

**STAUROHRE NACH PRANDTL
 ZUR STRÖMUNGSMESSUNG**



VERWENDUNG

Staurohre werden in Verbindung mit Differenzdruckmessern zur Ermittlung von Druck, Geschwindigkeit und Menge strömender Gase verwendet. Sie weisen keine beweglichen, dem Verschleiß unterliegenden Teile auf.

Sie sind unempfindlich in Handhabung und Gebrauch. Aus diesen Gründen eignen sich Staurohre auch zum Einsatz unter rauen Betriebsbedingungen. Nacheichnungen, wie sie gelegentlich bei Anemometern vorgenommen werden müssen, entfallen.

LAMBRECHT-Staurohre werden aus Messing hergestellt. Sie eignen sich für Betriebstemperaturen bis maximal 400°C. Die Ansprechgrenze von Messanordnungen mit Staurohren ist abhängig von der Empfindlichkeit des angeschlossenen Feindruckmessers und bei Geschwindigkeits- und Mengemessungen darüber hinaus von der Dichte ρ des strömenden Gases.

Für Luftgeschwindigkeitsmessungen ergeben sich kleinste, noch messbare Werte wie folgt:

Ansprechgrenze bei Luftgeschwindigkeits-Messungen:
 Anzeigegerät:

- Flüssigkeitsmanometer mit Alkoholfüllung
- Neigung des Messrohres: 1:25
- Skalenwert: 0.032 mm WS/Skt.
- Ansprechzeit: ca. 0.8 m/s
 $\cong h \sim 0.034 \text{ mm WS bei } \rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

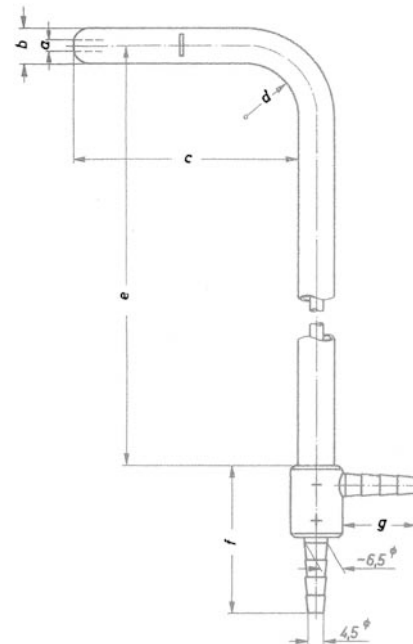


Tabelle 1

Varianten: Ident-Nr.	a Ø	b Ø	c mm	d mm	e mm	f mm	g mm	Gewicht g
00.06280.025 000 (628)	1	3	28	7.5	250	32	18	20
00.06300.025 000 (630)	3	10	65	15	250	42	22	130
00.06300.050 000 (630 a)	3	10	65	15	500	42	22	220
00.06300.075 000 (630 b)	3	10	65	15	750	42	22	290
00.06310.100 000 (631 c)	5	17	110	25	1000	44	22	680

PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

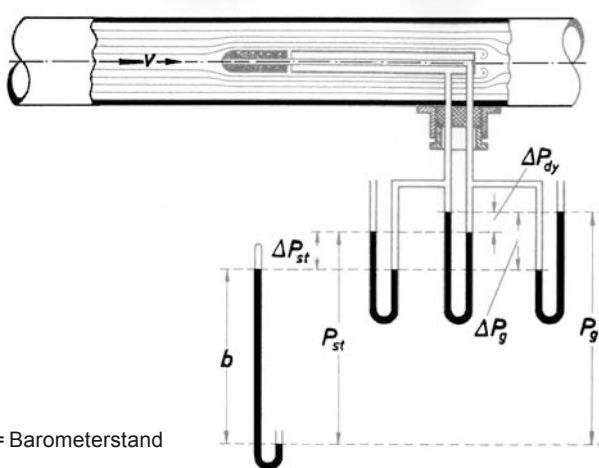
Die angeführten Formeln (1 bis 5) können ohne weiteres für Gasgeschwindigkeiten bis 50 m/s (Fehler -0.38%), sowie mit einer Genauigkeit von ca. - 1% auch für Geschwindigkeiten bis zu 100 m/s verwendet werden.

Bei höheren Geschwindigkeiten macht sich ein Kompressibilitätseinfluss bemerkbar, der nach Gleichung (1a) oder nach der in DIN 1945 angegebenen ausführlicheren Gleichung berücksichtigt werden kann. Gleichung (1a) ist bis zu 0.95 Mach mit 1% Genauigkeit gültig. Auch Verdichtungsstöße, die etwa ab 0.8 Mach auftreten, stören die Gültigkeit dieser Gleichung nicht.

