

# Berechnungs- grundlagen **deltaflow** made by systemec

## Willkommen bei systemec Controls

Mit Ihrer deltaflow Staudrucksonde halten Sie ein exzellentes und hochgenaues Messmittel in Händen, welches auch unter schwierigsten Bedingungen beste Ergebnisse liefert.

Wesentlich für die hohe Genauigkeit, ist die richtige Auswertung der gemessenen Größen und die korrekte Berechnung des Durchflusses.

In diesem Informationsheft finden Sie alle Informationen, wie Sie optimale Messergebnisse mit Ihrer deltaflow erzielen können.

## Inhaltsverzeichnis

Willkommen bei systemec Controls.....	2
Inhaltsverzeichnis .....	2
Grundlagen / Einheitensystem.....	2
Berechnungsgrundlage allgemein.....	3
Formelzeichen.....	3
Widerstandsbeiwert.....	3
Expansionszahl $\epsilon$ .....	3
Innendurchmesser der Rohrleitung $d$ .....	4
Gemessener Differenzdruck $dp$ .....	4
Aktuelle Betriebsdichte $\rho_B$ .....	4
Vereinfachte Berechnungsgleichungen.....	6
Umrechnung des Massenstromes in andere Einheiten.....	6
Flowcom Durchflussrechner .....	7
Fragen? .....	7
Anhang .....	8

## Grundlagen / Einheitensystem

Alle in diesem Informationsheft verwendeten Einheiten sind SI-Einheiten. Wenn Sie ein anderes Einheitensystem verwenden, empfehlen wir Ihnen vor Berechnung Ihre Werte in das SI-Einheitensystem umzurechnen und nach den Berechnung wieder in Ihr Gebrauchs-Einheitensystem umzuwandeln.

Druck p in Pa	
Einheit	SI-Einheit Pa
hPa	1 hPa = 100 Pa
kPa	1 kPa = 1.000 Pa
MPa	1 MPa = 1.000.000 Pa
mbar	1 mbar = 100 Pa

bar	1 bar = 100.000 Pa
Torr	1 Torr = 133,3224 Pa
at	1 at = 98.066,65 Pa
atm	1 atm = 101.325 Pa
mWS	1 mWS = 9806,65 Pa
mmWS	1 mmWS = 9,80665 Pa
mmHG	1 mmHG = 133,322 Pa
psi (lbf/in <sup>2</sup> )	1 psi = 6.894,76 Pa

Die Druckeinheit in diesem Informationsheft ist immer Als Absolutdruck zu verstehen (Index abs). Stehen für die Berechnung nur Überdruckwerte zur Verfügung (Index ü oder g), so muss der aktuelle oder der mittlere Umgebungsdruck an der Messstelle addiert werden. Auf Meereshöhe ist der mittlere Umgebungsdruck 101.325Pa.

Temperatur T in K	
Einheit	SI-Einheit K
°C	K = °C + 273,15
°F	K = ((°F - 32) * 5/9) + 273,15

Differenzdruck dp in Pa	
Einheit	SI-Einheit Pa
hPa	1 hPa = 100 Pa
kPa	1 kPa = 1.000 Pa
mbar	1 mbar = 100 Pa
bar	1 bar = 100.000 Pa
mWS	1 mWS = 9806,65 Pa
mmWS	1 mmWS = 9,80665 Pa
mmHG	1 mmHG = 133,322 Pa
psi (lbf/in <sup>2</sup> )	1 psi = 6.894,76 Pa

Massendurchfluss qm in kg/s	
Einheit	SI-Einheit kg/s
t/d	1 t/d = 1.000/86.400 kg/s
t/h	1 t/h = 1.000/3.600 kg/s
t/min	1 t/min = 1.000/60 kg/s
t/s	1 t/s = 1.000 kg/s
kg/h	1 kg/h = 1/3.600 kg/s
kg/min	1 kg/min = 1/60 kg/s
lb/d	1 lb/d = 5,249911*10e-6 kg/s
lb/h	1 lb/h = 125,99786*10e-6 kg/s
lb/min	1 lb/min = 7,5598*10e-3 kg/s
lb/s	1 lb/s = 0.45359237 kg/s

Die Umrechnung des Massendurchfluss in Volumendurchfluss, Normvolumendurchfluss oder Geschwindigkeit wird weiter hinten in diesem Informationsheft beschrieben.

