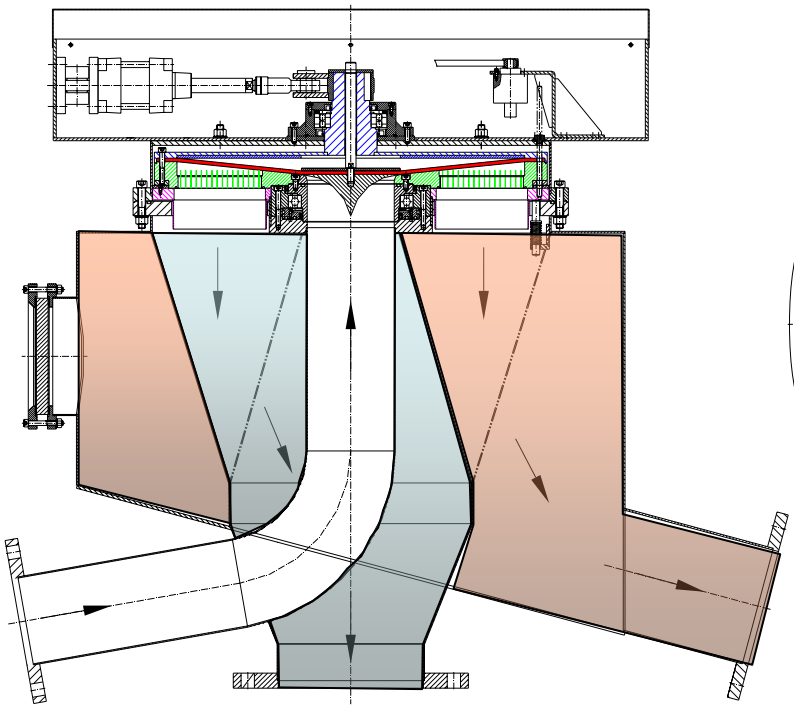
VMK2000+ - das neue universelle Interface zur Wärmezählerprüfung

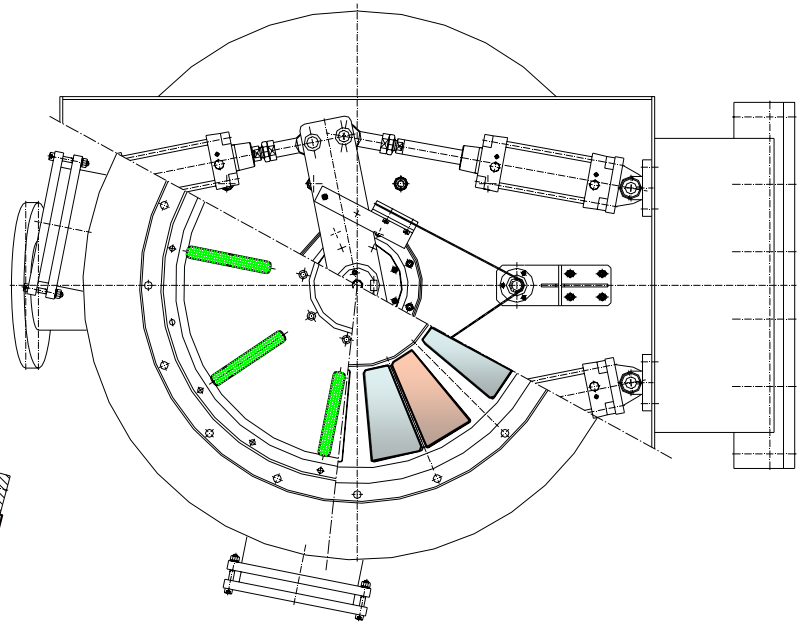
testbench with VMK and NOWA interfaces

Anforderungen an einen Diverter

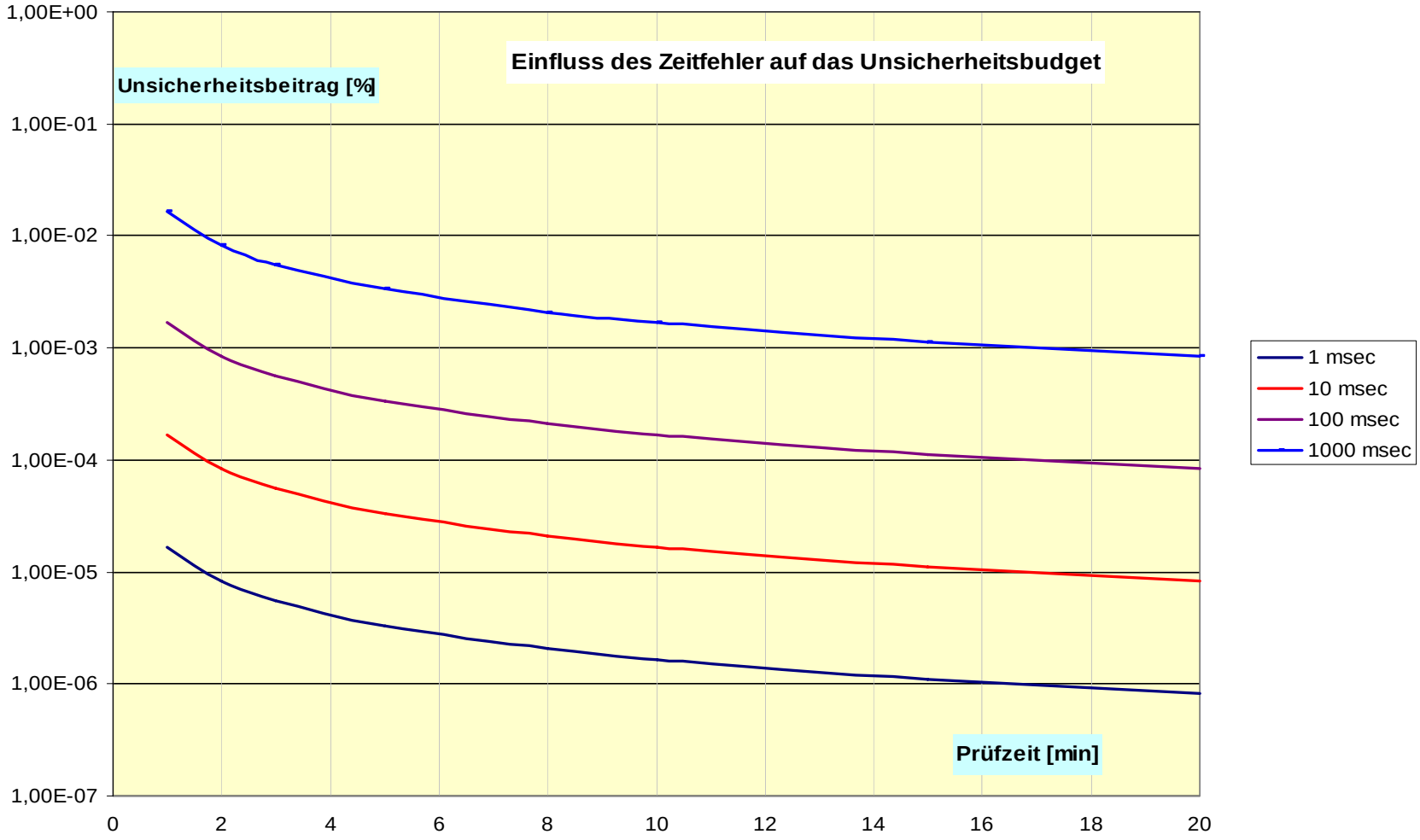
- Umschalten des Durchflusses vom Rückflussbehälter zum Waagebehälter
- Umschaltzeit so kurz wie möglich (10 – 30 msec)
- keine Druckspitzen durch das Umschalten
- keine Durchfluss-Schwankungen durch das Umschalten
- keine Verdampfungsverluste im Diverter

Diverter





Einfluss des Diverter-Zeitfehlers auf das Unsicherheitsbudget



Primär Normal

Waage mit Behälter

- weiter Arbeitsbereich mit hoher Genauigkeit
- automatisch Auslesung
- Ergebnis vom Bedienpersonal unabhängig
- einfaches Rekalibrieren
- Unsicherheit besser 10^{-4}
- einfachere Traceability

Volumetrischer Behälter

- große Behälter mit geringerer Auflösung
- manuelles Auslesen
- Ergebnis vom Geschick des Bedieners abhängig
- Rekalibrierung aufwendiger
- Unsicherheit schlechter 10^{-3}
- nicht so einfache Traceabilty