Stauohre haben den Beiwert 1. Im Gegensatz zu Düsen und Blenden verursachen sie in den Rohrleitungen auch keinen nennenswerten Druckverlust. Sie sind lageunabhängig. Abweichungen zwischen Strömungsrichtung und Achse des Stauohrkopfes bis zu 15° beeinflussen die Messungen praktisch nicht.

Beim Einbau sind jedoch bestimmte Richtlinien zu beachten. Entsprechende Hinweise enthält der Abschnitt „Wahl der Messstelle, Einbau“.

Bei strömenden Gasen sind folgende Druckgrößen zu unterscheiden:



b = Barometerstand

STATISCHER DRUCK ... Pst: ist der innere Druck eines strömenden Gases oder der Druck, den ein parallel zur Rohrwand strömendes Gas auf diese ausübt. Durch eine geeignete Bohrung in der Rohr- oder Kanalwand bzw. durch den ringförmigen Schlitz eines Stauohres kann er als absoluter Druck Pst oder als Druckunterschied ΔPst gegenüber der freien Atmosphäre gemessen werden.

GESAMTDRUCK ... Pg: ist der Druck, der an der Spitze eines Stauohres, das aus einem glattwandigen vorn offenen Hohlzylinder besteht, gemessen wird. Er kann ebenfalls als absoluter Druck Pg oder als Druckunterschied ΔPg gegenüber der freien Atmosphäre gemessen werden.

DYNAMISCHER DRUCK ... ΔPdy: auch als Stau- oder Geschwindigkeitsdruck bezeichnet, ist die größte Drucksteigerung, die in einem strömenden Gas vor dem Mittelpunkt eines Hindernisses auftritt. Er ist gleichbedeutend mit dem Druckunterschied, der zur Beschleunigung des Gases aus der Ruhe auf die betreffende Geschwindigkeit erforderlich ist. Seine Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ergibt sich nach der Formel:

Wenn v < 100 m/s:

$$\Delta P_{dy} = \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (1)$$

Wenn v > 100 m/s:

$$\Delta P_{dy} = \frac{v^2}{2} \cdot \rho \left(1 + \frac{1}{4} Ma^2 \right) \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (1a)$$

Worin bedeuten:

ΔPdy ... dynamischer Druck, Stau- oder Geschwindigkeitsdruck in N/m²

v ... Strömungsgeschwindigkeit in m/s

ρ ... Dichte des Gases in kg/m³

Ma ... v/ c = Machzahl

c ... Schallgeschwindigkeit = 343 m/s

Der dynamische Druck ΔPdy wird insbesondere bei kleinen Geschwindigkeiten durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule gemessen, der er das Gleichgewicht hält. Er soll deshalb im folgenden durch ein **h** gekennzeichnet werden. Mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit ist:

$$h = \frac{1}{9.81} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad \left[\text{mm WS o. kp/m}^2 \right] \quad (2)$$

Der dynamische Druck ist außerdem gleich der Differenz zwischen Gesamt- und statischem Druck, also:

$$h = P_g - P_{st}$$

oder für den Druckunterschied gegen die freie Atmosphäre

$$h = \Delta P_g - \Delta P_{st}$$

Er kann deshalb unmittelbar gemessen werden, indem man die beiden am Prandtl'schen Stauohr auftretenden Drücke auf die Schenkel eines Differenzdruckmessers (z.B. U-Rohr-Manometers) überträgt.

Die Strömungsgeschwindigkeit ist dann, wenn v < 100 m/s:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81 \cdot h}{\rho}} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (3)$$

Die Durchflussmenge kann aus dem gemessenen Staudruck **h [mm WS]** nach der Formel errechnet werden:

$$Q = F \cdot v = F \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81 \cdot h}{\rho}} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (4)$$

$$M = F \cdot v \cdot \rho = F \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot h \cdot \rho} \quad \left[\frac{kg}{s} \right] \quad (5)$$

Q ... Durchflussmenge in m³/s (Volumendurchfluss)

M ... Durchflussmenge in kg/s (Massendurchfluss)

F ... Strömungsquerschnitt an der Messstelle in m²

v ... Strömungsgeschwindigkeit in m/s

h ... Dynamischer Druck in mm WS oder kp/m²

ρ ... Dichte des Gases in kg/m³

9.81 ... Umrechnungsfaktor, Einheit: kg m/s² kp

$$1 N = 1 \text{ kg m/s}^2$$

$$1 \text{ N/m}^2 = \frac{1}{9.80665} \text{ kp/m}^2 \approx 0.102 \text{ mm WS}$$

$$1 \text{ kp/m}^2 = 9.80665 \text{ N/m}^2 \approx 1 \text{ mm WS}$$

WAHL DER MESSSTELLE, EINBAU

Stauohre sind sowohl mobil als auch stationär verwendbar. Messungen können in geschlossenen Kanälen und bei geeigneten Strömungsverhältnissen im Freistrahlaufgeführt werden.