Durchmesser d in m	
Einheit	SI-Einheit m
mm	1 mm = 0,001 m
cm	1 cm = 0,01 m
ft	1 ft = 0,3048 m
in	1 in = 0,0254 m

Mediumsdichte ρ in kg/m³	
Einheit	SI-Einheit m
kg/dm³	1 kg/dm³ = 1.000 kg/m³
g/cm³	1 g/cm³ = 1.000 kg/m³
kg/l	1 kg/l = 1.000 kg/m³

### Berechnungsgrundlage allgemein

Der Durchfluss mit der deltaflow wird ähnlich berechnet wie der Durchfluss gemäß EN ISO 5167-1 (früher DIN 1952). Für den Durchfluss gilt:

$$q_m = \sqrt{\frac{1}{\zeta}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2dp\rho_B} \quad (1)$$

Formelzeichen	Größe	SI-Einheit
$q_m$	Massendurchfluss	kg/s
$\zeta$	Sondenspezifischer Widerstandsbeiwert (Blockage-Faktor)	-
$\varepsilon$	Expansionszahl, bei inkompressiblen Medien = 1	-
d	Innendurchmesser der Rohrleitung	m
dp	Differenzdruck	Pa
$\rho_B$	Mediumsdichte unter Betriebsbedingungen	kg/m³

Indices	Bedeutung
N	Normbedingungen (101.325 Pa, 273,15K)
B	Betriebsbedingungen (aktueller Druck und aktuell Temperatur in der Rohrleitung)
D	Designbedingungen (Druck und Temperatur die für die Auslegung der deltaflow zugrunde gelegt wurden, finden sich auf dem Auslegungsprotokoll)

### Widerstandsbeiwert

Den Widerstandsbeiwert  $\zeta$  (Zeta) finden Sie auf Ihrem deltaflow Auslegungsprotokoll. In manchen Unterlagen wird anstelle  $\zeta$  der Sondenfaktor K (K-Zahl) angegeben.  $\zeta$  und K-Zahl stehen in einem einfachen Zusammenhang und lassen sich ineinander umrechnen:

$$K = \sqrt{\frac{1}{\zeta}} \quad \text{oder} \quad \zeta = \frac{1}{K^2}$$

Der Widerstandsbeiwert der deltaflow ist bei turbulenter Strömung, im Gegensatz zu vielen anderen Primärelementen, nicht vom Durchfluss und vom Medium (Reynolds) abhängig.

Liegt Ihnen kein Auslegungsprotokoll zu Ihrer deltaflow vor, so können Sie dieses bei systemec Controls unter Angabe der Seriennummer nachbestellen, oder Sie nutzen die kostenlose deltacalc Software, die Sie von der systemec Controls Webseite [www.systemec-controls.de](http://www.systemec-controls.de) herunterladen können.

### Expansionszahl ε

Die Expansionszahl  $\varepsilon$  (Epsilon) beschreibt den Einfluss des Druckverlustes und somit der Dichteänderung des Mediums auf die Durchflussmessung.

Bei inkompressiblen Medien (Flüssigkeiten) führt der Druckverlust am Primärelement zu keiner Dichteänderung, die Expansionszahl ist daher 1.

Bei kompressiblen Medien (Gase, Dampf), weicht die Expansionszahl um so weiter von 1 ab, je größer der Druckverlust am Primärelement ist, und je geringer der statische Druck in der Rohrleitung ist.

Da die deltaflow einen sehr geringen Druckverlust aufweist, ist auch die Expansionszahl meist sehr nahe bei 1. Die Expansionszahl am Auslegungspunkt  $\varepsilon_D$  finden Sie auf Ihrem deltaflow Auslegungsprotokoll.

Häufig wird die Expansionszahl für die Durchflussberechnung als konstant angenommen. Hierfür wird i.d.R. die Expansionszahl bei 2/3 des maximalen Durchflusses  $q_{max}$  verwendet ( $\varepsilon_{2/3}$ ).  $\varepsilon_{2/3}$  lässt sich bei der deltaflow sehr einfach aus  $\varepsilon_D$  errechnen:

$$\varepsilon_{2/3} = 1 - \frac{4}{9}(1 - \varepsilon_D)$$

Bei Anwendungen, bei denen die Expansionszahl eine deutliche Abweichung von 1 aufweist, kann die Berechnung der aktuellen Expansionszahl die Genauigkeit der Mengenumformung erhöhen. Die aktuelle Expansionszahl  $\varepsilon_B$  lässt sich aus der Auslegungsexpansionszahl  $\varepsilon_D$  wie folgt errechnen:

$$\varepsilon_B = 1 - \left[ \frac{p_D \cdot dp_B}{p_B \cdot dp_D} \cdot (1 - \varepsilon_D) \right]$$

### Innendurchmesser der Rohrleitung d

Der Innendurchmesser der Rohrleitung geht stark auf die Genauigkeit der Durchflussberechnung ein. Bei Messungen mit hohen Genauigkeitsanforderungen empfiehlt es sich daher, den Innendurchmesser der Messstelle exakt zu erfassen. Bei unrunder Rohren kann der arithmetische Mittelwert aus mehreren Messungen verwendet werden.

