



Paul Gothe Bochum

Manufacturer of Emissions Control Technology

Formelsammlung für die isokinetische Entnahme zur Staubmassenbestimmung aus strömenden Gasen

List of used symbols

t	temperature	[°C]	a	distance:	
T	273 K			pipe wall – measure point	[m]
b	air pressure	[mbar]	D	diameter	[m]
+p	overpressure	[mbar]	i	number of split surface	
-p	vacuum	[mbar]	n	ordinal number	
f	weight of the water	[kg/m ³]	F	moisture	[%]
p _(H₂O)	water vapour	[mbar]	NTP	normal state (DIN 1343 p: 1013 mbar, T: 273 K)	
δ	density	[kg/m ³]			
v	gas speed	[m/s]		lower indices:	
v	volumetric flow rate	[m ³ /h]	n	normal state	
V	Volume	[m ³]	b	operating state	
A	surface	[m ²]	tr	dry	
			f	wet	



Wichtige Formeln bei der Probenahme (Beispiel Staubgehaltsbestimmung im Abgas)

A: Bestimmung der Feuchte im Abgas nach der Waschflaschenmethode (Auswiegen von gesammeltem Kondensat)

Relativer Wassergehalt:

Formel 1:

$$rW = \frac{V_{w,N} + V_{w,sg}}{V_{w,N} + V_{w,sg} + V_N}$$

Feuchte [kg/m³ i . N.]

$$f_{NTP} = \frac{\Delta m_{H_2O}}{V_N}$$

mit:

$V_{w,N}$ = Wasservolumen im Kondensat auf Norm bezogen;

$V_{w,gs}$ = Wasservolumen im Silikagel auf Norm bezogen;

V_N = Volumen Gas trocken an der Gasuhr auf Norm bezogen;

m = Gewichtsanteil vom Wasser aus Waschflaschen und Silikagel [kg]

Formel 2:

$$V_{w,N} = 1.24 * (W_{fc} - W_{ic})$$

mit:

W_{fc} = Endgewicht Waschflaschen

W_{ic} = Anfangsgewicht Waschflaschen;

Formel 3:

$$V_{w,gs} = 1.24 * (W_{fsg} - W_{isg})$$

mit:

W_{fsg} = Endgewicht Silikagel

W_{isg} = Anfangsgewicht Silikagel.



B: Berechnung der Dichte vom Abgas

Die Normdichte ergibt sich aus der Summe der Anteile der Einzel-Normdichten

$$\% \text{ N}_2 + \% \text{ O}_2 + \% \text{ CO} + \% \text{ CO}_2 = 100 \%$$

mit:

% X = Volumenprozent des Gases

Beispiel:

$$15 \% \text{ CO}_2 \text{ (NTP-density: 1.9770)} = 0.29655$$

$$80 \% \text{ N}_2 \text{ (NTP-density: 1.2505)} = 1.00040$$

$$3,5 \% \text{ O}_2 \text{ (NTP-density: 1.4290)} = 0.05001$$

$$1,5 \% \text{ CO (NTP-density: 1.2505)} = 0.01875$$

$$\text{Normdichte vom Gas: } 1.36571 \text{ kg/m}^3$$

Dichteumrechnung

Dichteberechnung auf Betriebszustand bei trockenem Abgas

Formel 4:

$$\delta_{dry} = \delta_{NPT,dry} \cdot \frac{(b \pm p) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)}$$

mit:

b= Barometerdruck [mbar]

p= Betriebsdruck [mbar]

p= NPT- Normdruck = 1013 mbar

T= NPT-Normtemperatur (273 K)

t= Betriebstemperatur (°C)

Dichteumrechnung bei hoher Feuchte

Formel 5:

$$\delta_{wet} = \frac{(b \pm p) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)} \cdot \frac{(\delta_{dry,NPT} + f_{NPT})}{1 + \left(\frac{f_{NPT}}{0,804} \right)}$$

mit:

f_{NPT} = Feuchtgehalt [$\text{kg/m}^3_{dry,NPT}$]



C: Messen der Gasgeschwindigkeit mit Prandtl-Staurohr

Formel 6:

$$v = \sqrt{\frac{200 \cdot \Delta P_p}{\delta \cdot c}}$$

mit:

P_p = Differenzdruck (mbar)

δ = Betriebsdichte [kg/m³]