Voraussetzung für einwandfreie Messergebnisse ist in jedem Fall eine gerichtete, drall- und wirbelfreie Strömung an der Messstelle (siehe auch DIN 1945 „VDI-Verdichter-Regeln“ und DIN 1946 [Blatt 1] „VDI-Lüftungs-Regeln“).

In geschlossenen Kanälen ist eine solche Strömung im allgemeinen dann vorhanden, wenn eine störungsfreie Beruhigungsstrecke ohne plötzliche Querschnittsveränderungen, Krümmer oder Absperrorgane von 6 x D (D = lichter Durchmesser der Rohrleitung bzw. gleichwertiger Durchmesser bei rechteckigen Kanälen) vor und 4 x D hinter der Messstelle zur Verfügung steht.

Hinter Krümmern ist eine Beruhigungsstrecke von 40 x D erforderlich. Durch zweckentsprechend angeordnete Umlenkleche kann auch hier die Einlaufstrecke auf ca. 6 x D verringert werden. Ist die Strömung verdreht oder verwirbelt, muss vor dem Staurohr in der Entfernung von ca. 1 x D ein Gleichrichter vorgesehen werden. Er lässt sich leicht aus einer Anzahl dünnwandiger Rohre zusammensetzen. Die Rohre sollten einen Durchmesser von ca. 1/10 D und eine Länge von ca. 3/10 D aufweisen. Sie sind den ganzen Strömungsquerschnitt ausfüllend axial in die Rohrleitung einzubauen.

Messungen vor Ansaug- und hinter Zuluftöffnungen sind oft mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, da die Geschwindigkeit außerhalb des Kanals mit der Entfernung vom Durchlass sehr schnell abnimmt. Der Strahlquerschnitt vergrößert sich unter gleichzeitiger Änderung der Strömungsrichtung. Soweit es die örtlichen Verhältnisse zulassen, sollte deshalb an solche Öffnungen ein Kanalstück mit gleichem Querschnitt angesetzt und die Geschwindigkeit bzw. die Menge in diesem Ansatz gemessen werden. Die Länge des Kanalstückes ist unter Berücksichtigung der oben genannten Beruhigungsstrecken festzulegen.



Eine Verringerung des Querschnittes zum Zweck der Verkürzung des Ansatzstückes ist unzumutbar, da dadurch die Messungen verfälschende Druckverluste hervorgerufen werden.

Richtige Messergebnisse lassen sich im Freistrahlauf ohne Kanalverlängerung an großen Luftdurchlässen bei geringer Geschwindigkeit erzielen.

An vergitterten oder anderweitig teilweise abgedeckten Luftdurchlässen mit im Verhältnis zum Gesamtquerschnitt geringem freien Querschnitt, müssen Messungen an den einzelnen Öffnungen ausgeführt werden, wobei der Querschnitt des Staurohrkopfes gegenüber dem Strömungsquerschnitt klein sein muss.

Bei ortsfester Montage sind Stauohre so einzubauen, dass sie mittlere Werte angeben (Auffinden der mittleren Geschwindigkeit siehe Abschnitt „Messen“). Zur Befestigung dienen Einbau-Gewindestutzen.

Die Einzelteile der auseinandergeschraubten Stützen werden in richtiger Reihenfolge über die Spitze mit den Druckentnahmebohrungen und über die Krümmung des Hakenrohres geschoben. Nach Einschrauben des dem Staukopf zugewandten Gewindestückes (M 12 - bzw. M 20 - bzw. M 30 x 1.5) in die Kanalwand sind die Einzelteile wieder miteinander zu verschrauben.

Durch die beiden Gewindestücke bzw. durch eingelegte Scheiben wird dann das Staurohr geführt, während die Silikon-Kautschuk-Packung in Verbindung mit dem den Schlauchtüllen zugewandten Gewindestück zum Festklemmen in der gewünschten Lage dient. In der -gelockerten- Stopfpackung sind die Stauohre verdrehbar und rechtwinklig zur Strömungsrichtung verschiebbar.