Traceability bei Durchflusszählerprüfanlagen

- **Masse-Standard international (Paris)**

↓

- **Masse Standard national**

↓

- **Masse Transfer-standard**

↓

- **Kalibriergewichte für die Waage (Primärreferenz)**

↓

- **Kalibrieren der Sekundärreferenz (MID)**

Messunsicherheit

according to:

OIML R 75 and EN 1434

uncertainty of testplant

< 1/5 uncertainty of meter

uncertainty of meter 1% → **uncertainty of testplant < 0,2 %**

Bestimmung der Unsicherheit eines Messvorganges

Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)

Funktion des Messprozesses

$Y=G(X_1, X_2,.....Xi.....Xn)$

Varianz des Messergebnisses

$$S_Y^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial G}{\partial X_i} \right)^2 * S_{x_i}^2$$

Ermittlung der Messunsicherheit eines Durchflusszähler-Prüfstandes

Messwertgleichung

$$F = \left(\frac{V_{ist}}{V_{soll}} - 1 \right)$$

Differentiation nach den Einflussgrössen

$$S_F^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial V_{ist}} \right)^2 * S_{V_{ist}}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial V_{soll}} \right)^2 * S_{V_{soll}}^2$$

$$S_F^2 = \left(\frac{1}{V_{soll}} \right)^2 * S_{V_{ist}}^2 + \left(\frac{V_{ist}}{V_{soll}^2} \right)^2 * S_{V_{soll}}^2$$

Deffinition des Referenzvolumens

$$V_{soll} = \left(n_{mP*} a_m * K_m \right) * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}} + \Delta V_R + \Delta V_L$$

Unsicherheitsbudget der Prüfung des Prüflings

$$S_F^2 = \left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * a_P^2 * S_{nP}^2 +$$

Auslesen des Prüflings

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(a_m * K_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * S_{n_mP}^2$$

Anzahl der Referenzzähler-Einheiten

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * K_m * \frac{\rho^{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * S_{a_m}^2$$

Auflösung des Referenzzählers

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * (n_{mP} * a_m * K_m)^2 * S_{\frac{\rho Ref}{\rho Prf}}^2$$

Dichte-Korrektur

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * S_{\Delta V_R}^2$$

Temperaturstabilität des Rohrsystems

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * S_{\Delta V_L}^2$$

Luft im Prüfwasser

Unsicherheitsbudget der Referenzzähler-Kalibrierung

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * a_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * \left(\frac{1}{V_{Ref}}\right)^2 * a_m^2 * S_{n_{mR}}^2$$

Anzahl der Referenzzähler-Einheiten

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * a_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * \left(\frac{f_T}{V_{Ref} * \rho_{Ref}}\right)^2 * S_{G_W}^2$$

Unsicherheit der Waage

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * a_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * \left(\frac{G_W}{V_{Ref} * \rho_{Ref}}\right)^2 * S_{f_T}^2$$

Auftriebs und Verdunstungskorrektur

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * a_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * \left(\frac{G_W * f_T}{V_{Ref} * \rho_{Ref}^2}\right)^2 * S_{\rho_{Ref}}^2$$

Dichtemessung

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * a_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * \left(\frac{1}{V_{Ref}}\right)^2 * S_{\Delta V_U}^2$$

Unsicherheit des Diverters

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * a_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * \left(\frac{1}{V_{Ref}}\right)^2 * S_{\Delta V_{RR}}^2$$

Temperaturstabilität des Rohrsystems

$$+\left(\frac{1}{V_P}\right)^2 * \left(n_{mP} * a_m * \frac{\rho_{Ref}}{\rho_{Prf}}\right)^2 * \left(\frac{1}{V_{Ref}}\right)^2 * S_{\Delta V_{LR}}^2$$

Luft im Prüfwasser

Dichtekorrektur

Dichte bei der Temperatur t :

$$\rho(t) = \rho_0(t) + \rho_m(t_m) - \rho_0(t_m)$$

$\rho(t)$ ..... Dichte bei der Temperatur t
$\rho_0(t)$..... Ideale Dichte bei der Temperatur t
$\rho_0(t_m)$.....Ideale Dichte bei der Messtemperatur t_m
$\rho_m(t_m)$.....Dichte gemessen bei der Temperatur t_m

Dichteverhälnis :

$$\frac{\rho_{t1}}{\rho_{t2}} = \frac{\rho_{0t1} - \rho_{0tm} + \rho_{tm}}{\rho_{0t2} - \rho_{0tm} + \rho_{tm}}$$

Beitrag der Dichte zum Unsicherheitsbudget

Einfluß der Dichtebestimmung

$$u^2(\rho) = \left(\frac{\partial \rho_0}{\partial t}\right)^2 \times u^2(t) + \left(\frac{\partial \rho_0}{\partial t_m}\right)^2 \times u^2(t_m) + u^2(\rho_m)$$

Einfluss des Dichrteverfhälnisses

$$u^2\left(\frac{\rho_{t1}}{\rho_{t2}}\right) = \left(\frac{1}{\rho_{0t2}} \times \frac{\partial \rho_{0t1}}{\partial t_1}\right)^2 \times u^2(t_1) + \left(\frac{-\rho_{0t1}}{\rho_{0t2}^2} \times \frac{\partial \rho_{0t2}}{\partial t_2}\right)^2 \times u^2(t_2) + \left(\frac{\rho_{0t2} - \rho_{0t1}}{\rho_{0t2}^2}\right)^2 \times u^2(\rho_{tm})$$

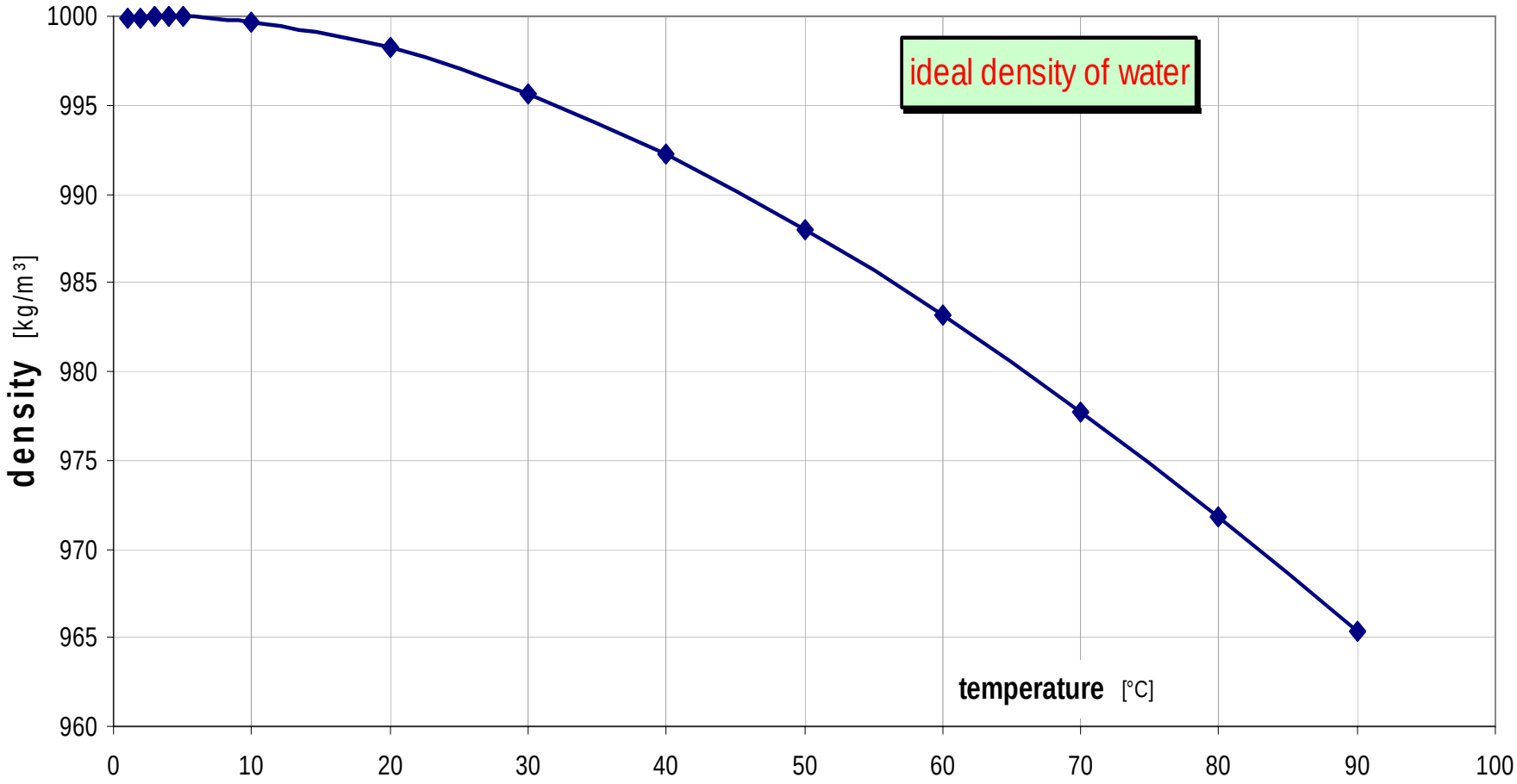
Dichte von ultrareinem Waser

Literature:
H.Bettin, F.Spieweck: Die Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur nach Einführung der Internationalen Temperaturskala von 1990, PTB-Mitteilungen Nr. 3/1990)