Bei Temperaturerhöhungen ändert sich der Innendurchmesser durch die thermische Ausdehnung des Materials. Im Auslegungsprotokoll Ihrer deltaflow wird daher der warme Innendurchmesser Ihrer Rohrleitung ausgewiesen. Eine Berechnung des tatsächlichen momentanen Innendurchmessers  $d_B$  ist daher nur dann sinnvoll und notwendig, wenn sich die Prozesstemperaturen während dem Regelbetrieb stark ändern. Der warme Innendurchmesser errechnet sich wie folgt:

$$d_B = d_D \cdot (1 + \alpha(T_B - T_D))$$

$\alpha$  ist hierin der Längenausdehnungskoeffizient Des Rohrleitungsmaterials. Für die meisten Stähle ist  $\alpha$  im Bereich zwischen  $10 \cdot 10^{-6}$  und  $16 \cdot 10^{-6}$ . Ein Temperaturanstieg von z.B. 100K führt im Mittel also zu einer Durchmesserergrößerung von 0,13%, der Durchfluss wird um 0,26% erhöht.

Eine Tabelle mit Längenausdehnungskoeffizienten verschiedener Stoffe finden Sie im Anhang.

### Gemessener Differenzdruck dp

Wie in Gleichung (1) ersichtlich, steht bei der Durchflussberechnung der Differenzdruck unter der Wurzel. Viele Differenzdruckmessumformer können aus dem deltaflow Berechnungsgrundlagen

gemessenen Differenzdrucksignal bereits die Wurzel ziehen (radizieren). Das Ausgangssignal solcher Messumformer ist dann nicht mehr proportional zum Differenzdruck, sondern zur Wurzel des Differenzdruckes.

Bei der Auswertung der Messsignale von Differenzdruckmessumformern ist also unbedingt zu beachten, ob die Radizierung bereits im Messumformer stattfindet oder nicht.

### Aktuelle Betriebsdichte $\rho_B$

Die Dichte von Medien ist von deren Zusammensetzung, der Temperatur und dem Druck abhängig.

Bei Flüssigkeiten ist die Dichte nur sehr geringfügig vom Druck abhängig, Flüssigkeiten werden deshalb auch als inkompressible Medien bezeichnet. Die Temperaturabhängigkeit bei Flüssigkeiten ist ebenfalls geringer als bei Gasen oder Dämpfen.

Für die Berechnung der Dichte von Medien gibt es zwei prinzipielle Ansätze: Die Ermittlung aus Tabellen oder die Ermittlung aus Gleichungen.

Die Dichteberechnung aus Tabellen ist sehr einfach und genau, setzt aber das Vorhandenein einer Dichtetabelle voraus. Dichtetabellen einiger gängiger Medien finden Sie im Anhang. Eine lineare Interpolation zwischen den Stützstellen ist dann erlaubt, wenn sich zwischen den Stützstellen kein Phasenübergang (Siedelinie, Schmelzlinie) befindet.

Für die Dichteberechnung aus Gleichungen gibt es eine Vielzahl von Modellansätzen, deren Anwendung unterschiedlich aufwändig und unterschiedlich Genau ist. Einige gängige Modelle sind im Folgenden erläutert:

### Berechnung der Dichte von Flüssigkeiten mittels Volumenausdehnungskoeffizient

Eine einfache Methode zur Berechnung der Mediumsdichte von Flüssigkeiten ist die Verwendung von konstanten Volumenausdehnungskoeffizienten.

$$\rho_B = \rho_{20^\circ C} \frac{1}{(1 + \gamma(T_B - 293,15K))}$$

Beispiel: Wasser bei 50°C und 1 bar

$$\rho_{70^\circ\text{C}} = 998,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{1}{\left(1 + 20,7 \cdot 10^{-5} - 5 \frac{1}{\text{K}} (30\text{K})\right)} = 992,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

In Tabellenwerken findet man bei 1 bar und 50°C eine tatsächliche Dichte von 988,0 kg/m<sup>3</sup>. Der Fehler der Dichteberechnung beträgt bei diesem Beispiel also 0,4%. Der daraus resultierende Fehler in der Durchflussberechnung beträgt 0,2%.

Die Volumenausdehnungskoeffizienten einiger Flüssigkeiten finden Sie im Anhang,

### Andere Berechnungsmodelle für die Dichteberechnung von Flüssigkeiten.

Die Dichteberechnung von unterkühlten Flüssigkeiten und überhitzten Gasen wird, besonders bei Kohlenwasserstoffen und Stoffgemischen, häufig nach der Modellgleichung von Lee und Kessler (Lee, B.I. und M.G. Kessler: AIChE J.21 (1975) S.510) durchgeführt. Das Rechenmodell ist detailliert im VDI-Wärmeatlas beschrieben. Hier finden sich auch umfangreiche Tabellen mit den notwendigen Berechnungskonstanten für eine Vielzahl von unterschiedlichen Medien.