Bei großer Eintauchtiefe (E > 500 mm) und bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten geben die Einbau-Gewindestutzen mit ihrer relativ kurzen Führung dem Staurohr keine genügende Stabilität. In solchen Fällen muss das Staurohr zusätzlich abgestützt werden.

Unter Verwendung eines entsprechenden Zwischenstückes können die Einbau-Gewindestutzen auch an dünnwandigen Rohren befestigt werden.



Zwischenstücke und Stützen sind den jeweiligen Betriebsverhältnissen anzupassen.

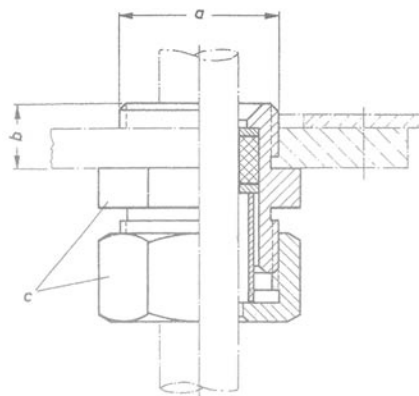


Tabelle 2

Zubehör für Stauohre zum festen Einbau* der Stauohre:

Ident-Nr.	Code	für	a mm	b mm	c mm	Gewicht g
00.06286.000 000	(628 G)	(628)	M12x1.5	6.5	SW 14	20 g
00.06306.000 000	(630 G)	(630)	M20x1.5	8	SW 22	50 g
00.06316.000 000	(631 G)	(631)	M30x1.5	12	SW 36	170 g

Das Staurohr wird mit seiner Öffnung der Strömung entgegengehalten. Abweichungen zwischen Staukopfachse und Strömungsrichtung bis zu 15° beeinflussen die Messungen nicht.

Bei allen Stauohren nach Prandtl ist der Anschluss für den Gesamtdruck mit „+“, der für den statischen Druck mit „-“ gekennzeichnet. Darüber hinaus wird die Schlauchanschlusstülle für den Gesamtdruck **rot** und für den statischen Druck **blau** markiert. Dies ist beim Anschluss an Differenzdruckmesser entsprechend zu beachten.

Soll andererseits, z. B. in einer geschlossenen Rohrleitung, lediglich der statische Druck gegen den Druck der freien Atmosphäre gemessen werden, so ist die mit „-“ gekennzeichnete Anschlusstülle des Staurohres mit der mit „+“ gekennzeichneten Anschlusstülle des Differenzdruckmessers zu verbinden, falls der statische Druck größer als der Atmosphärendruck ist. Ist der statische Druck kleiner als der Atmosphärendruck (Sog), ist wiederum „-“ des Staurohres mit „-“ am Differenzdruckmesser zu verbinden.

Die Verbindungsleitungen müssen mit Sorgfalt verlegt werden. Undichte Stellen können eine merkliche Verfälschung der Messergebnisse herbeiführen. Kondensat, das sich unter Umständen in den Messleitungen bilden kann, muss abgeleitet werden.

Bei Druckmessungen von Gasen genügt es im allgemeinen, die Messleitungen vom Stau- zum Anzeigergerät mit einer stetigen Steigung zu verlegen, so dass das Kondensat zurück in die Betriebsleitung abfließen kann. Das Stauohr ist dabei kopfstehend einzubauen (Schlauchtüllen nach oben). Haben die Verbindungsleitungen zum Differenzdruckmesser hin Gefälle, so ist es zweckmäßig, an den tiefsten Stellen Kondensatscheider vorzusehen.

MESSEN

Die Strömungsgeschwindigkeit ist im allgemeinen nicht an allen Punkten eines Kanalquerschnittes oder eines Luftdurchlasses gleich.

Man teilt deshalb den Querschnitt in eine möglichst große Zahl flächengleicher Felder ein, in deren Schwerpunkt je eine Messung ausgeführt wird (Netzmessung). Der Mittelwert aller Messungen ist die Durchschnittsgeschwindigkeit. Sie ist für die Bestimmung der Durchflussmenge maßgebend.

Die Durchflussmenge kann auch ermittelt werden, - das trifft besonders für teilweise abgedeckte Durchlässe zu -, wenn die einzelnen gemessenen Geschwindigkeitswerte mit den zugehörigen Querschnitten multipliziert werden. Die Summe aller Einzelmessungen ist dann die Durchflussmenge.

In einem Rohr mit rundem Querschnitt sind zur Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit Messungen in zwei senkrecht zueinander stehenden Durchmessern auszuführen.