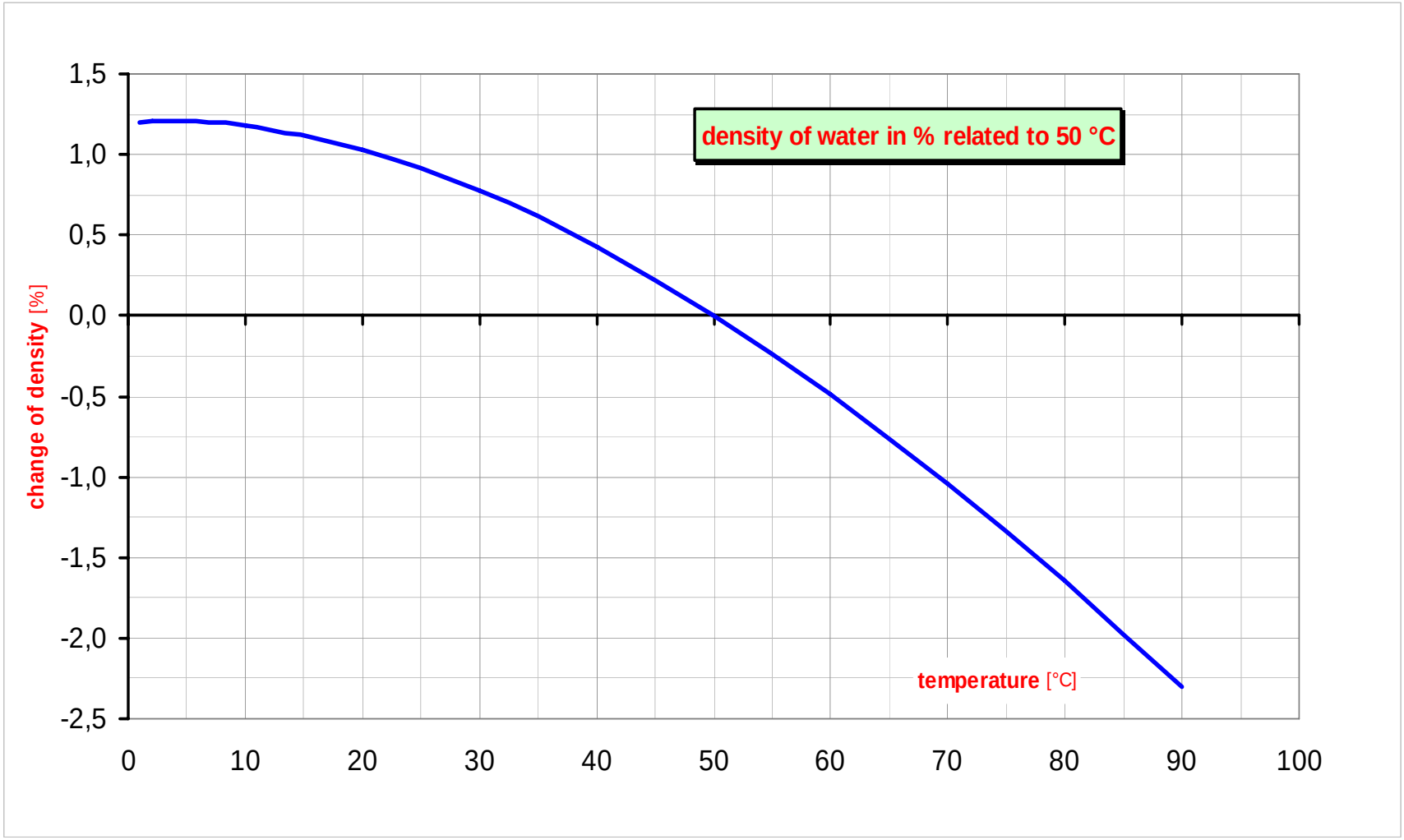
$$\rho_W = \frac{\sum_{n=0}^{5} a_n \times t^n}{1 + b \times t}$$

n	a_n	b
0	$9{,}9983952 \bullet 10^{2}$	$1{,}6887236 \bullet 10^{-2}$
1	$1{,}6952577 \bullet 10^{1}$	
2	$-7{,}9905127 \bullet 10^{-3}$	
3	$-4{,}6241757 \bullet 10^{-5}$	
4	$1{,}0584601 \bullet 10^{-7}$	
5	$-2{,}8103006 \bullet 10^{-10}$	