### Dichteberechnung von Dampf und Wasser

Die exakte Berechnung der Dichte (und anderer Zustandsgrößen) von Wasser und Wasserdampf findet nach der IAPWS-Gleichung statt. (International Association for the Properties of Water and Steam [www.iapws.org](http://www.iapws.org))

Die IAPWS-Gleichung erfordert einen hohen numerischen Rechenaufwand. Die exakte Beschreibung ist in einer umfangreichen Veröffentlichung dokumentiert. (W. Wagner and A. Pruss, "The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use," *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **31**, 387-535 (2002)). Verschiedene Source Codes oder Libraries können fertig programmiert erworben werden (<http://www.ruhr-uni-bochum.de/thermo/Forschung/Seiten/Zustandsgln/IAPWS-95.htm>).

Weicht der Betriebspunkt nicht all zu weit vom Auslegungspunkt ab, kann die Dichte von Wasser näherungsweise mittels eines konstanten Volumenausdehnungskoeffizienten berechnet werden (siehe weiter vorn). Die Dichte von überhitztem Dampf kann bei geringer Entfernung vom Auslegungspunkt nach dem i-

dealen Gasgesetz (siehe weiter hinten) errechnet werden.

Einfach und genau ist die Dichteberechnung aus Tabellen (Wasser- / Dampftabelle im Anhang). Die Interpolation über die Siedelinie hinweg führt jedoch zu großen Abweichung und sollte vermieden werden..

### Dichteberechnung von Gasen

Auch die Dichteberechnung von Gasen funktioniert einfach und genau mit Hilfe von Tabellen.

Wenn Tabellen nicht zur Verfügung stehen oder wenn es sich um Gasgemische handelt, so gibt es verschiedene Berechnungsgleichungen, z.B. van der Waals, Redlich Kwong u.v.a. Verschiedene Rechenmodelle sind detailliert im VDI-Wärmeatlas beschrieben. Hier finden sich auch umfangreiche Tabellen mit den notwendigen Berechnungskonstanten für eine Vielzahl von unterschiedlichen Medien.

Eine sehr einfache Gleichung, die bei der Dichteberechnung im Nahbereich der Auslegung oft ausreichende Genauigkeiten liefert, ist das ideale Gasgesetz.

$$\rho_B = \rho_D \frac{p_B \cdot T_D}{p_D \cdot T_B}$$

Je weiter Betriebsdruck- und Temperatur vom Auslegungspunkt abweichen, desto größer werden die Unsicherheiten. Dies gilt um so mehr, wenn sich der Betriebspunkt der Siedelinie des Gases nähert, d.h. der Druck steigt und die Temperatur sinkt. In großer Entfernung von der Siedelinie liefert das ideale Gasgesetz meist gute Genauigkeiten.

Für überhitzten Dampf kann das ideale Gasgesetz ebenfalls angewendet werden, hier gilt gleiches wie bei anderen Gasen.

Beispiel:

$$p_D = 2,00\text{MPa}(20\text{bar})$$

$$T_D = 553,15\text{K}(280^\circ\text{C})$$

$$\rho_D = 8,330\text{kg} / \text{m}^3$$

$$p_B = 2,15\text{MPa}$$

$$T_B = 543,15\text{K}(270^\circ\text{C})$$

$$\rho_B = 8,330\text{kg} / \text{m}^3 \frac{2,15 \cdot 554,15}{2,00 \cdot 543,15} = 9,136\text{kg} / \text{m}^3$$

Die tatsächliche Dichte bei 2,15MPa und 543,15K ist nach IAPWS 95 9,221 kg/m<sup>3</sup>. Der Fehler der Dichtebe-  
 rechnung beträgt also 0,92%. Der daraus resultierende  
 Fehler in der Durchflussberechnung beträgt ca. 0,46%.

### Dichtekorrektur feuchter Gase

Gase können Wasser (Feuchtigkeit) aufnehmen.  
 Gas/Wassergemische haben eine andere Dichte, als rei-  
 ne, bzw. trockene Gase. Die mögliche Aufnahmemen-  
 ge von Wasser steigt mit der Gastemperatur. Beson-  
 ders heiße Gase, die einen Wäscher durchlaufen ha-  
 ben, haben z.T. erhebliche Wasseranteile und unter-  
 scheiden sich in Ihren Zustandsdaten dann deutlich  
 von trockenen Gasen.

Die Dichteberechnung feuchter Gase und die Korrektur  
 der Durchflussmessung, ist detailliert in der VDI / VDE  
 2040, Teil 4, dargestellt.

### Dichteberechnung bei Erdgas

Bei Erdgas handelt es sich um ein Gemisch verschiede-  
 ner Gase in unterschiedlicher Zusammensetzung.  
 Hauptbestandteile sind i.d.R. Methan und Stickstoff  
 sowie weitere Kohlenwasserstoffe und Verunreinigun-  
 gen

Es gibt verschiedene Berechnungsmodelle zur Ermittlung  
 der Gasdichte. Für einfache Steuerungszwecke wird  
 auch bei Erdgas häufig das ideale Gasgesetz verwen-  
 det.