Die Ergebnisse werden in Abhängigkeit vom Durchmesser graphisch aufgetragen und danach die Geschwindigkeitsprofile gezeichnet. Der Durchmesser ist nunmehr so aufzuteilen, dass 5 oder 10 flächengleiche Kreisringe entstehen. Die den Schwerpunktkreisen dieser Ringe (einschließlich dem Schwerpunktkreis der mittleren Kreisfläche) entsprechenden Geschwindigkeiten werden der graphischen Darstellung entnommen. Ihr arithmetischer Mittelwert ist die mittlere Geschwindigkeit. Das Produkt aus mittlerer Geschwindigkeit und lichtigem Rohrquerschnitt ist die Durchflussmenge. Die graphische Darstellung kann entfallen, wenn die Messungen in den Schwerpunktkreisen ausgeführt werden (Schwerelinienmessung).

Die Schwerpunktradien bei Aufteilung eines kreisförmigen Querschnittes mit dem Radius $r = 1$ in $n = 5$ Ringe (10 Messpunkte auf dem Durchmesser) bzw. $n = 10$ Ringe (20 Messpunkte auf dem Durchmesser) gibt **Tabelle 3** an. Durch Multiplikation mit dem tatsächlich vorhandenen Radius des Rohres ergeben sich unmittelbar die Radien der Schwerpunktkreise, die bei der Messung berücksichtigt werden müssen.

		Schwerpunktradien									
n	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	r ₉	r ₁₀	
5	0.95	0.84	0.71	0.55	0.32						
10	0.97	0.92	0.87	0.81	0.75	0.67	0.59	0.50	0.39	0.22	

n = Anzahl der flächengleichen Kreisringe

Tabelle 3

Bei ortsfestem Einbau ist das Stauohr nach Ausmessen des Geschwindigkeitsprofils an einer Stelle zu befestigen, an der mittlere Geschwindigkeit herrscht. Der Stauohrkopf muss also nicht zentrisch im durchströmten Kanal liegen.

Die Messergebnisse sind nach den im Abschnitt „Physikalische Grundlagen“ angegebenen Formeln auszuwerten. Bei Geschwindigkeitsmessungen von Luft wird die Bestimmung der jeweiligen Luftdichte aus Luftdruck, -feuchte und -temperatur durch die folgende **Tabelle 4** erleichtert.

Tabelle 5 enthält die am häufigsten vorkommenden Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von Staudruck und Luftdichte, so dass Rechnungen weitgehend vermieden werden können.

Wenn die Skalen der zu den Stauohren gelieferten Differenzdruckmesser bereits in Geschwindigkeitseinheiten geteilt sind, muss die auf dem Skalenblatt vermerkte Gasdichte gleichbleibend sein. In Mengeneinheiten geteilte Differenzdruckmesser zeigen richtige Messwerte an, wenn darüber hinaus der der Skalenberechnung zugrunde gelegte Querschnitt an der Messstelle beibehalten wird.

**Dichte ρ der Luft in kg/m^3
 in Abhängigkeit von der relativen Feuchte, dem
 Barometerstand sowie der Temperatur**

p [torr]	700			750			800		
	20	60	100	20	60	100	20	60	100
U [%]	ρ_{Luft} [kg/m^3]								
t [°C]									
-10	1.24	1.24	1.24	1.33	1.33	1.33	1.41	1.41	1.41
0	1.19	1.19	1.19	1.28	1.28	1.28	1.36	1.36	1.36
10	1.15	1.15	1.14	1.23	1.23	1.23	1.31	1.31	1.31
20	1.11	1.11	1.10	1.19	1.18	1.18	1.27	1.26	1.26
30	1.07	1.06	1.06	1.15	1.14	1.13	1.22	1.22	1.21
40	1.03	1.02	1.01	1.11	1.10	1.08	1.18	1.17	1.16
50	1.00	0.98	0.96	1.07	1.05	1.03	1.14	1.12	1.10
60	0.96	0.93	0.90	1.03	1.00	0.97	1.10	1.07	1.04
70	0.93	0.88	0.83	0.99	0.95	0.90	1.06	1.01	0.97
80	0.89	0.82	0.75	0.95	0.88	0.81	1.02	0.95	0.88
90	0.85	0.75	0.64	0.91	0.81	0.71	0.97	0.87	0.77
100	0.80	0.66	0.52	0.86	0.72	0.58	0.93	0.78	0.64

