

# Grundlagen der dp-Meßtechnik

## Durchflussmessung von Dampf

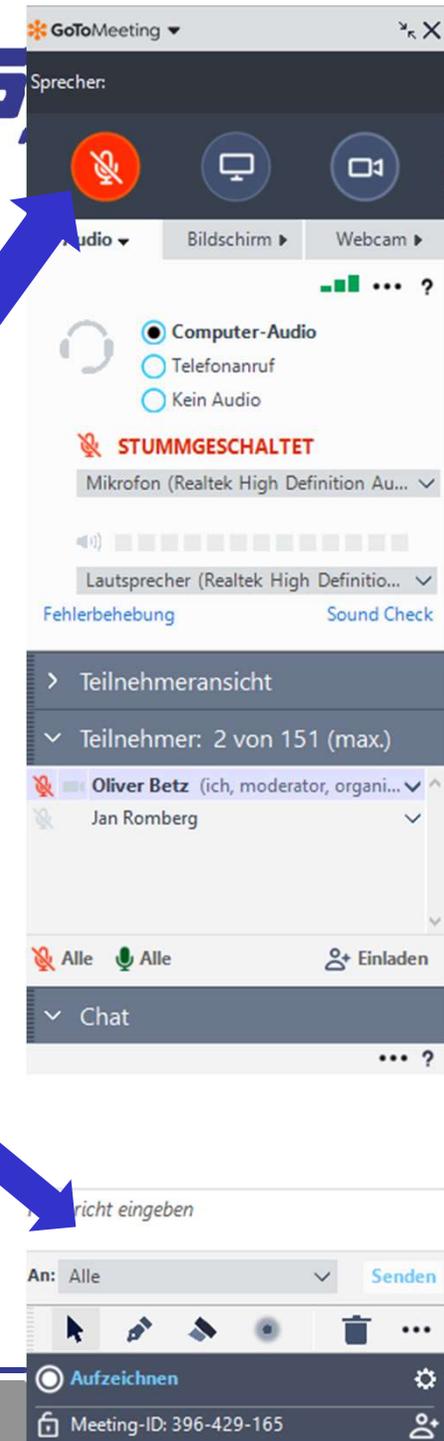


## GotoMeeting bedienen

Sollten Sie Probleme mit dem Lautsprecher Ihres Computer haben, können Sie sich auch telefonisch Einwählen: Deutschland: +49 692 5736 7300  
Zugangscode: 911-682-717

Im ersten Vortragsteil sind Ihre Mikrofone stumm geschaltet, Sie können Fragen über den Chat schriftlich stellen.

Im zweiten Teil können Sie Ihr Mikrofon aktivieren und Fragen stellen

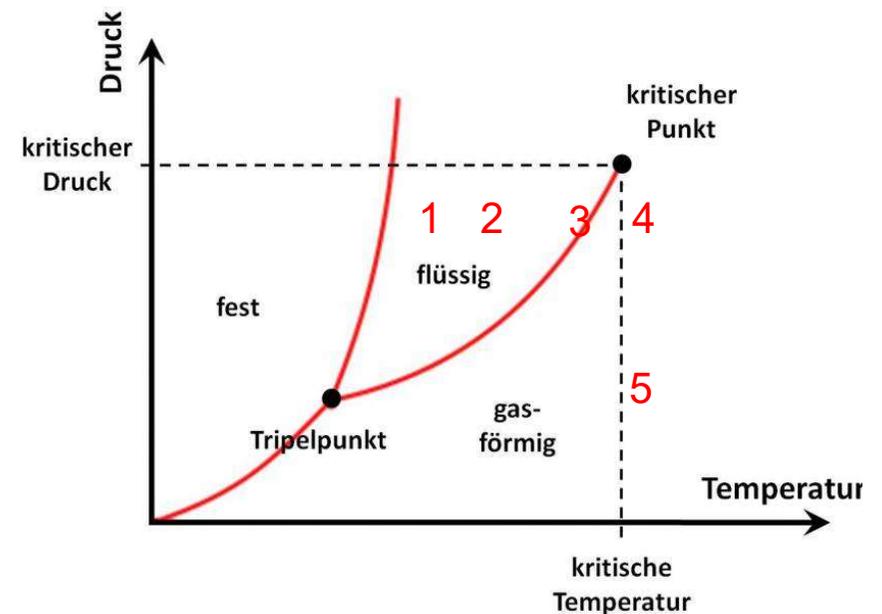
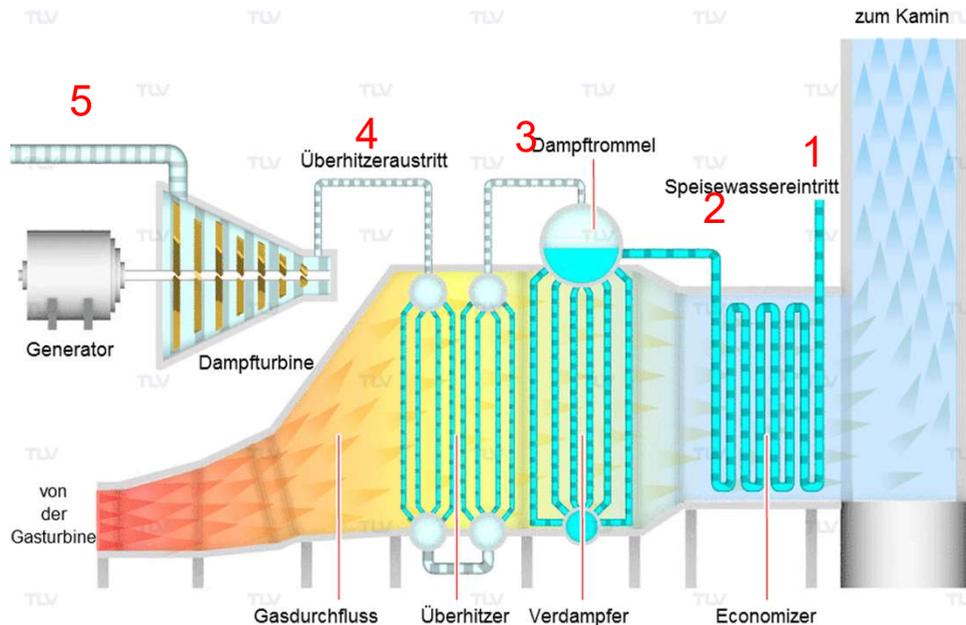