Dichte von Wasser nach Bettin,Spieweck



Dichte von Wasser in % auf 50°C bezogen

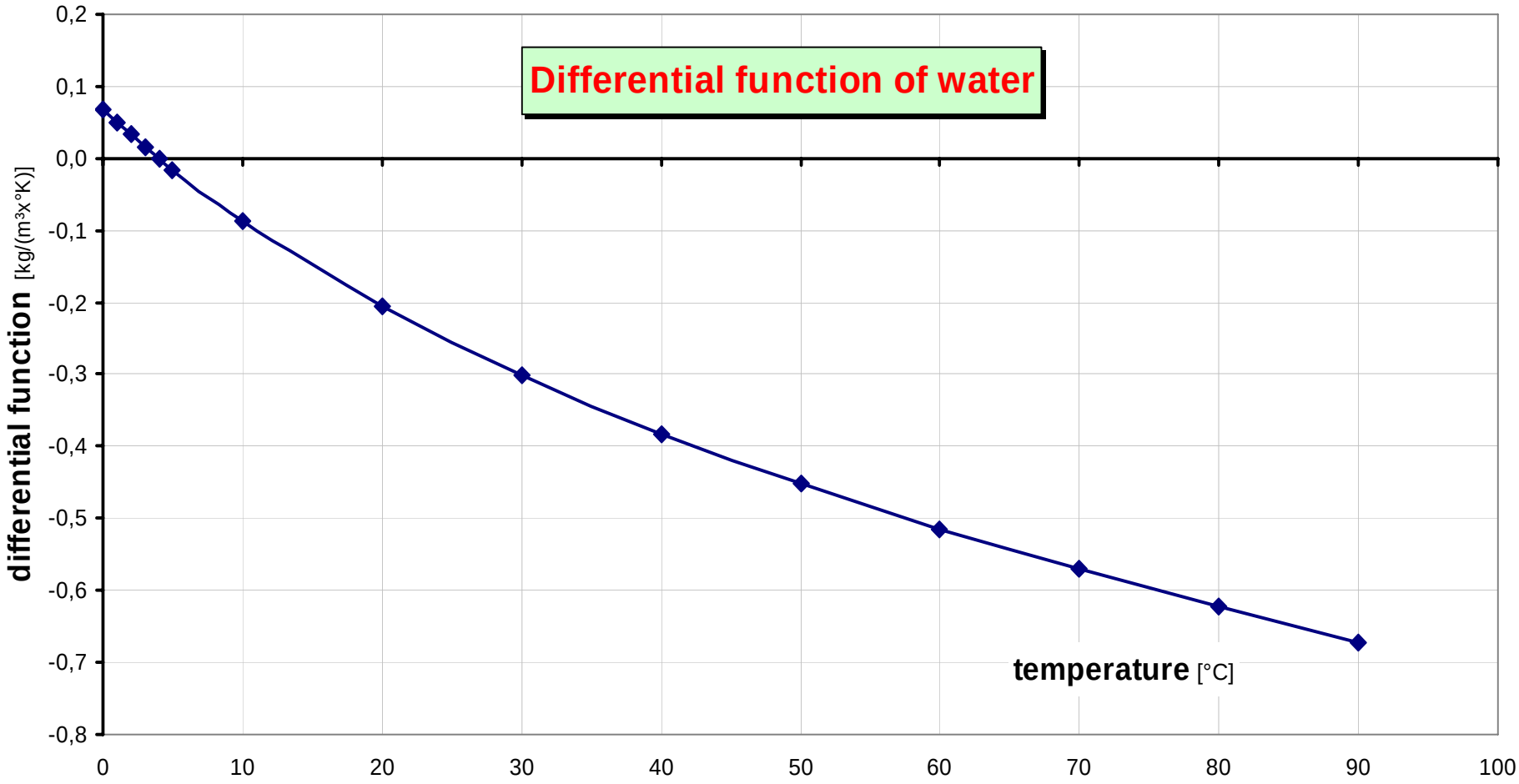


Derivation of the density to temperature

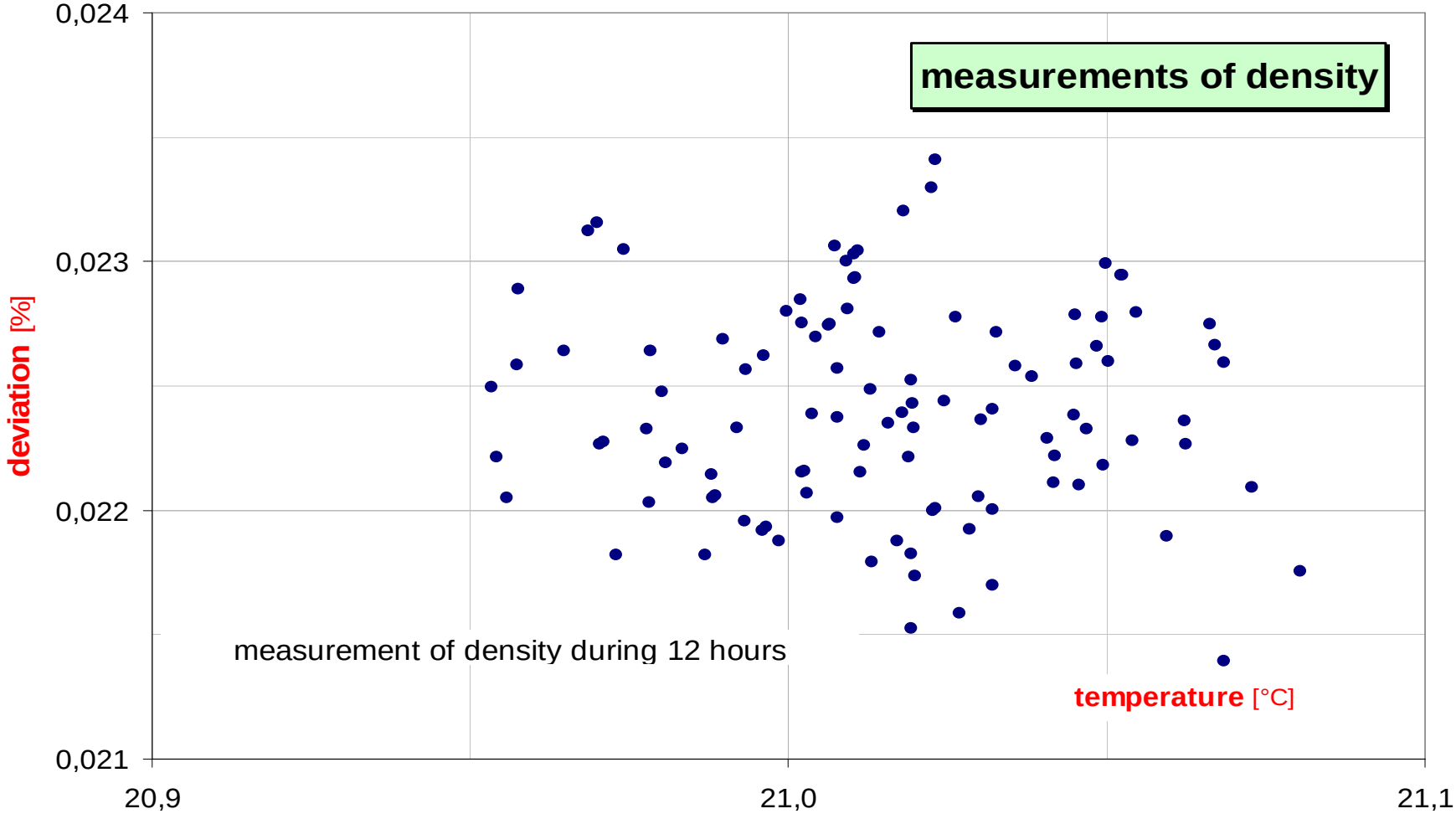
$$\frac{\partial \rho_W}{\partial t} = \frac{\sum_{n=0}^{5} A_n \times t^n}{(1 + b \times t)^2}$$

n	A_n	b
0	0,068051064	$1{,}6887236 \cdot 10^{-2}$
1	$-1{,}5981025 \cdot 10^{-2}$	
2	$-2{,}7366294 \cdot 10^{-4}$	
3	$-1{,}1384069 \cdot 10^{-6}$	
4	$3{,}9571894 \cdot 10^{-9}$	
5	$-1{,}8983284 \cdot 10^{-11}$	

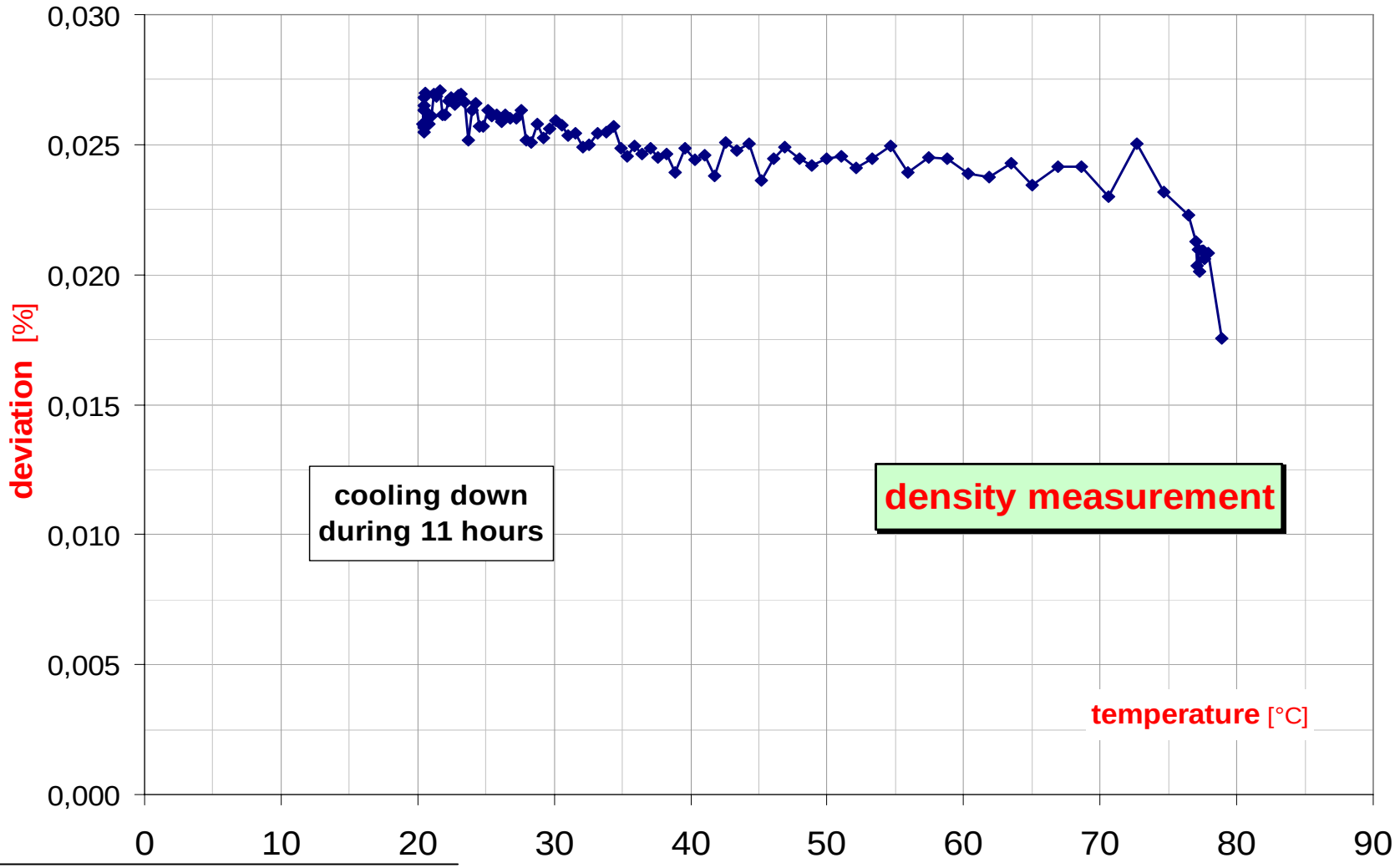
Derivation of the density of water by temperature