$c = 1$

D: Kanaldaten bestimmen: Gasmenge im Betriebszustand

Formel 7:

$$V_{t,p} = v \cdot A \cdot 3600$$

A: Fläche Kanal [m²] ($A = \pi r^2$)

Volumenumrechnung auf Normzustand

Formel 8:

$$V_{NPT} = V_{t,p} \cdot \frac{(b \pm p) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)}$$

mit:

$V_{t,p}$ = Gasvolumen im Betriebszustand [m³/h]

b = Barometerstand [mbar]

p = Kanaldruck [mbar]

t = Temperatur [°C]

Volumenumrechnung bei Feuchte:

Formel: 9

$$V_{dry,NPT} = V_{p,t,f} \cdot \frac{T_{NPT} \cdot (b \pm p)}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t) \cdot \left[1 + \left(\frac{f_{NPT}}{0,804} \right) \right]}$$

mit f = Feuchte [kg/m³]



D: Düsendurchmesser berechnen

Bei Einsatz eines Filterkopfgerätes nach VDI 2066 max. Teilvolumenstrom 4 m³/h (V_D).
Maximale Strömungsgeschwindigkeit mit Staurohr gemessen: v_{max}.

Formel: 10

$$d = \sqrt{\frac{4V_D}{\pi v_{\max}}}$$

mit der Staubmasse m auf dem Filter (20 fache von NWG) Probenahmezeit:

Formel: 11

$$\Delta T = \frac{m = (20 \cdot NWG)}{G \cdot V_D}$$

mit:

NWG : Nachweisgrenze

G: Grenzwert

V_D: Teilvolumenstrom

E: Volumen an der Gasuhr

Formel 12:

$$V_{\text{Gasuhr}} = V_{\text{Kanal}} \frac{100 - f_{\text{Kanal}} T_{\text{Gasuhr (Kelvin)}} P_{\text{Kanal}}}{100 - f_{\text{Gasuhr}} T_{\text{Kanal (Kelvin)}} P_{\text{Gasuhr}}}$$

V: Volumenstrom in m³/h

f: Feuchte in Prozent

T: Temperatur in Kelvin

p: absoluter Druck in mbar



F: Berechnungen zum Schwebekörperdurchflussmesser

Die Anzeige am Durchflussmesser muss auf das Gas und die Betriebsbedingungen umgerechnet werden. Der Durchflussmesser ist unter definierten Bedingungen kalibriert worden. Zum Beispiel bei den Gothe Durchflussmessern strömen die angezeigten **NORM**kubikmeter durch den Durchflussmesser, wenn Luft bei 1000 hPa und 20°C verwendet wird. Sind andere Betriebszustände am Durchflussmesser, muss mit einem Korrekturfaktor gerechnet werden.

Formel 13:

$$\text{Anzeige}(\text{Durchflußmesser}, i.N.) = \frac{\text{gewünschte Durchflußmenge}, i.N.}{K_{\delta} \cdot K_t \cdot K_p}$$

Berechnungsformel für den Korrekturfaktor:

Formel 14:

$$K_{\delta} = \sqrt{\frac{\delta_E}{\delta_B}}; K_t = \sqrt{\frac{293}{(273+t)}}; K_p = \sqrt{\frac{p}{1000}}$$

mit: δ_B : Prüfgasdichte [kg/m³]
 δ_E : Eichdichte [kg/m³]
 δ_N : Dichte im Normzustand [kg/m³]
 b: Barometerdruck [mbar]
 p: Betriebsdruck [mbar]
 p_N : Normdruck (1013 mbar)
 T: Normtemperatur (273 K)
 t: Betriebstemperatur [°C]

Berechnungsformel für die Änderung der Dichte eines Mediums:

Formel 15:

$$\delta_{E,B} = \delta_N \cdot \frac{(b \pm p) \cdot T}{p_N \cdot (T + t)}$$

Gothe Durchflussmesser Betriebsbedingungen:

Formel 16:

$$\delta_E = 1,293 [\text{kg} / \text{m}^3]$$

$$P = 1000 \text{ mbar}$$

$$T = 293 \text{ K}$$

G: Berechnung des Normgasvolumens an der Gasuhr:

trockenes Gas nach Trockenturm

Formel 17:

$$V_{NPT, \text{gasmeter}, \text{dry}} = V_{\text{gasmeter}, \text{dry}, p, t} \cdot \frac{(b - p_{\text{gasmeter}}) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)}$$