## Inhalt

1. Was ist Dampf ?
2. Besonderheiten und Anforderungen an die Messtechnik
3. Messverfahren (nicht Differenzdruck)
4. Messverfahren Differenzdruckmessung
5. Bauformen von Primärelementen
6. Berechnungsgrundlagen
7. Expertentips für die dp-Messung
8. Optimale Auslegung auf meine Anwendung
9. Zusammenfassung

## 1. Was ist Dampf ?

- Dampf ist Wasser im gasförmigen Aggregatzustand
- Sattdampf hat dieselbe Temperatur und Druck wie siedendes Wasser
- Überhitzter Dampf hat eine höhere Temperatur als Sattdampf



### Besonderheiten und Anforderungen an die Messtechnik

- Hohe Temperatur, typisch 100-600°C
- Hoher Druck, typisch 1-250 bar
- Kompressibles Medium, d.h. p&T müssen gemessen werden um Massenfluss zu berechnen
- Dampfstöße hohe Dynamik möglich
- Sicherheitskritisch, Druckgeräterichtlinie ist zu beachten
- Hochenergetisches Medium, sehr „wertvoll“, Abrechnung (Fernwärme) hat hohe Genauigkeitsanforderungen
- Keine Eichfähigkeit, keine DAKKS Kalibrierstände für Dampf vorhanden

## Messverfahren (Nicht Differenzdruck) 1/3

- Wirbel- und Dralldruckflusszähler
  - + Einfach in der Verwendung
  - + Gute Genauigkeit (2-4% des Messbereichs)
  - - Eingeschränkter Messbereich
  - - Eingeschränkter p- und T-Bereich
  - - Sensitiv auf Vibrationen
  - Massenfluss braucht p&T-Kompensation erster Ordnung



$$qm = qV * \rho$$
$$\rho = f(p, T)$$

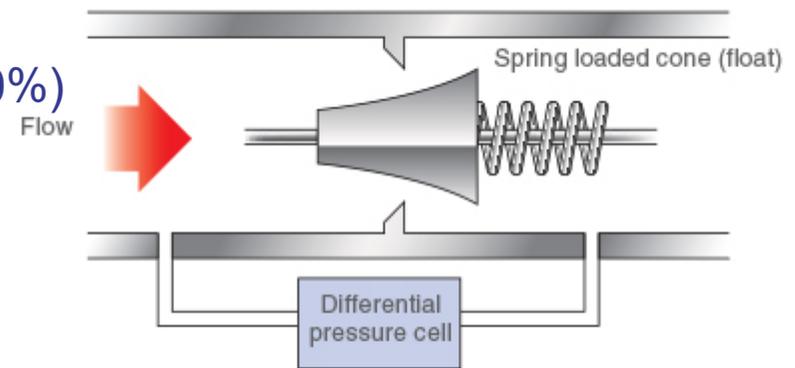
## Messverfahren (Nicht Differenzdruck) 2/3

- **Ultraschall Durchflussmesser**
  - + Großer Messbereich
  - + Gute Genauigkeit (1-3%)
  - - Sehr teuer
  - - Ultraschallsignal störanfällig (Kondensate)
  - - Clamp on funktioniert sehr unzuverlässig (Entwicklungsstatus) mit eingeschränktem T-Bereich
  - - Massenfluss braucht n&T-Kompensation

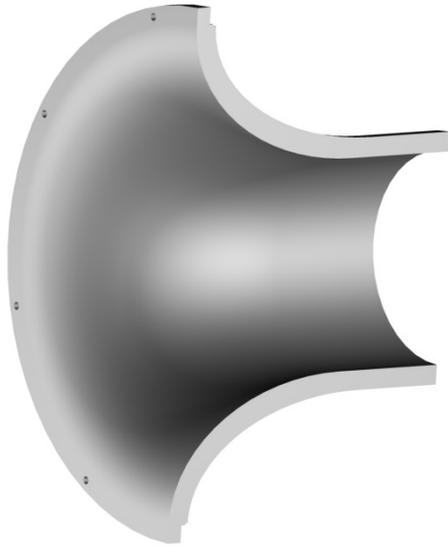


## Messverfahren (Nicht Differenzdruck) 3/3

- Variable Area Flow Meter mit Feder
  - + Großer Messbereich
  - + Gute Genauigkeit initial (2-4%)
  - - Schlechte Langzeitgenauigkeit (>10%)
  - - Verschleiß / bewegte Teile
  - - Federkennlinie von T abhängig
  - - Ablagerungen führen zum Ausfall
  - - Hoher Druckverlust
  - - komplizierte p&T-Kompensation und Linearisierung