Tabelle 4

$$\rho_{\text{Luft}} = \frac{0.465 \cdot p - 0.175 \cdot e}{T} \quad \left[\text{kg/m}^3 \right]$$

p = Luftdruck in Torr

e = $U \cdot E/100$ = Teildruck des Wasserdampfes in Torr

U = rel. Feuchte in %

E = max. Dampfdruck in Torr bei herrschender Temperatur t in °C

T = 273 + t = absolute Temperatur in °K

Tabelle 5:

Strömungsgeschwindigkeit
 in Abhängigkeit von
 Staudruck und Gasdichte ρ

$$v = \sqrt{\frac{19,62}{\rho}} \cdot h \quad [m/s]$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \Delta Pdy \quad [m/s]$$

v = Strömungsgeschwindigkeit
 in m/s

ρ = Gasdichte in kg/m^3

h = Staudruck in mm WS

ΔPdy = Staudruck in N/m^2

h [mmWS]	ρ [kg/m ³]								ΔPdy [N/m ²]
	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	
0.03	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70	0.67	0.65	0.3
	0.93	0.87	0.82	0.78	0.74	0.71	0.68	0.65	
0.04	1.06	0.99	0.93	0.89	0.84	0.81	0.78	0.75	0.4
	1.07	1.00	0.94	0.89	0.85	0.82	0.78	0.76	
0.05	1.18	1.11	1.04	0.99	0.94	0.90	0.87	0.84	0.5
	1.20	1.12	1.05	1.00	0.95	0.91	0.88	0.85	
0.1	1.67	1.57	1.48	1.40	1.34	1.28	1.23	1.18	1.0
	1.69	1.58	1.49	1.42	1.35	1.29	1.24	1.20	
0.2	2.37	2.21	2.09	1.98	1.89	1.81	1.74	1.67	2.0
	2.39	2.24	2.11	2.00	1.91	1.82	1.75	1.69	
0.3	2.90	2.71	2.56	2.43	2.31	2.21	2.13	2.05	3.0
	2.93	2.74	2.58	2.45	2.34	2.24	2.15	2.07	
0.4	3.35	3.13	2.95	2.80	2.67	2.56	2.46	2.37	4.0
	3.38	3.17	2.98	2.83	2.70	2.58	2.48	2.39	
0.5	3.74	3.50	3.30	3.13	2.99	2.86	2.75	2.65	5.0
	3.78	3.54	3.33	3.16	3.02	2.89	2.77	2.67	
0.6	4.10	3.84	3.62	3.43	3.27	3.13	3.01	2.90	6.0
	4.14	3.87	3.65	3.46	3.30	3.16	3.03	2.93	
0.7	4.43	4.14	3.91	3.71	3.53	3.38	3.25	3.13	7.0
	4.47	4.18	3.94	3.74	3.57	3.42	3.28	3.16	
0.8	4.74	4.43	4.18	3.96	3.78	3.62	3.47	3.35	8.0
	4.78	4.47	4.22	4.00	3.81	3.65	3.51	3.38	
0.9	5.0	4.70	4.43	4.20	4.01	3.84	3.69	3.56	9.0
	5.1	4.74	4.47	4.24	4.05	3.87	3.72	3.59	