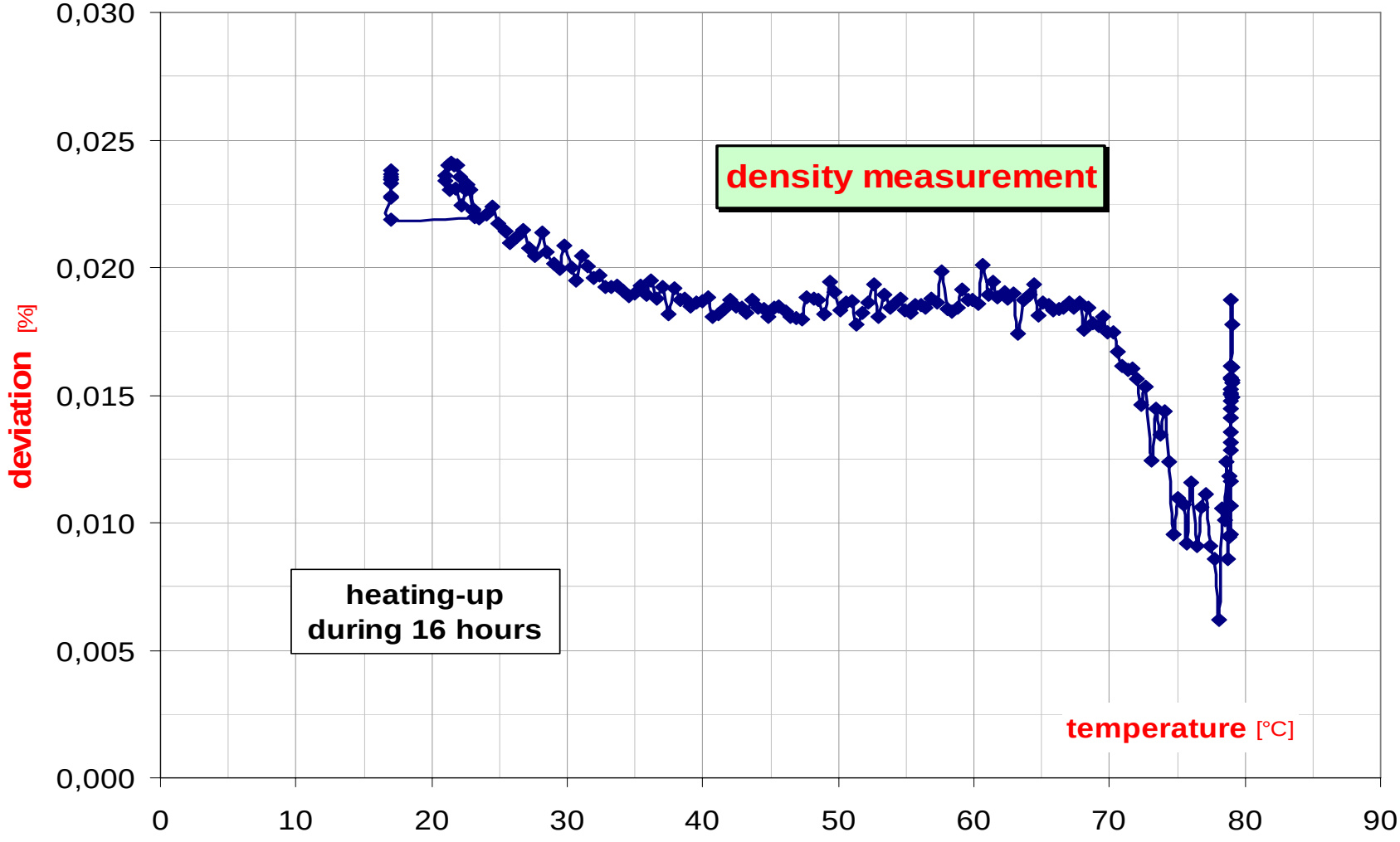
Reproducability of measurements of density