Differenzdruck – Iso-Primärelemente



**Düsen**



**Blenden**

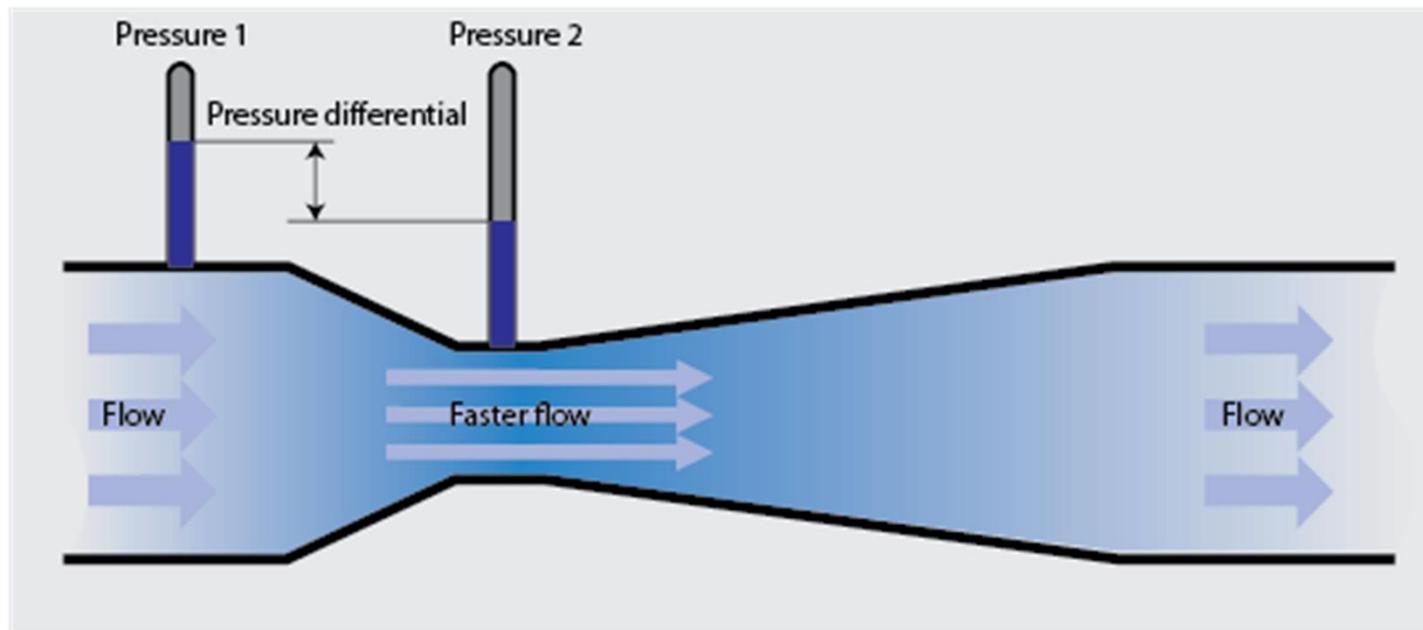


**Venturis**

Differenzdruck – ISO-Primärelemente Funktionsweise

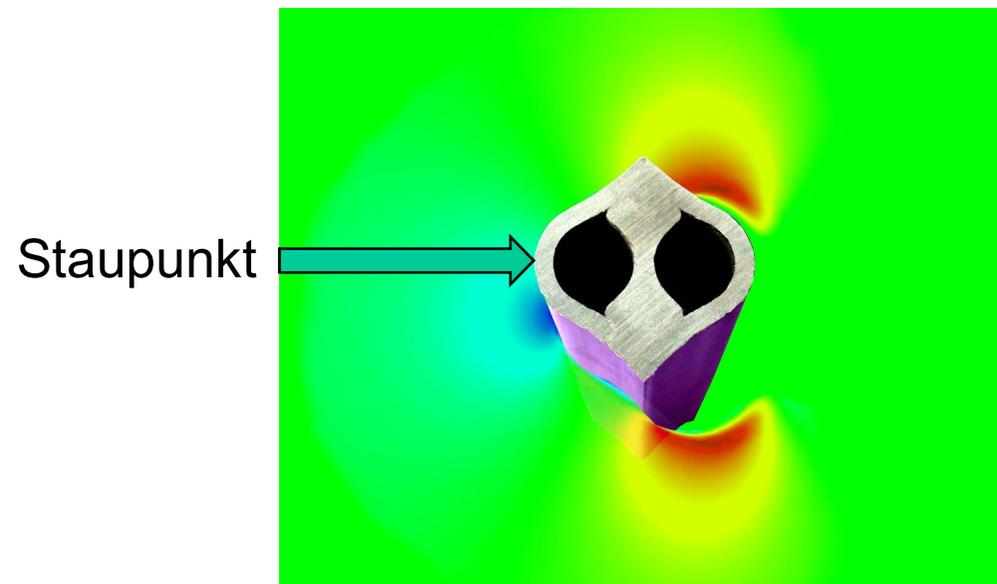
*Clever messen!*

Energieerhaltung: Im Halsstück wird die Geschwindigkeit erhöht (kinetische Energie) und deshalb wird der Druck geringer (potentielle Energie)