1.0	5.3	4.95	4.67	4.43	4.22	4.04	3.88	3.74	10.0
	5.4	5.0	4.71	4.47	4.26	4.08	3.92	3.78	
1.2	5.8	5.4	5.1	4.84	4.62	4.42	4.25	4.09	12.0
	5.9	5.5	5.2	4.90	4.67	4.47	4.30	4.14	
1.4	6.3	5.9	5.5	5.2	4.95	4.78	4.60	4.43	14.0
	6.3	5.9	5.6	5.3	5.1	4.83	4.64	4.47	
1.6	6.7	6.3	5.9	5.6	5.3	5.1	4.91	4.74	16.0
	6.8	6.3	6.0	5.7	5.4	5.2	4.96	4.78	
1.8	7.1	6.6	6.3	5.9	5.7	5.4	5.2	5.0	18.0
	7.2	6.7	6.3	6.0	5.7	5.5	5.3	5.1	
2.0	7.5	7.0	6.6	6.3	6.0	5.7	5.5	5.3	20.0
	7.6	7.1	6.7	6.3	6.0	5.8	5.6	5.4	
2.2	7.9	7.3	6.9	6.6	6.3	6.0	5.8	5.6	22.0
	7.9	7.4	7.0	6.6	6.3	6.1	5.8	5.6	
2.4	8.2	7.7	7.2	6.9	6.5	6.3	6.0	5.8	24.0
	8.3	7.8	7.3	6.9	6.6	6.3	6.1	5.9	
2.6	8.5	8.0	7.5	7.1	6.8	6.5	6.3	6.0	26.0
	8.6	8.1	7.6	7.2	6.9	6.6	6.3	6.1	
2.8	8.9	8.3	7.8	7.4	7.1	6.8	6.5	6.3	28.0
	8.9	8.4	7.9	7.5	7.1	6.8	6.6	6.3	
3.0	9.2	8.6	8.1	7.7	7.3	7.0	6.7	6.5	30.0
	9.3	8.7	8.2	7.8	7.4	7.1	6.8	6.6	
3.5	9.9	9.3	8.7	8.3	7.9	7.6	7.3	7.0	35.0
	10.0	9.4	8.8	8.4	8.0	7.6	7.3	7.1	
4.0	10.6	9.9	9.3	8.9	8.4	8.1	7.8	7.5	40.0
	10.7	10.0	9.4	8.9	8.5	8.2	7.8	7.6	
4.5	11.2	10.5	9.9	9.4	9.0	8.6	8.3	7.9	45.0
	11.3	10.6	10.0	9.5	9.1	8.7	8.3	8.0	
5.0	11.8	11.1	10.4	9.9	9.4	9.0	8.7	8.4	50.0
	12.0	11.2	10.5	10.0	9.5	9.1	8.8	8.5	
5.5	12.4	11.6	11.0	10.4	9.9	9.5	9.1	8.8	55.0
	12.5	11.7	11.1	10.5	10.0	9.6	9.2	8.9	
6.0	13.0	12.1	11.5	10.9	10.3	9.9	9.5	9.2	60.0
	13.1	12.3	11.6	11.0	10.4	10.0	9.6	9.3	
6.5	13.5	12.6	11.9	11.3	10.8	10.3	9.9	9.5	65.0
	13.6	12.8	12.0	11.4	10.9	10.4	10.0	9.6	
7.0	14.0	13.1	12.4	11.7	11.2	10.7	10.3	9.9	70.0
	14.1	13.2	12.5	11.8	11.3	10.8	10.4	10.0	
7.5	14.5	13.6	12.8	12.1	11.6	11.1	10.6	10.3	75.0
	14.6	13.7	12.9	12.3	11.7	11.2	10.7	10.4	
8.0	15.0	14.0	13.2	12.5	11.9	11.4	11.0	10.6	80.0
	15.1	14.1	13.3	12.7	12.1	11.6	11.1	10.7	
8.5	15.4	14.4	13.6	12.9	12.3	11.8	11.3	10.9	85.0
	15.6	14.6	13.7	13.0	12.4	11.9	11.4	11.0	
9.0	15.9	14.9	14.0	13.3	12.7	12.1	11.7	11.2	90.0
	16.0	15.0	14.1	13.4	12.8	12.3	11.8	11.3	