Umrechnung mit Feuchte aus Trockenturm:

Formel 18:

$$V_{NPT, \text{gasmeter}, f} = V_{\text{gasmeter}, p, t, f} \cdot \frac{(b - p_{\text{gasmeter}}) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)} \left(1 + \frac{f}{0,804} \right)$$

H: Staubkonzentration:

Formel 19:

$$c = \frac{m}{V}$$

m: Masse

V: Volumen

I: Staubkonzentration auf Sauerstoffgehalt bezogen:

Formel 20:

$$c_o = c \cdot \frac{21 - O_{2, \text{referenz}}}{21 - O_{2, \text{Messung}}}$$

J: Statistik

Standardabweichung

Formel 21:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (a_i - \bar{a})^2}$$

n: Anzahl der Messwerte

a_i : Messwert

\bar{a} : Mittelwert

Varianz

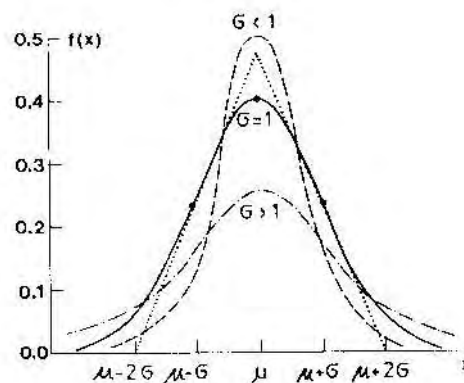
Formel 22:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (a_i - \bar{a})^2$$

relative Standardabweichung

Formel 23:

$$v = \left(\frac{s}{\bar{a}} \right) \cdot 100\%$$



σ = Standardabweichung nach Normal-Verteilung



Vertrauensbereich:

Formel 24:

$$VB = \bar{a} \pm t_{\Phi, \alpha} \frac{s}{\sqrt{n}}$$

t: Studentfaktor (zweiseitig)

Fehlerfortpflanzung

Formel 25:

$$E = \int (a, b, c, \dots)$$

E: Endergebnis

absoluter Fehler des Einzelwertes:

Formel 26:

$$\Delta a = \pm \frac{s}{\sqrt{n}}$$

absoluter Fehler vom Endwert:

Formel 27:

$$\Delta E = \pm \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \dots}$$

relativer Fehler vom Einzelwert:

Formel 28:

$$\hat{\partial} a = \pm \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%$$

relativer Fehler vom Endwert:

Formel 29:

$$\hat{\partial} E = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \dots} \cdot 100\%$$



Beispielsberechnungen

A: Bestimmung der Feuchte im Abgas nach der Waschflaschenmethode (Auswiegen von gesammeltem Kondensat)

Gewicht vor der Messung: 450 g, nach der Messung: 466 g, Volumen Gasuhr: 150 l,
Unterdruck Gasuhr: 100 mbar, Temperatur Gasuhr: 12°C, Barometrischer Luftdruck: 1017
mbar

$$V_{dry;NPT} = V_{t,p} \cdot \frac{(b \pm p) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)} \qquad V_{dry;NPT} = 0,15 \cdot \frac{(1017 - 100) \cdot 273}{1013 \cdot (273 + 12)} = 0,13 m^3 i. N.$$

Relativer Wassergehalt:

Formel 2:

$$V_{w,N} = 1,24 \cdot (W_{fc} - W_{ic}) \qquad 1,24 \cdot 0,016 = 0,0198$$

mit:

W_{fc} = Endgewicht Waschflaschen

W_{ic} = Anfangsgewicht Waschflaschen;

Formel 1:

$$rW = \frac{V_{w,N} + V_{w,sg}}{V_{w,N} + V_{w,sg} + V_N} \qquad rW = \frac{0,0198}{0,0198 + 0,13} = 0,132 \equiv (13\%)$$

Feuchte [kg/m³ i . N.]

$$f_{NTP} = \frac{\Delta m_{H_2O}}{V_N} \qquad f_{NTP} = \frac{0,016}{0,13} = 0,123 kg / m^3 i. N.$$



B: Berechnung der Dichte vom Abgas

Die Normdichte ergibt sich aus der Summe der Anteile der Einzel-Normdichten

$$\% \text{ N}_2 + \% \text{ O}_2 + \% \text{ CO} + \% \text{ CO}_2 = 100 \%$$

mit:

% X = Volumenprozent des Gases

Beispiel:

$$15 \% \text{ CO}_2 \text{ (NTP-density: 1.9770)} = 0.29655$$

$$80 \% \text{ N}_2 \text{ (NTP-density: 1.2505)} = 1.00040$$

$$3,5 \% \text{ O}_2 \text{ (NTP-density: 1.4290)} = 0.05001$$

$$1,5 \% \text{ CO (NTP-density: 1.2505)} = 0.01875$$

$$\text{Normdichte vom Gas: } 1.36571 \text{ kg/m}^3$$

Dichteumrechnung

Abgastemperatur: 80°C, Unterdruck 5 mbar

Dichteberechnung auf Betriebszustand bei trockenem Abgas

Formel 4:

$$\delta_{dry} = \delta_{NPT,dry} \cdot \frac{(b \pm p) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)} \quad \delta_{dry} = 1,3657 \cdot \frac{(1017 - 5) \cdot 273}{1013 \cdot (273 + 80)} = 1,055 \text{ kg / m}^3$$

mit:

b= Betriebsdruck [mbar]

p= NPT- Normdruck = 1013 mbar

T= NPT-Normtemperatur (273 K)

t= Betriebstemperatur (°C)

Dichteumrechnung bei hoher Feuchte

Formel 5:

$$\delta_{wet} = \frac{(b \pm p) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)} \cdot \frac{(\delta_{dry,NPT} + f_{NPT})}{1 + \left(\frac{f_{NPT}}{0,804}\right)} \quad \delta_{wet} = \frac{(1017 - 5) \cdot 273}{1013 \cdot (273 + 80)} \cdot \frac{(1,3657 + 0,123)}{1 + \left(\frac{0,123}{0,804}\right)} = 0,998 \text{ kg / m}^3$$

mit:

f_{NPT} = Feuchtgehalt [kg/m³_{dry,NPT}]



C: Messen der Gasgeschwindigkeit mit Prandtl-Staurohr

A: Fläche Kanal [m²] ($A = \pi r^2$)

Kanaldurchmesser D: 800 mm, $A = \pi 0,4^2 = 0,5m^2$, d.h. 4 Messpunkte: $x = K \cdot D$

Formel 6:

$$v = \sqrt{\frac{200 \cdot \Delta P_p}{\delta \cdot c}} \quad v = \sqrt{\frac{200 \cdot 1,2}{0,998 \cdot 1}} = 15,5m/s$$

x ₁	53,6 mm
x ₂	200 mm
x ₃	600 mm
x ₄	746 mm

mit:

P_p= Differenzdruck (mbar)

δ= Betriebsdichte [kg/m³]

c= 1

D: Kanaldaten bestimmen: Gasmenge im Betriebszustand

Formel 7:

$$V_{t,p} = v \cdot A \cdot 3600 \quad V_{t,p} = 15,5 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 27.900m^3/h$$

Volumenumrechnung auf Normzustand

Volumenumrechnung bei Feuchte:

Formel: 9

$$V_{wet;NPT} = V_{p,t,f} \cdot \frac{T_{NPT} \cdot (b \pm p)}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t) \cdot \left[1 + \left(\frac{f_{NPT}}{0,804} \right) \right]}$$

mit f = Feuchte [kg/m³]

$$V_{wet;NPT} = 27900 \cdot \frac{273 \cdot (1017 - 5)}{1013 \cdot (273 + 80) \cdot \left[1 + \left(\frac{0,123}{0,804} \right) \right]} = 18700m^3/h$$



D: Düsendurchmesser berechnen

Bei Einsatz eines Filterkopfgerätes nach VDI 2066 max. Teilvolumenstrom 4 m³/h (V_D).
Maximale Strömungsgeschwindigkeit mit Staurohr gemessen: v_{max}.