## Differenzdruck – Staudrucksonde

Energieerhaltung: Vor der Sonde wird die Geschwindigkeit zu 0 (Staupunkt, kinetische Energie) und deshalb wird der Druck lokal erhöht (potentielle Energie)



## Differenzdruck – Berechnungsgleichung

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1 - \beta^4}} \frac{\pi d^2}{4} \varepsilon \sqrt{2dp\rho}$$

Berechnungsgrundlage  
EN ISO 5167-1

$$q_m = K \frac{\pi d^2}{4} \varepsilon \sqrt{2dp\rho}$$

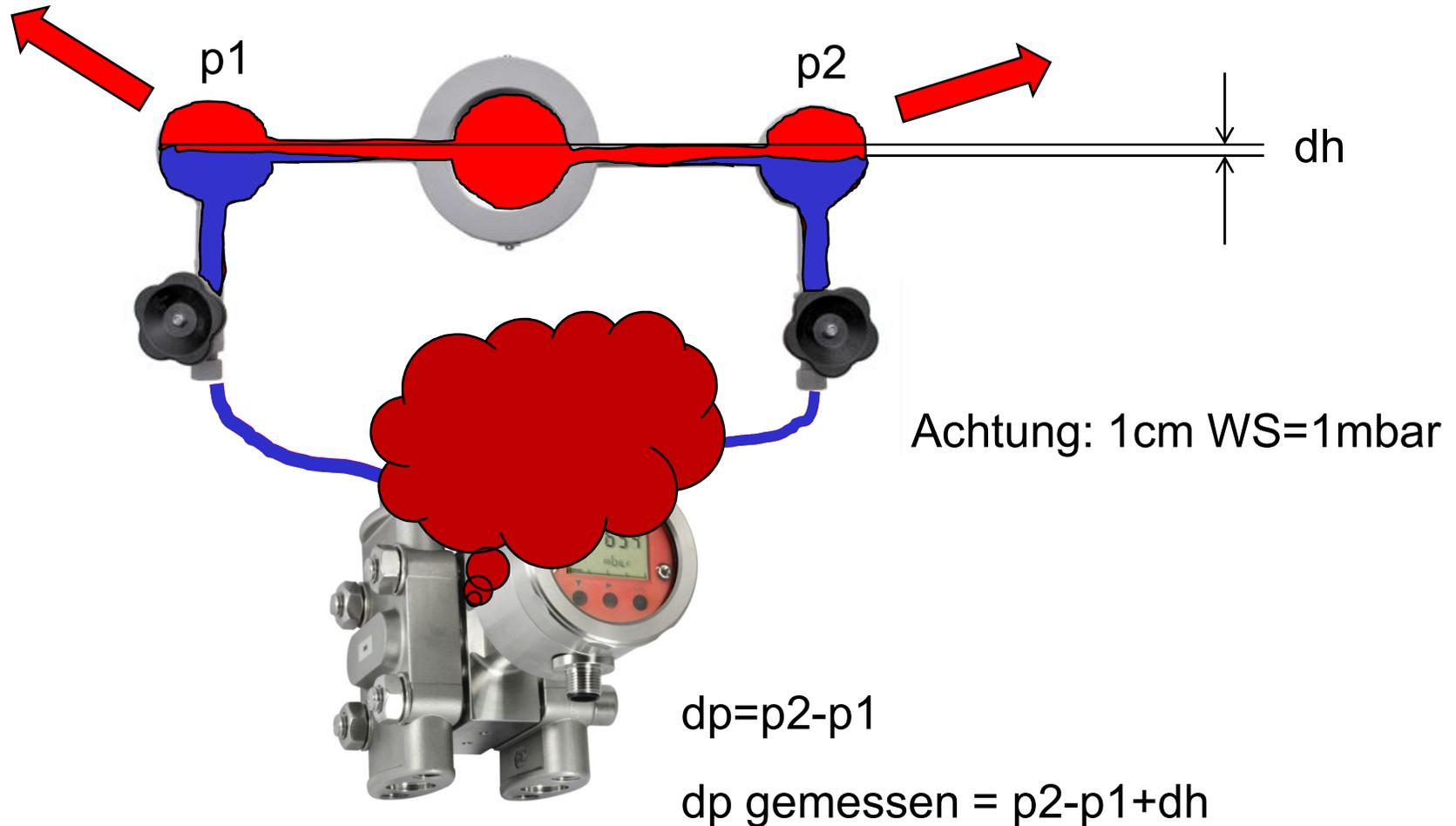
Berechnungsgrundlage  
deltaflow

Vereinfachung: C, beta, K, d, konstant, Epsilon =1

$$q_m = K \sqrt{dp\rho}$$

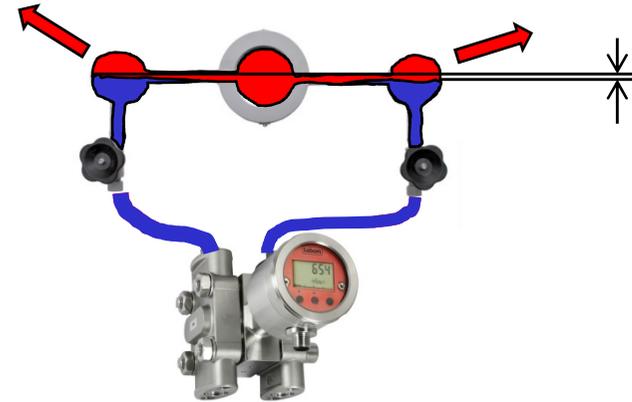
Gleich für Staudrucksonden und ISO

Kondensatvorlage: Schutz der Transmitter vor hohen Temperaturen



Fehler durch 1cm schräge Kondensatvorlage,  