Abrechnungsanwendungen bzw. Messungen bei de-  
 nen eine hohe Genauigkeit gefordert ist, werden meist  
 nach der AGA- oder der GERG-Gleichung berechnet.

Die AGA NX-Gleichungsfamilie (American Gas Associa-  
 tion) ist vor allem im nicht-europäischen Ausland als  
 Standard im Einsatz. Die Berechnungsgleichung ist in  
 der VDI/VDE 2040, Teil4 beschrieben.

Die GERG88-Gleichung wurde von den europäischen  
 Gasversorgern entwickelt, und ist weitverbreiteter  
 Standard für die Gasmengenberechnung im Europäi-  
 schen Raum. Die GERG88 ist im DVGW-Arbeitsblatt  
 G486 beschreiben.

## Vereinfachte Berechnungsgleichungen

Für Anwendungen mit eingeschränkten Genauigkeits-  
 anforderungen, also z.B. für innerbetriebliche Men-  
 gemessungen und für Regelzwecke, können die fol-

genden, vereinfachten Berechnungsgleichungen ver-  
 wendet werden.

### Durchflussmessung von Flüssigkeiten

Angenommene Vereinfachungen:

Dichte konstant, Flüssigkeit inkompressibel, Innen-  
 durchmesser der Rohrleitung konstant.

$$q_m = q_{m,D} \cdot \sqrt{\frac{dp_B}{dp_D}}$$

Hierin ist  $q_{m,D}$  der Massendurchfluss gemäß dem  
 Auslegungsprotokoll Ihrer deltaflow. Der Wurzelterm  
 entspricht dem Ausgangssignal eines radizierenden  
 Differenzdruckmessumformers.

Wird der Endwert des Messumformers entsprechend  
 dem Auslegungsprotokoll Ihrer deltaflow eingestellt, so  
 ist das radizierte Ausgangssignal des dp-  
 Messumformers proportional zum Durchfluss.

### Durchflussmessung von Gasen und Dampf

Angenommene Vereinfachungen:

Expansionszahl konstant, ideales Gasverhalten, Innen-  
 durchmesser der Rohrleitung konstant.

$$q_m = q_{m,D} \cdot \sqrt{\frac{p_B \cdot T_D}{p_D \cdot T_B}} \cdot \sqrt{\frac{dp_B}{dp_D}}$$

Auch bei dieser Gleichung entspricht der hintere Wur-  
 zelterm wieder dem Ausgangssignal eines radizieren-  
 den Differenzdruckmessumformers. Der Durchfluss er-  
 gibt sich also Auslegungsmassenstrom multipliziert mit  
 dem Ausgangssignal eines radizierenden Transmitters.  
 Die Dichtekorrektur finden durch den mittleren Wurzel-  
 term statt, in den Betriebsdruck- und Temperatur so-  
 wie Auslegungsdruck- und -temperatur einfließen.

Die Auslegungsdaten (Index D) finden Sie auf Ihrem  
 deltaflow Auslegungsprotokoll.

Die vereinfachte Durchflussgleichung für Gase kann  
 näherungsweise auch für die Mengenmessung von ü-  
 berhitztem Dampf verwendet werden.

## Umrechnung des Massenstromes in andere Einheiten

### Umrechnung in Normvolumenstrom

Der Normvolumenstrom wird vor allem bei der Gas-mengenberechnung verwendet. Der Normzustand eines Gases wird meist auf 273,15K (0°C) und 10135,5 Pa (1,01325bar) bezogen. Der Normvolumenstrom ergibt sich aus dem Massenstrom wie folgt:

$$q_N = q_M \frac{1}{\rho_N}$$

Eine Tabelle mit verschiedenen Normdichten finden Sie im Anhang.

### Umrechnung in Volumenstrom

Der Volumenstrom wird häufig bei Flüssigkeiten angewendet. Der Volumenstrom ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$q_B = q_M \frac{1}{\rho_B}$$

Die Ermittlung der Betriebsdichte ist im Kapitel „Aktuelle Betriebsdichte“ weiter vorn beschrieben.

### Umrechnung in Geschwindigkeit

Die Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit in Rohrleitungen wird häufig für die Druckverlustberechnung verwendet. Man findet die Mediumsgeschwindigkeit aus folgender Formel:

$$v = q_M \frac{1}{\rho_B} \cdot \frac{4}{\pi \cdot d^2}$$

## Flowcom Durchflussrechner

Der flowcom Durchflussrechner hat die Mediumsdaten einer ganzen Reihe von Gasen gespeichert und führt die Berechnungen wie in diesem Informationsblatt beschrieben, zuverlässig und genau durch.



Insbesondere errechnet der flowcom die Mediumsdichten aus umfangreichen Tabellen und hat für Erdgas die GERG88-Funktionsgleichung hinterlegt.

Der flowcom berücksichtigt die Einflüsse der Expansionszahl, der thermischen Rohrausdehnung sowie anderer Nichtlinearitäten von Durchflussmessern.