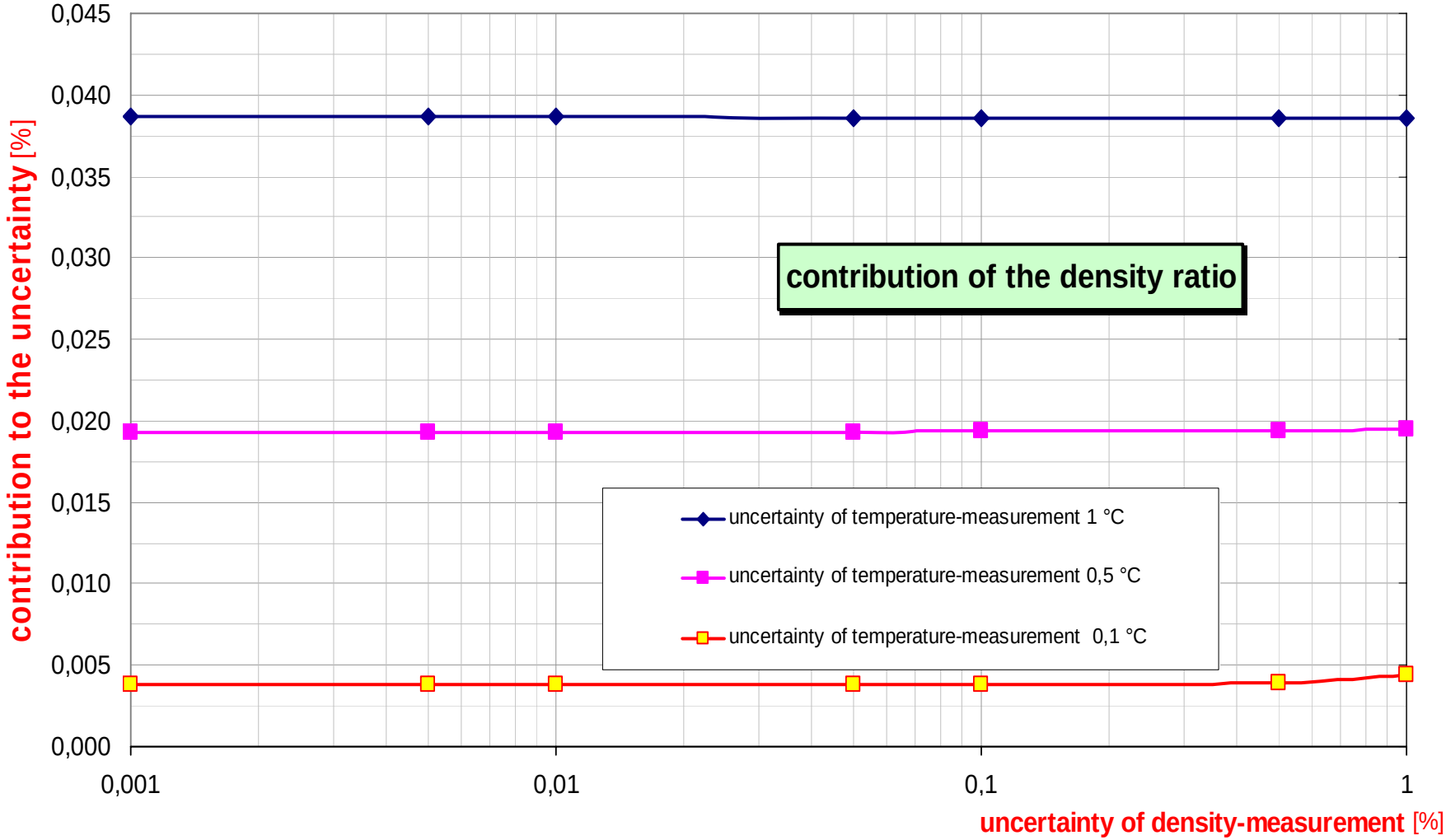
Results of density measurements



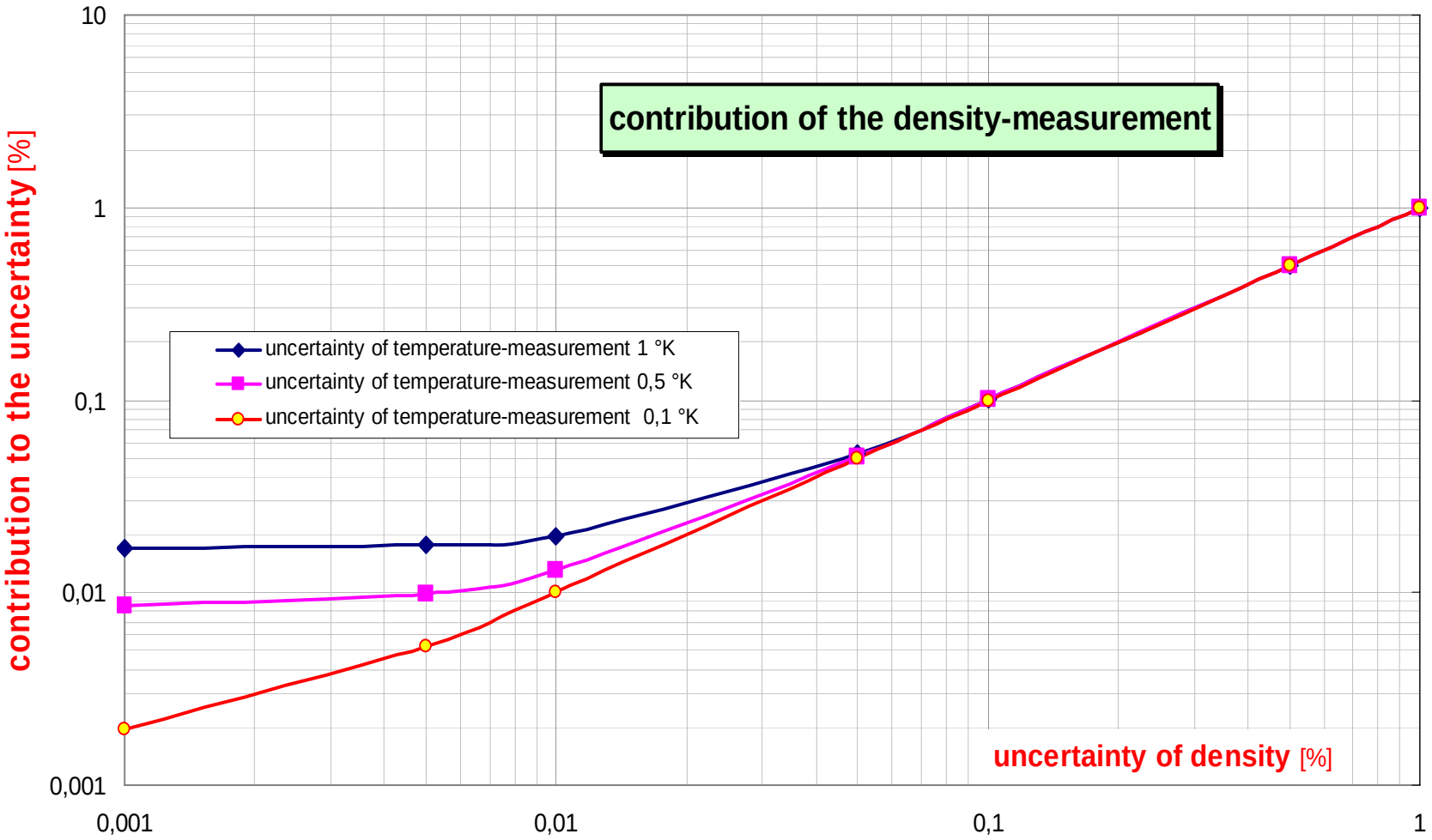
Results of density measurements



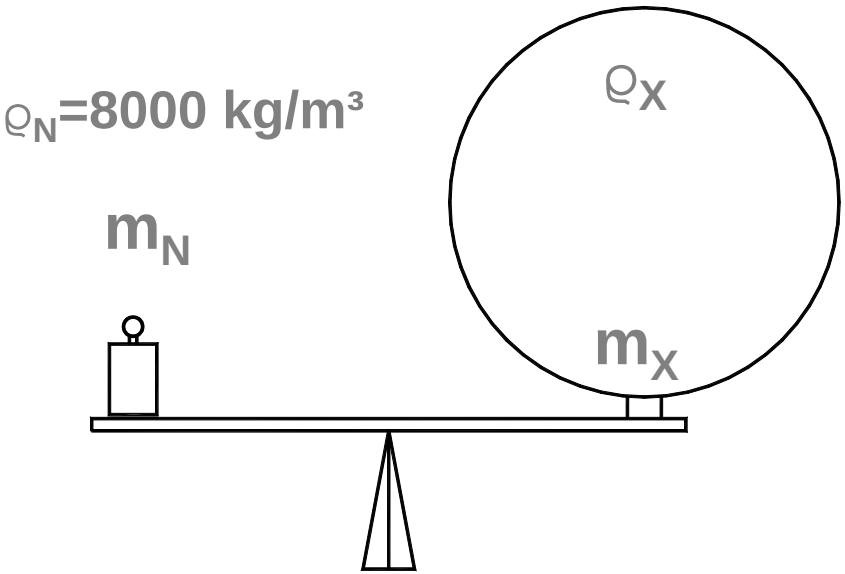
Contribution of the density-ratio to the uncertainty



Contribution of the density-measurement to the uncertainty



Weighing process



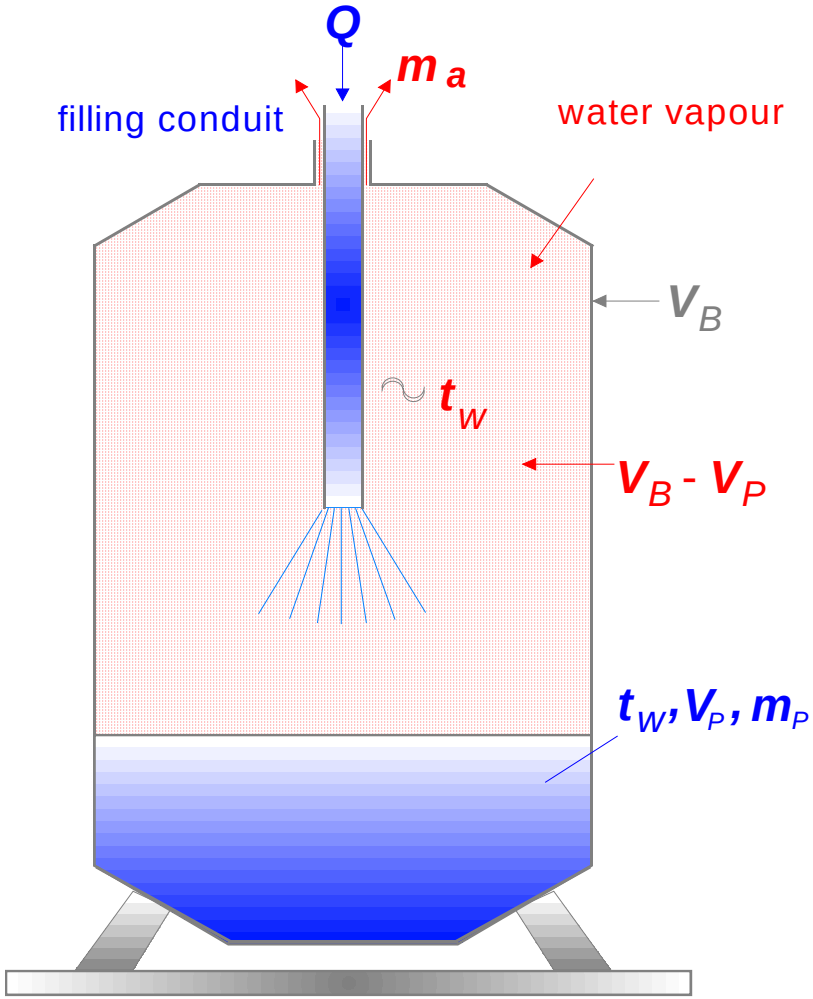
$$m_N \cdot g - \frac{m_N}{\rho_N} \cdot \rho_L \cdot g = m_X \cdot g - \frac{m_X}{\rho_X} \cdot \rho_L \cdot g$$

$$m_N \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_N}\right) = m_X \cdot \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_X}\right)$$