Auslegung 250mbar

Durchfluss	gemessener dp [mbar]	Wassersäule [mbar]	Fehler Flow [%]
100%	250	1	0,20%
90%	202,5	1	0,25%
80%	160	1	0,31%
70%	122,5	1	0,41%
60%	90	1	0,55%
50%	62,5	1	0,80%
40%	40	1	1,24%
30%	22,5	1	2,20%
20%	10	1	4,88%
10%	2,5	1	18,32%

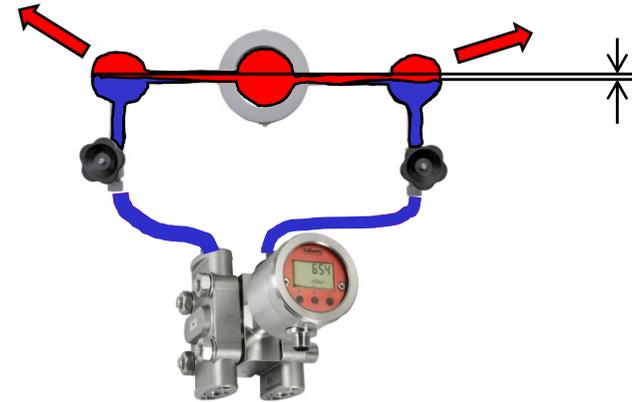


Expertentipp 1: Achten Sie auf präzise Kondensatgefäße und korrekten Einbau!

Expertentipp 2: Die Genauigkeit vom dp-Transmitter (typ 0,05%) ist im Vergleich hierzu nicht relevant!

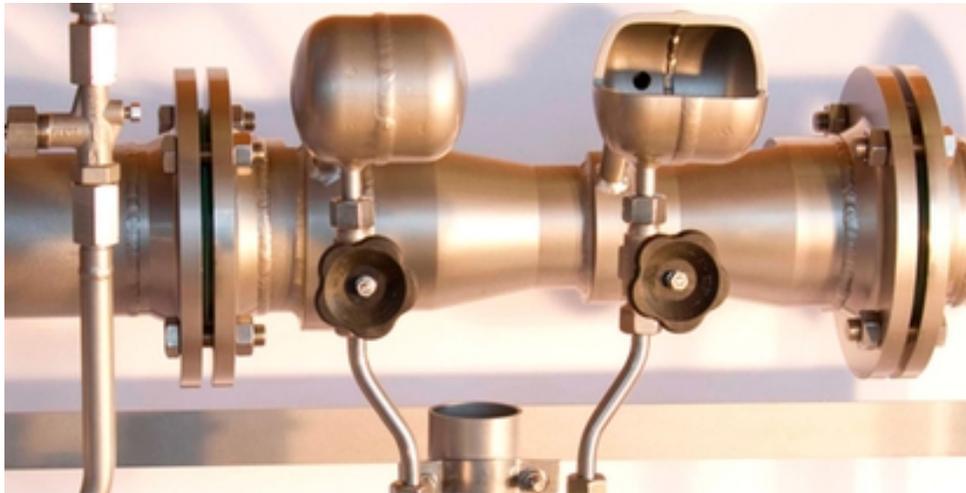
Fehler durch 1cm schräge Kondensatvorlage,  
Auslegung 50mbar

Durchfluss	gemessener dp [mbar]	Wassersäule [mbar]	Fehler Flow [%]
100%	50	1	1,00%
90%	40,5	1	1,23%
80%	32	1	1,55%
70%	24,5	1	2,02%
60%	18	1	2,74%
50%	12,5	1	3,92%
40%	8	1	6,07%
30%	4,5	1	10,55%
20%	2	1	22,47%
10%	0,5	1	73,21%