Neben der deltaflow kann der flowcom die Einflüsse von Druck- und Temperatur auf praktisch alle anderen Durchflussmesssysteme errechnen und kompensieren.

Durch ein frei definierbares Einheitensystem, kann der Benutzer alle Ein- und Ausgaben in seinen gewohnten Einheiten vornehmen.

Der flowcom kann einfach unter Windows parametrierbar werden.

Detaillierte Informationen über den flowcom finden Sie unter [www.systemec-controls.de](http://www.systemec-controls.de).

## Fragen?

Niemand kennt die deltaflow besser als wir! Nutzen Sie unser Know-how, wir helfen Ihnen gerne weiter. In Deutschland haben wir ein Netz von Außendienstmitarbeitern, im Ausland unsere Handelsvertreter die Ihnen gerne weiterhelfen. Wer in Ihrer Nähe hilft, finden Sie auf unserer Web-Page:

<http://www.systemec-controls.de>

Oder Sie rufen gleich unsere Firmenzentrale in Puchheim an.

**systemec Controls Hotline:**

**089 - 80906 – 108**

systemec Controls  
Mess- und Regeltechnik GmbH  
Lindberghstraße 4  
82178 Puchheim  
Germany  
Fon.: ++49-(0)89-80 90 60  
Fax.: ++49-(0)89-80 90 6 – 200  
[Info@systemec-controls.de](mailto:Info@systemec-controls.de)  
[www.systemec-controls.de](http://www.systemec-controls.de)

## Anhang

### Dichten $\rho$ verschiedener Flüssigkeiten bei 20°C in kg/l

Aceton	0,791
Ammoniakwasser (24%)	0,910
(35%)	0,882
Benzin, Fahr- Flug-	0,78 0,72
Benzol	0,879
Chloroform	1,489
Dieselmotorenöl	0,85...0,88
Dimethylether	0,714
Erdöl	0,74...0,94
Ethylalkohol (Ethanol)	0,789
Glycerin	1,261
Heizöl	0,95...1,08
Kalilauge, (40%;15 -C)	1,395
Maschinenöl	ca. 0,9
Methylalkohol	0,7915
Milch, Voll-	1,032
Mineralöl, Schmier- Zylinder-	ca. 0,85 0,93
Okтан	0,702
Olivenöl	0,91
Paraffinöl	0,9...1,0
Petroleum	0,81
Quecksilber	13,546
Rizinusöl	0,96
Salpetersäure (50%)	1,31
(100%)	1,512
Salzsäure (40%)	1,195
Schwefelsäure (50%)	1,40
(100%)	1,834
Siliconöl	0,76...0,97
Spiritus	0,83
Terpentinöl	0,855
Tetrachlorkohlenstoff	1,594
Toluol	0,8669
Transformatoröl	0,87
Wasser	0,9982
Wasser, schweres	1,105

### Dichten $\rho$ verschiedener Gas bei 20°C und 1013,25 mbar in kg/m<sup>3</sup>

Ammoniak	0,7714
Argon	1,784
Butan	2,703
Chlor	3,214
Chlorwasserstoff	1,6392
Dimethylether	2,1098
Helium	0,1785
Kohlendioxid	1,9769
Kohlenmonoxid	1,250
Krypton	3,744
Luft	1,2929
Methan	0,7168
Neon	0,9002
Propan	2,0096
Sauerstoff	1,42895
Stadtgas	ca. 0,6
Stickstoff	1,2505
Wasserdampf	0,768
Wasserstoff	0,08988
Xenon	5,897

### Längenausdehnungskoeffizienten $\alpha$ fester Stoffe bei 20°C in 10e-6/K

Aluminium	23,8
Antimon	10,9
Asphalt	ca. 200
Bakelit	30
Bernstein	54
Beryllium	12,3
Bismut	13,5
Blei	29
Bronze	17,5
Caesium	97
Celluloid	101
Chrom	6,6
Cobalt	13
Diamant	1,3
Duraluminium	23