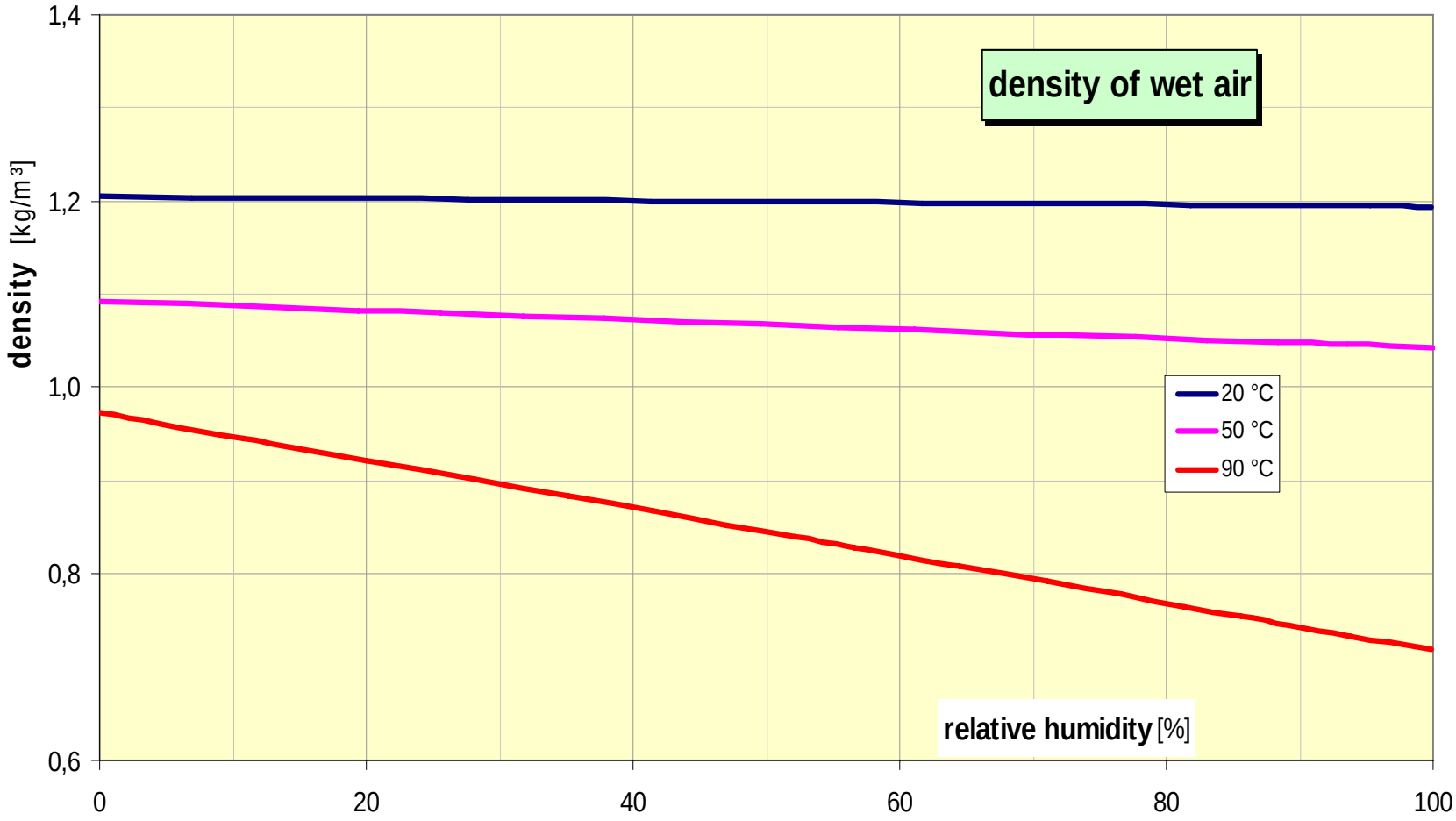
$$m_N \cdot \left(1 - \frac{1{,}2}{8000}\right) = m_X \cdot \left(1 - \frac{1{,}2}{\rho_X}\right)$$

$$m_X = m_N \cdot \frac{0{,}99985}{1 - \frac{1{,}2}{\rho_X}}$$

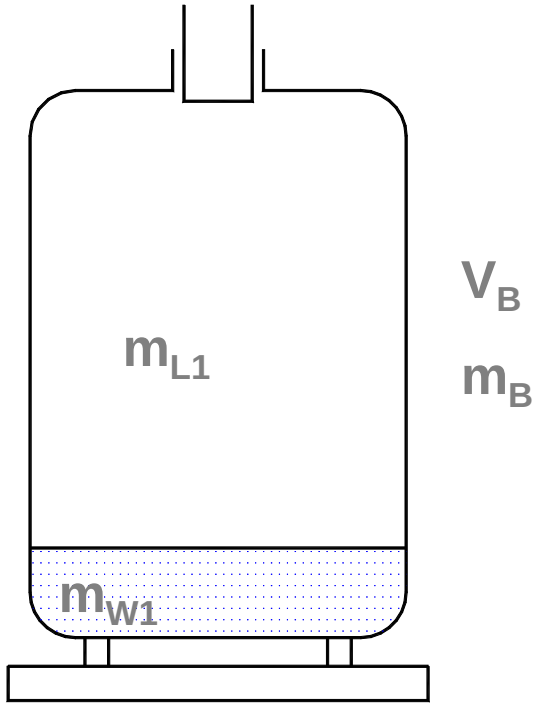
scale-tank



Density of wet air

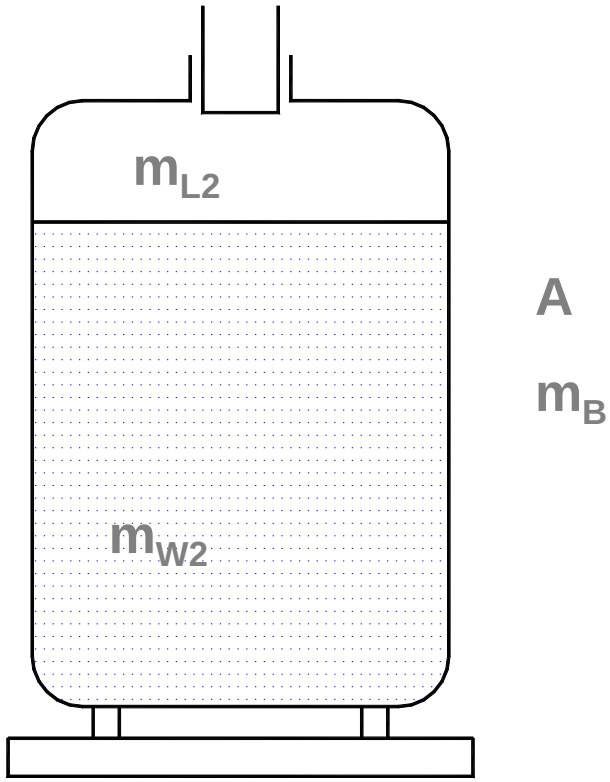


Startconditions of the testrun



$$W_1 (1-\rho_{Lu} / \rho_N) = m_B + m_{W1} + m_{L1} - A$$

Endconditions of testrun



$$W_2 (1-\rho_{Lu}/\rho_N) = m_B + m_{w2} + m_{L2} - A$$

Weighing result

$$W_2(1-\varrho_{Lu}/\varrho_N) = m_B+M_{W2}+m_{L2}-A$$

$$W_1(1-\varrho_{Lu}/\varrho_N) = M_B+M_{W1}+m_{L1}-A$$

$$(W2-W1)(1-\rho_{Lu}/\rho_N) = m_{W2}-m_{W1}+m_{L2}-m_{L1}$$

$$\boxed{m_{w2}=[\Delta W(1-\rho_{Lu}/\rho_N)-V_B(\rho_{L2}-\rho_{L1})]/(1-\rho_{L2}/\rho_{W2})}$$