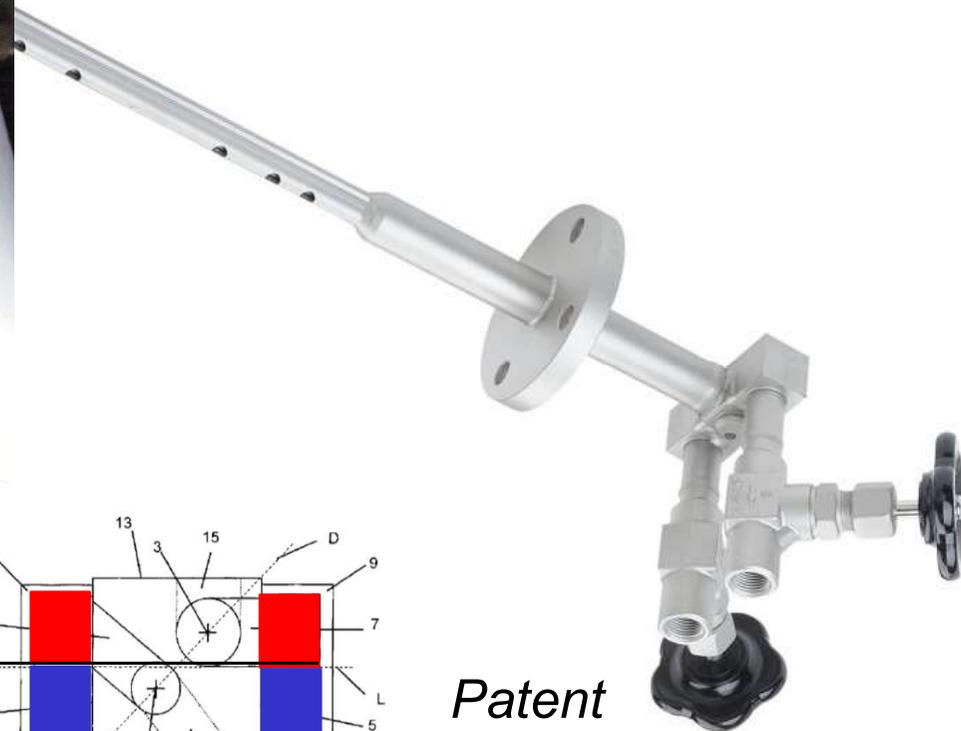


Expertentipp 3: Die Genauigkeit im Teillastbereich hängt wesentlich von dem Auslegungs-dp und dem Fehler der Kondensatvorlage ab!

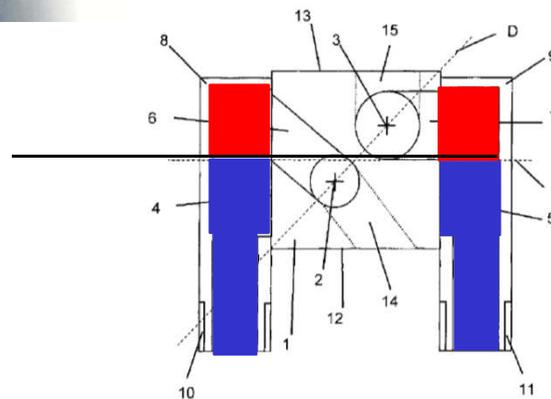
Verschiedene Bauformen von Kondensatgefäßen



## Kondensatgefäße der deltaflow



$dh < 0,5\text{mm}$

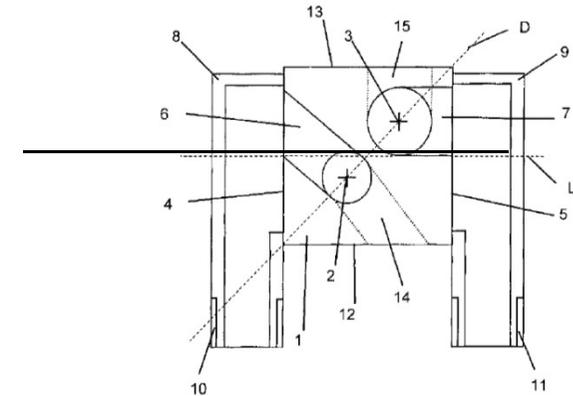


*Patent*  
*DE202005008337U1*  
*CN000101124460A,*  
*EP000001842035A1*

Fehler durch 0,05 cm schräge Kondensatvorlage (deltaflow), Auslegung 50mbar

Durchfluss	gemessener dp [mbar]	Wassersäule [mbar]	Fehler Flow [%]
100%	50	0,05	0,05%
90%	40,5	0,05	0,06%
80%	32	0,05	0,08%
70%	24,5	0,05	0,10%
60%	18	0,05	0,14%
50%	12,5	0,05	0,20%
40%	8	0,05	0,31%
30%	4,5	0,05	0,55%
20%	2	0,05	1,24%
10%	0,5	0,05	4,88%

dh < 0,5mm



Expertentipp 4: Wer kleinen Druckverlust und gute Teillastgenauigkeiten braucht, nimmt die deltaflow! Die hat den kleinsten Fehler in der Kondensatschräglage.

## Einfluss der p&T-Kompensation 1/3

Fehler in der Druck- und Temperaturmessung gehen linear auf die Dichte ein

$$q_m = K \sqrt{dp \rho}$$

Bei dp-Messung ist die Dichte unter Wurzel, Fehler „halbieren“ sich

$$q_m = qV * \rho$$

Bei volumetrischen Messungen (Vortex, Ultraschall...) geht die Dichte linear ein!

## Einfluss der p&T-Kompensation 2/3

**Beispiel:** Niederdruckdampf mit 3-5 bar ü (4-6 bar abs)  
Einsatz 0..16barü-Messumformer, Unsicherheit 0,5% o.s.

$16\text{bar} * 0,5\% = 0,08\text{ bar}$  Unsicherheit

Unsicherheit durch Barometerstand: +/- 0,07 bar

Gesamtunsicherheit: 0,15 bar

Einfluss auf die Dichte:  $0,15\text{ bar}/4\text{bar abs} = 3,75\%$

Einfluss auf den Durchfluss:

Vortex / Ultraschallzähler: 3,75%

dp-Durchflussmessung: 1,85%

**Das geht besser!**

## Einfluss der p&T-Kompensation 2/2

**Beispiel:** Niederdruckdampf mit 3-5 bar ü (4-6 bar abs)  
Einsatz 0..6bar abs-Messumformer, Unsicherheit 0,5% o.s.

$6\text{bar} * 0,5\% = 0,03\text{ bar}$  Unsicherheit

Unsicherheit durch Barometerstand: entfällt

Gesamtunsicherheit: 0,03 bar

Einfluss auf die Dichte:  $0,03\text{ bar}/4\text{bar abs} = 0,75\%$

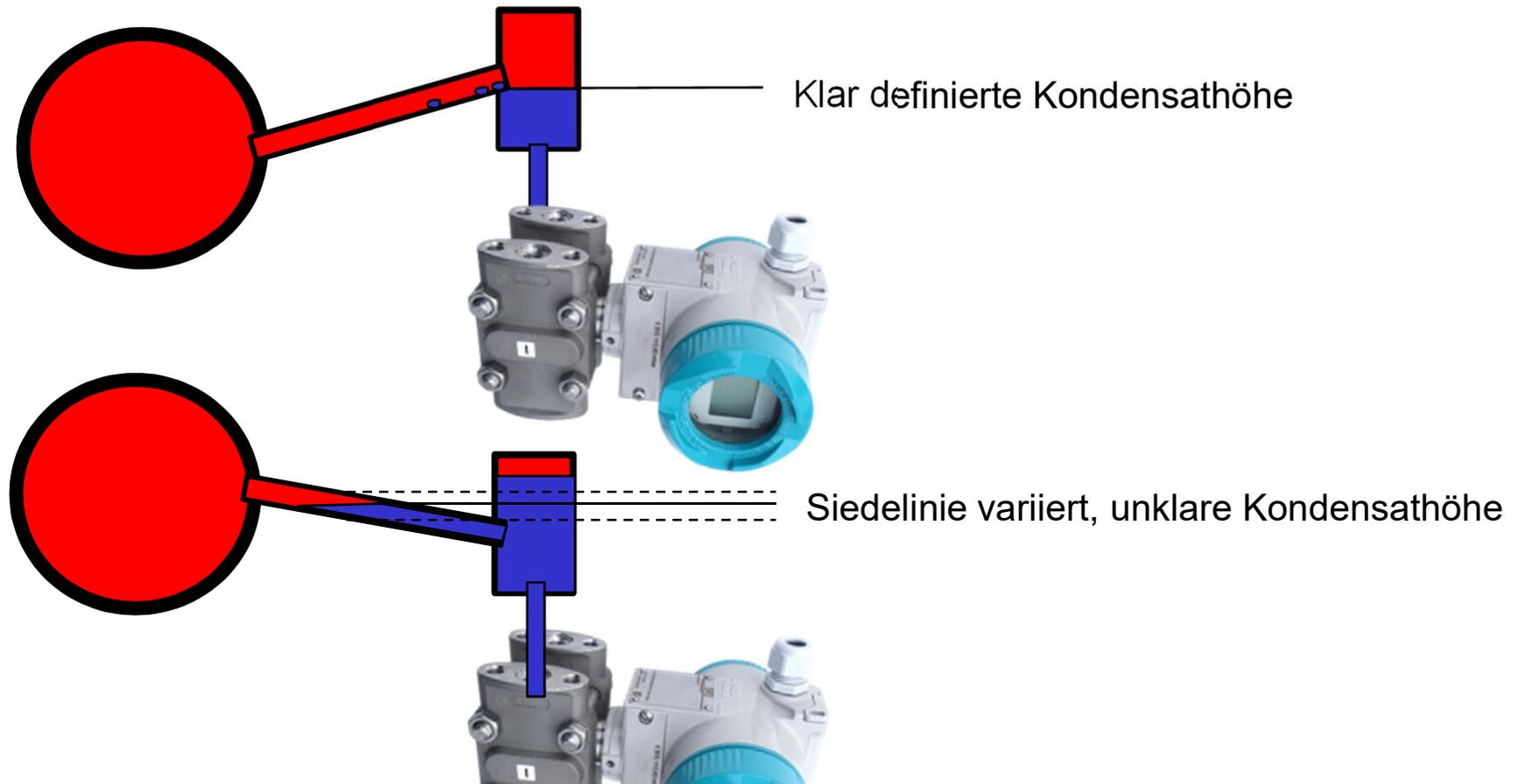
Einfluss auf den Durchfluss:

Vortex / Ultraschallzähler: 0,75%

dp-Durchflussmessung: 0,37%

Expertentipp 5: Achten Sie auf die Klasse der p&T-Messung!  
Verwenden Sie insbesondere bei Niederdruckanwendungen  
Absolutdrucktransmitter und nicht Überdrucktransmitter!

Auf Entwässerung achten!



Expertentipp 6: Kondensatgefäße brauchen ein Gefälle! Bei „abgesoffenen“ Kondensatgefällen haben Sie keine klare Kondensathöhe und dadurch Zusatzfehler!

## Auslegung von Primärelementen (1/2)

Die erste Hauptfrage:

Was ist der minimale Durchfluss  $q_{min}$  bei dem ich eine gute Genauigkeit (z.B.  $f < 5\%$ ) benötige?