Eis (0°C)	0,502
Eisen	12,1
Elektron	24
Fette	ca. 100
Germanium	6
Glas, Flint- Kron-	7,9 9,5
Glas, Jenäer	
16111	8,07
59111	5,9
1565 111	3,45
2 877 (Gerätglas 20)	4,5
2954111	6,28
Glas, Jena	
3 891 (Suprax)	3,2
8330 (Duranglas 50)	3,2
8409 (Supremax 56)	3,7
Pyrex	3,2
Quarz- Glimmer	0,45 9
Gold	14,3
Granit 3	8
Graphit	7,9
Gusseisen	11,8
Hartgummi	75...100
Hartpapier	10
Harz	212
Indium	56
Invar	1,5...2
Iridium	6,6
Kalium	84
Kaliumchlorid	33
Kaliumnitrat	78
Kalk, gebr., pulv.	20
Kolophonium	45
Konstantan	15
Kunsthorn	60...80
Kupfer	16,8
Lithium	58
Magnesium	26
Mangan	23
Manganin	18
Marmor	11
Messing	18
Molybdän	5,2
Naphthalin	94
Natrium	71
Natriumchlorid	40
Nickel	12,8
Palladium	11
Phenol	290
Phosphor, weiß	124
Piaeryl (Plexiglas)	70...100
Platin	9,0
Platin-Iridium (101/>.)	8,9
Platin-Rhodium (10%)	9
Polyamid (Perlon, Nylon)	100 bis 140
Polyethylen	200
Polystyrol	60...80
Polyvinylchlorid (PVC)	150...200
Porzellan	3...4
Rohrzucker	83
Sandstein	7...12
Schamotte	5
Schwefel, rholl-11).	90
Silber	19,7
Siliciumearbid (Karbonund)	6,6
Sinterkorund	6
Speckstein	9...10
Stahl, Chroni- Fluß- Nickel- V2A-	10,0 11 12 16
Steinsalz (Kristall)	40
Suprainvar	0,3
Tantal	6,5
Teflon	60...100
Thallium	29
Thorium	11
Titan	9
Vulkanfiber ~	5
Wolfram	4,3
Zink	27
Zinn	27



**Volumenausdehnungskoeffizient  $\gamma$  von Flüssigkeiten bei 20°C in 10e-5/K**

Aceton (Propanon)	149
Ameisensäure	102
Anilin	84
Benzin	106
Benzol	124
Brom	113
Bromoform	91
Chlorbenzol	98
Chloroform	128
Cyanwasserstoff	193
Diethylether	162
Dioxan	109
Essigsäure (Ethansäure)	107
Ethanol	110
Ethylacetat	138
Ethylbenzolat	88
Glycerin	50
Glykol	64
Heptan	124
Hexan	135
Methanol	120
Methylenchlorid	137
Nitrobenzol	83
Oktan	114
Olivenöl	72
Pentan	160
Pentanol	90
Petroleum	96
Pyridin	112
Quecksilber	18,1
in Jenaer Glas 16 111	15,7
in Quarzglas	17,9
Salpetersäure	124
Schwefelsäure	57
Siliconöl	90...160
Terpentinöl	97
Tetrachlorkohlenstoff	123
Tetralin	78
Toluol	111
Wasser	20,7
Xylol	98

**Volumenausdehnungskoeffizient  $\gamma$  von Gasen für 0..100°C in 10e-5/K**

Ammoniak	377
Argon	368
Chlor	383
Chlorwasserstoff	372
Ethan	375
Ethin	373
Helium	366
Kohlendioxid	373
Kohlenmonoxid	367
Krypton	369
Luft	367
Methan	368
Neon	366
Sauerstoff	367
Schwefeldioxid	385
Stickstoff	367
Stickstoffmonoxid	368
Wasserdampf	394
Wasserstoff	366
Xenon	372

**Dichte  $\rho$  in kg/m<sup>3</sup> der Luft in Abhängigkeit von Druck und Temperatur**

°C	bara								
	0,96	0,97	0,98	0,99	1	1,01	1,01	1,02	1,03
0	1,224	1,237	1,25	1,263	1,275	1,288	1,293	1,301	1,314
2	1,216	1,228	1,24	1,253	1,266	1,279	1,283	1,291	1,304
4	1,207	1,219	1,232	1,244	1,257	1,27	1,274	1,282	1,295
6	1,198	1,211	1,223	1,236	1,248	1,26	1,265	1,273	1,285
8	1,19	1,202	1,214	1,227	1,239	1,252	1,256	1,264	1,276
10	1,181	1,193	1,206	1,218	1,23	1,243	1,247	1,255	1,267
12	1,173	1,185	1,197	1,21	1,222	1,234	1,238	1,246	1,258
14	1,165	1,177	1,189	1,201	1,213	1,225	1,229	1,238	1,25
16	1,157	1,169	1,181	1,193	1,205	1,217	1,221	1,229	1,241
18	1,149	1,161	1,173	1,185	1,2	1,209	1,212	1,221	1,232
20	1,141	1,153	1,165	1,177	1,188	1,2	1,204	1,212	1,224
22	1,133	1,145	1,157	1,169	1,18	1,192	1,196	1,204	1,216
24	1,126	1,137	1,149	1,161	1,172	1,184	1,188	1,196	1,208
26	1,118	1,13	1,141	1,153	1,165	1,176	1,18	1,188	1,2
28	1,111	1,122	1,134	1,145	1,157	1,168	1,172	1,18	1,192
30	1,103	1,115	1,126	1,138	1,149	1,161	1,164	1,172	1,184
32	1,096	1,107	1,119	1,13	1,142	1,153	1,157	1,165	1,176
34	1,085	1,098	1,11	1,122	1,135	1,147	1,151	1,159	1,172