Correction of buoyancy at the weighingprocess

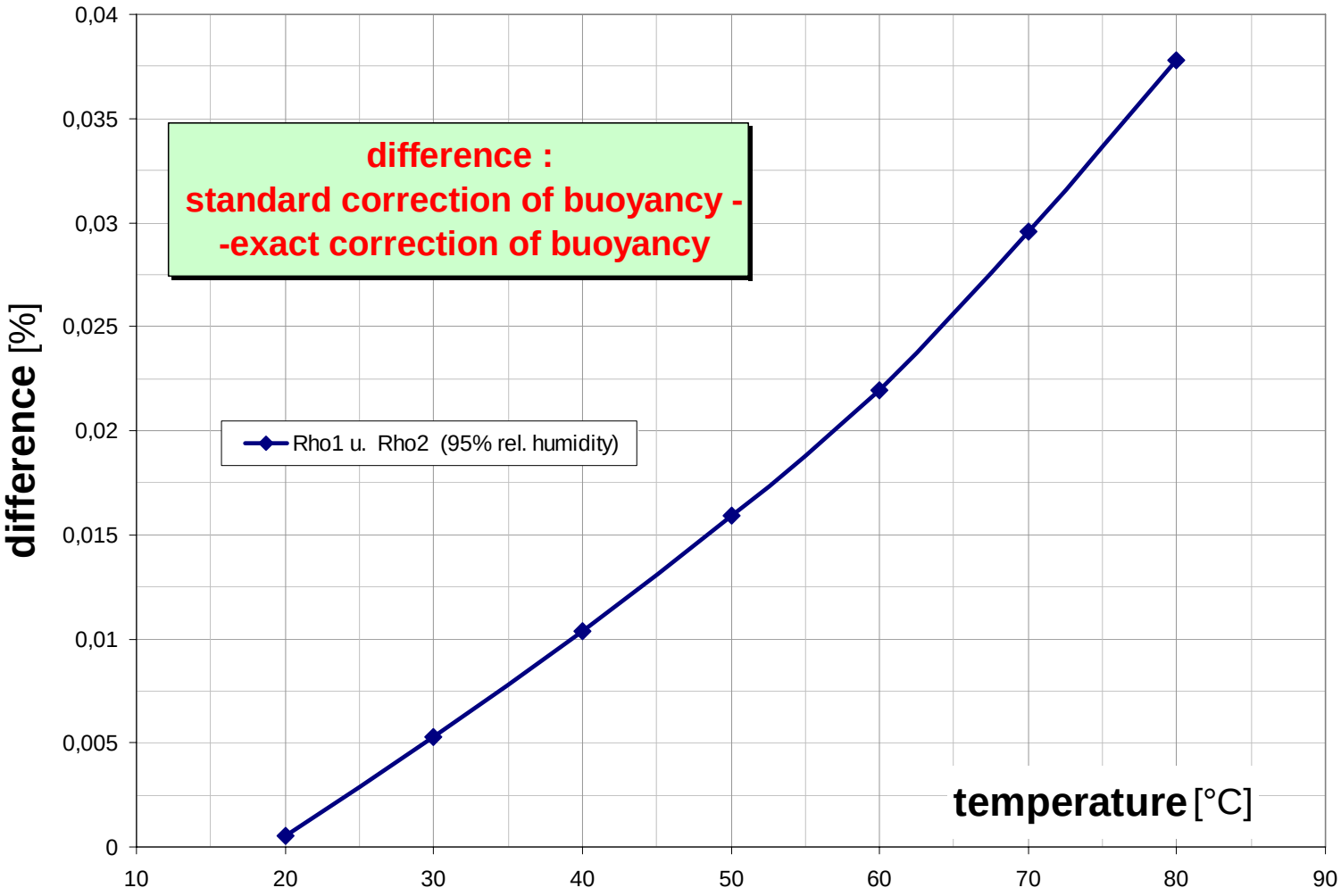
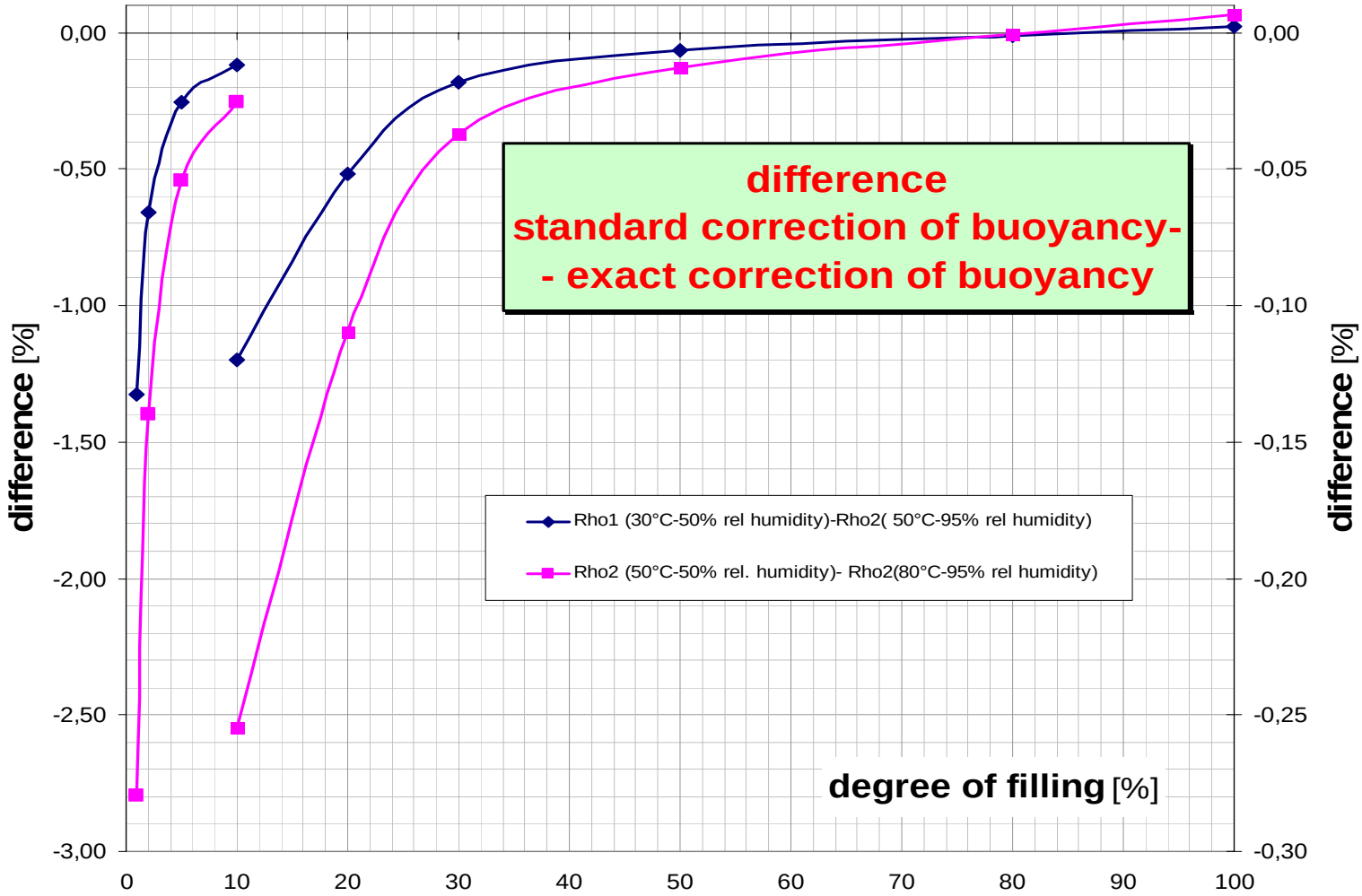
Standard correction

$$m_W = W \times \frac{0{,}99985}{1 - \frac{1{,}2}{\rho_W}}$$

Correction of buoyancy considering the wet air in the weighing tank

$$m_W = \frac{W \times 0{,}99985 - V_B\left(\rho_{L2} - \rho_{L1}\right)}{1 - \frac{\rho_{L2}}{\rho_W}}$$

exact correction of buoyancy



exact correction of buoyancy