h [mmWS]	ρ [kg/m ³]								ΔPdy [N/m ²]
	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	
9.5	16.3 16.5	15.3 15.4	14.4 14.5	13.7 13.8	13.0 13.1	12.5 12.6	12.0 12.1	11.5 11.7	95.0
10	16.7 16.9	15.7 15.8	14.8 14.9	14.0 14.1	13.4 13.5	12.8 12.9	12.3 12.4	11.8 12.0	100
11	17.6 17.7	16.4 16.6	15.5 15.6	14.7 14.8	14.0 14.1	13.4 13.5	12.9 13.0	12.4 12.5	110
12	18.3 18.5	17.2 17.3	16.2 16.3	15.3 15.5	14.6 14.8	14.0 14.1	13.5 13.6	13.0 13.1	120
13	19.1 19.3	17.9 18.0	16.8 17.0	16.0 16.1	15.2 15.4	14.6 14.7	14.0 14.1	13.5 13.6	130
14	19.8 20.0	18.5 18.7	17.5 17.6	16.6 16.7	15.8 16.0	15.1 15.3	14.5 14.7	14.0 14.1	140
15	20.5 20.7	19.2 19.4	18.1 18.3	17.2 17.3	16.4 16.5	15.7 15.8	15.0 15.2	14.5 14.6	150
16	21.2 21.4	19.8 20.0	18.7 18.9	17.7 17.9	16.9 17.1	16.2 16.3	15.5 15.7	15.0 15.1	160
17	21.8 22.0	20.4 20.6	19.3 19.4	18.3 18.4	17.4 17.6	16.7 16.8	16.0 16.2	15.4 15.6	170
18	22.5 22.7	21.0 21.2	19.8 20.0	18.8 19.0	17.9 18.1	17.2 17.3	16.5 16.6	15.9 16.0	180
19	23.1 23.3	21.6 21.8	20.4 20.6	19.3 19.5	18.4 18.6	17.6 17.8	16.9 17.1	16.3 16.5	190
20	23.7 23.9	22.1 22.4	20.9 21.1	19.8 20.0	18.9 19.1	18.1 18.3	17.4 17.5	16.7 16.9	200
22	24.8 25.1	23.2 23.5	21.9 22.1	20.8 21.0	19.8 20.0	19.0 19.1	18.2 18.4	17.6 17.7	220
24	25.9 26.2	24.3 24.5	22.9 23.1	21.7 21.9	20.7 20.9	19.8 20.0	19.0 19.2	18.3 18.5	240
26	27.0 27.3	25.3 25.5	23.8 24.0	22.6 22.8	21.5 21.7	20.6 20.8	19.8 20.0	19.1 19.3	260
28	28.0 28.3	26.2 26.5	24.7 24.9	23.4 23.7	22.4 22.6	21.4 21.6	20.6 20.8	19.8 20.0	280
30	29.0 29.3	27.1 27.4	25.6 25.8	24.3 24.5	23.1 23.4	22.1 22.4	21.3 21.5	20.5 20.7	300
32	29.9 30.2	28.0 28.3	26.4 26.7	25.1 25.3	23.9 24.1	22.9 23.1	22.0 22.2	21.2 21.4	320
34	30.9 31.2	28.9 29.2	27.2 27.5	25.8 26.1	24.6 24.9	23.6 23.8	22.7 22.9	21.8 22.0	340
36	31.8 32.1	29.7 30.0	28.0 28.3	26.6 26.8	25.3 25.6	24.3 24.5	23.3 23.5	22.5 22.7	360
38	32.6 33.0	30.5 30.8	28.8 29.1	27.3 27.6	26.0 26.3	24.9 25.2	24.0 24.2	23.1 23.3	380
40	33.5 33.8	31.3 31.6	29.5 29.8	28.0 28.3	26.7 27.0	25.6 25.8	24.6 24.8	23.7 23.9	400
45	35.5 35.9	33.2 33.5	31.3 31.6	29.7 30.0	28.3 28.6	27.1 27.4	26.1 26.3	25.1 25.4	450
50	37.4 37.8	35.0 35.4	33.0 33.3	31.3 31.6	29.9 30.2	28.6 28.9	27.5 27.7	26.5 26.7	500
55	39.3 39.6	36.7 37.1	34.6 34.9	32.9 33.2	31.3 31.6	30.0 30.3	28.8 29.1	27.8 28.0	550
60	41.0 41.4	38.4 38.7	36.2 36.5	34.3 34.6	32.7 33.0	31.3 31.6	30.1 30.4	29.0 29.3	600
65	42.7 43.1	39.9 40.3	37.6 38.0	35.7 36.1	34.1 34.4	32.6 32.9	31.3 31.6	30.2 30.5	650
70	44.3 44.7	41.4 41.8	39.1 39.4	37.1 37.4	35.3 35.7	33.8 34.2	32.5 32.8	31.3 31.6	700
75	45.9 46.3	42.9 43.3	40.4 40.8	38.4 38.7	36.6 36.9	35.0 35.4	33.6 34.0	32.4 32.7	750
80	47.4 47.8	44.3 44.7	41.8 42.2	39.6 40.0	37.8 38.1	36.2 36.5	34.7 35.1	33.5 33.8	800
85	48.8 49.3	45.6 46.1	43.0 43.5	40.8 41.2	38.9 39.3	37.3 37.6	35.8 36.2	34.5 34.9	850
90	50.2 50.7	47.0 47.4	44.3 44.7	42.0 42.4	40.1 40.5	38.4 38.7	36.9 37.2	35.6 35.9	900
95	51.6 52.1	48.3 48.7	45.5 46.0	43.2 43.6	41.2 41.6	39.4 39.8	37.9 38.2	36.5 36.8	950
100	52.9 53.5	49.5 50.0	46.7 47.1	44.3 44.7	42.2 42.6	40.4 40.8	38.8 39.2	37.4 37.8	1000

Technisch Änderungen vorbehalten.

628-631_b-de.pmd 41.05

MessCom GmbH
 Augustinusstraße 11c
 50226 Frechen
 Germany

Tel +49-(0)2234-9641-0
 Fax +49-(0)2234-9641-10
 E-Mail info@messcom.de
 Internet www.messcom.de



Quality System certified by DQS according to
 DIN EN ISO 9001:2000 Reg. No. 003748 QM