Beispiel:

deltaflow,  $q_{min}$  2t/h, 4,5bara, 260°C, angestrebter Fehler  $f=5\%$ ,  
Unsicherheit Wassersäule  $dp_{wf}=0,1\text{mbar}$ , Unsicherheit dp-  
Messumformer  $dp_{mf}$  0,1mbar,  $q_{max}$  12t/h

Überschlag für den notwendigen  $dp_{min}$  bei  $q_{min}$ :

$$dp_{min} = \frac{(dp_{wf} + dp_{mf})}{(1 + f)^2 - 1} = \frac{(0,1 + 0,1)\text{mbar}}{(1 + 0,05)^2 - 1} = 1,95\text{mbar}$$

## Auslegung von Primärelementen (2/2)

Überschlag für den Auslegungs-dpmax bei qmax

$$dp_{max} = dp_{min} \left( \frac{q_{max}}{q_{min}} \right)^2$$
$$dp_{max} = 1,95mbar \left( \frac{12t/h}{2t/h} \right)^2$$
$$dp_{max} = 70mbar$$

Das dp-Element bzw. die Rohrleitung sollten also so ausgelegt werden, dass bei qmax ca 70mbar vorhanden sind

**Expertentipp 7: Legen Sie Primärelemente von qmin aus!**

deltacalc 8 web

Datei Sprache ?

Exit Calc!

Medium dp-Element Flowdata Adress / Notes Config Selection

Druck (absolut) 4,5 bar/abs

Temperatur 260 °C

q ausl 2 t/h

q max t/h

q norm t/h

q min t/h

Einheit des dp (Ausgabe) mbar

dp bekannt 1,95 mbar  Durchmesser finden  Durchfluss finden

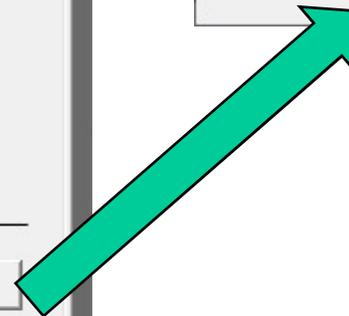
Solver

Status

deltacalc8web

199,281mm Wert übernommen (dp-element)

OK



deltacalc Ergebnisse

deltacalc 8 web

Medium					
Mediumsname	überhitzter Dampf		Viskosität	0,019	cP
Berechnungsmodell	IAPWS-95		Kompressibilität	n.a.	-
Normdichte	n.a.	kg/Nm <sup>3</sup>			
Standarddichtetem.	n.a.	°C	Standarddichtedruck	n.a.	mBar
Betriebsdichte	1,856	kg/m <sup>3</sup>	kritische Temperatur	374,000	°C
Isentropenkoeffizient	1,277	-	kritischer Druck	22000,000	kPa

dp-Element					
Primärelement Typ	DF25		Produktschlüssel:		
Form Rohrleitung	rund		DF25GE1		
Innendurchmesser	207,3	mm			
Innendurchmesser warm	207,9	mm			
Widerstandsbeiwert zeta	2,2860	-			
Durchflußzahl K / C	0,6614	-			
Wandstärke	5,9	mm	TAG		
Öffnungsverhältnis beta	0,9336	-	Seriennummer		
ImprovellT-Faktor	1,0000		Zeugnisse		
Eigenfrequenz Sonde	994,4	Hz			
Vortexfrequenz	503,9	Hz	Sicherheit	1,97	
schwingende Länge	219,7	mm			

Flowdata		Auslegung	Max	Norm	Min
Druck	bar/ab	4,500			
Temperatur	°C	260,0			
Durchfluß	t/h	12,00	8,00	5,00	2,00
Expansionszahl	-	0,9956	0,9981	0,9992	0,9999
Reynolds	-	110E+04	732E+03	458E+03	183E+03
Mediumsgeschwindigkeit	m/s	52,91	35,27	22,05	8,82
Bleibender Druckverlust	mbar	5,7916	2,5615	0,9982	0,1595
Differenzdruck	mbar	59,9027	26,4936	10,3247	1,6499

Seite 2 drucken

Schließen Drucken E Drucken D Print Russian

## Zusammenfassung der Expertentipps

Expertentipp 1: Achten Sie auf präzise Kondensatgefäße und korrekten Einbau!

Expertentipp 2: Die Genauigkeit vom dp-Transmitter (typ 0,05%) ist im Vergleich hierzu nicht relevant!

Expertentipp 3: Die Genauigkeit im Teillastbereich hängt wesentlich von dem Auslegungs-dp und dem Fehler der Kondensatvorlage ab!

Expertentipp 4: Wer kleinen Druckverlust und gute Teillastgenauigkeiten braucht, nimmt die deltaflow! Die hat den kleinsten Fehler in der Kondensatschräglage.

Expertentipp 5: Achten Sie auf die Klasse der p&T-Messung! Verwenden Sie insbesondere bei Niederdrucker Anwendungen Absolutdrucktransmitter und nicht Überdrucktransmitter!

Expertentipp 6: Kondensatgefäße brauchen ein Gefälle! Bei „abgesoffenen“ Kondensatgefällen haben Sie keine klare Kondensathöhe und dadurch Zusatzfehler!

Expertentipp 7: Legen Sie Primärelemente vom qmin aus!

## Vorteile der deltaflow

- Im kompletten industriellen p&T-Bereich einsetzbar
- Energieersparnis: Kleinster bleibender Druckverlust
- Patentierte Kondensatgefäße, kleinster Fehler in der Wassersäule
- Patentiertes Profil für höchste Linearität, PtB geprüft
- p&T-Fehler geht nur in der Ordnung 0,5 ein
- Option: Integrierte p&T-Sensoren, direkt montierte dp-Umformer
- Sehr robust, kein Verschleiß
- Preiswert in der Anschaffung
- Ersparnis im Einbau: Einfacher Einbau, kein Trennen der Rohrleitung



Fragen?



deltaflow