**Dichte  $\rho$  in kg/m<sup>3</sup> von Wasser in Abhängigkeit von Druck und Temperatur**

Druck bar	Temperatur in C							
	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0	150,0	200,0	250,0
1,00	999,8	997,1	988,0	974,9	0,5896	0,5164	0,4604	0,4156
5,00	1000,0	997,2	988,2	975,0	958,6	917,1	2,3537	2,1083
10,00	1000,3	997,5	988,4	975,3	958,8	917,4	4,8566	4,8566
20,00	1000,8	997,9	988,5	975,7	959,3	917,9	865,1	8,9757
30,00	1001,3	998,4	989,3	976,2	959,8	918,5	865,9	14,172
40,00	1001,8	998,8	989,7	976,6	960,2	919,1	866,6	799,1
50,00	1002,3	999,3	990,2	977,0	960,7	919,6	867,4	800,3
60,00	1002,8	999,7	990,6	977,5	961,1	920,2	868,1	801,4
70,00	1003,3	1000,1	991,0	977,9	961,6	920,7	868,8	802,6
80,00	1003,8	1000,6	991,5	978,4	962,1	921,2	869,6	803,7
90,00	1004,3	1001,0	991,9	978,8	962,5	921,8	870,3	804,8
100,00	1004,8	1001,5	992,3	979,2	963,0	922,4	871,0	805,9
150,00	1007,3	1003,7	994,4	981,4	965,3	925,1	874,6	811,2
200,00	1009,7	1005,3	996,5	983,5	967,5	927,7	873,0	816,3
250,00	1012,1	1008,0	998,6	985,6	968,7	930,4	881,4	821,1
300,00	1014,5	1010,1	1000,7	987,7	971,9	932,9	884,7	825,7
350,00	1016,9	1012,2	1002,7	989,7	974,0	935,4	887,9	830,2
400,00	1019,2	1014,3	1004,7	991,8	976,1	937,9	891,0	834,4
450,00	1021,5	1016,4	1006,7	993,8	978,2	940,3	894,0	838,6
500,00	1023,8	1018,4	1008,7	995,8	980,3	942,7	897,0	842,5
600,00	1028,3	1022,4	1012,6	999,7	984,3	947,4	902,8	850,1
700,00	1031,7	1026,4	1016,4	1003,5	988,3	951,9	908,3	857,3
800,00	1037,0	1030,3	1020,1	1007,3	992,2	956,3	913,6	864,1
900,00	1041,2	1034,1	1023,8	1011,0	996,0	960,6	918,8	870,5
1000,00	1045,3	1037,8	1027,4	1014,6	999,7	964,8	923,7	876,7

Druck bar	Temperatur °C							
	300	350	400	450	500	600	700	800
1	0,3790	0,3483	0,3223	0,2999	0,2805	0,2483	0,2227	0,2019
5	1,9137	1,7540	1,6200	1,5056	1,4066	1,2437	1,1149	1,0105
10	3,8771	3,5402	3,2617	3,0623	2,8241	2,4932	2,2331	2,0228
20	7,9713	7,2169	6,6142	6,1153	5,6926	5,0101	4,4794	4,0531
30	12,326	11,047	10,065	9,2708	8,6076	7,5512	6,7390	6,0908
40	17,000	15,052	13,623	12,497	11,571	10,117	9,0121	8,1360
50	22,073	19,255	17,299	15,798	14,586	12,709	11,299	10,189
60	27,662	23,687	21,102	19,179	17,653	15,326	13,599	12,249
70	33,944	28,384	25,045	22,646	20,776	17,970	15,914	14,316
80	41,226	33,394	29,143	26,202	23,957	20,642	18,242	16,391
90	713,36	38,776	33,411	29,855	21,198	23,341	20,584	18,474
100	715,58	44,611	37,867	33,611	30,305	26,068	22,941	20,564
150	725,87	87,191	63,889	54,200	48,077	40,154	34,943	31,124
200	735,02	600,78	100,54	78,732	67,711	55,039	47,319	41,871
250	743,32	625,74	166,63	109,09	89,904	70,794	60,080	52,803
300	750,93	644,27	358,05	148,45	115,26	87,481	73,234	63,919
350	757,99	659,30	474,89	201,63	144,43	105,15	86,779	75,214
400	764,58	672,10	523,67	270,91	177,97	123,81	100,71	86,682
450	770,78	683,33	554,78	343,37	215,87	143,44	115,01	98,312
500	776,64	693,39	577,99	402,28	256,95	163,99	129,64	110,09
600	787,51	710,93	612,45	479,87	338,44	207,20	159,77	134,02
700	797,44	726,00	633,83	528,62	405,76	251,73	190,65	158,30
800	806,62	739,31	659,27	563,69	456,99	295,45	221,74	182,72
900	815,18	751,29	677,05	591,14	496,53	336,53	252,48	207,03
1000	823,21	762,21	692,58	613,80	528,21	373,93	282,36	231,03