Formel: 10

$$d = \sqrt{\frac{4V_D}{\pi v_{\max}}} \qquad d = \sqrt{\frac{4 \cdot (4/3600)}{\pi \cdot 15,5}} = 0,0096m \equiv 9,6mm$$

Düse: 9 mm

$$V_D = \frac{d^2 \pi \cdot v_{\max}}{4} \qquad V_D = \frac{0,009^2 \pi \cdot 15,5}{4} \cdot 3600 = 3,55m^3/h$$

mit der Staubmasse m auf dem Filter (20 fache von NWG) Probenahmezeit:

Formel: 11

$$\Delta T = \frac{m = (20 \cdot NWG)}{G \cdot V_D} \qquad \Delta T = \frac{20 \cdot 0,56}{10 \cdot 3,55} \cdot 60 = 19,2 \text{ min}$$

mit:

NWG : Nachweisgrenze

G: Grenzwert

V_D: Teilvolumenstrom

E: Volumen an der Gasuhr

Formel 12:

$$V_{\text{Gasuhr}} = V_{\text{Kanal}} \frac{100 - f_{\text{Kanal}} T_{\text{Gasuhr (Kelvin)}} P_{\text{Kanal}}}{100 - f_{\text{Gasuhr}} T_{\text{Kanal (Kelvin)}} P_{\text{Gasuhr}}}$$

T-Gasuhr: 20°C, P-Gasuhr: 0 mbar

$$V_{\text{Gasuhr}} = 3,55 \frac{100 - 13 \cdot 293 \cdot 1012}{100 - 0 \cdot 353 \cdot 1017} = 2,55m^3/h \equiv 42,5l/min$$

V: Volumenstrom in m³/h

f: Feuchte in Prozent

T: Temperatur in Kelvin

p: absoluter Druck in mbar



F: Berechnungen zum Schwebekörperdurchflussmesser

Die Anzeige am Durchflussmesser muss auf das Gas und die Betriebsbedingungen umgerechnet werden.

Formel 13:

$$\text{Anzeige}(\text{Durchflussmesser}, i.N.) = \frac{\text{gewünschte Durchflußmenge}, i.N.}{K_{\delta} \cdot K_t \cdot K_p}$$

$$\text{Anzeige}(\text{Durchflussmesser}, i.N.) = \frac{2,55}{0,981} = 2,60$$

Berechnungsformel für den Korrekturfaktor:

Formel 14/15/16:

$$K = \sqrt{\frac{\delta_E = 1,293}{\delta_B = 1,36571}} = 0,973$$

$$K_t = \sqrt{\frac{293}{(273 + t) = (273 + 20)}} = 1$$

$$K_p = \sqrt{\frac{p = 1017}{1000}} = 1,008$$

mit: δ_B : Dichte im Betriebszustand [kg/m³]
 δ_E : Dichte im Eichzustand [kg/m³]
 δ_N : Dichte im Normzustand [kg/m³]
 b: Barometerdruck [mbar]
 p: Betriebsdruck [mbar]
 p_N : Normdruck (1013 mbar)
 T: Normtemperatur (273 K)
 t: Betriebstemperatur [°C]

$$V_{\text{Anzeige}} = V_{\text{gewünscht}} \cdot \frac{(b \pm p) \cdot T}{p_N \cdot (T + t)} \cdot \frac{1}{K_{\delta}} \cdot \frac{1}{K_t} \cdot \frac{1}{K_p} = 2,55 \cdot \frac{1017 \cdot 273}{1013 \cdot (273 + 20)} \cdot 0,981 = 2,3 \text{ m}^3 / \text{h}$$

G: Berechnung des Normgasvolumens an der Gasuhr:

Nach der Probenahme: 1,775 m³, Temperatur Gasuhr: 20°C, Druck an der Gasuhr: 0 mbar

Trockenes Gas der Gasuhr auf Normzustand

Formel 17:

$$V_{NPT, \text{gasmeter}, \text{dry}} = V_{\text{gasmeter}, \text{dry}, p, t} \cdot \frac{(b - p_{\text{gasmeter}}) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)} \quad V_{NPT, \text{gasmeter}, \text{dry}} = 1,775 \cdot \frac{1017 \cdot 273}{1013 \cdot (273 + 20)} = 1,66$$

zuzüglich der Feuchte aus dem Trockenturm: Formel 18:

$$V_{NPT, \text{gasmeter}, \text{feucht}} = V_{\text{gasmeter}, \text{dry}, p, t} \cdot \frac{(b - p_{\text{gasmeter}}) \cdot T_{NPT}}{p_{NPT} \cdot (T_{NPT} + t)} \left(1 + \frac{f}{0,804} \right)$$

$$V_{NPT, \text{gasmeter}, \text{feucht}} = 1,775 \cdot \frac{1017 \cdot 273}{1013 \cdot (273 + 20)} \left(1 + \frac{0,123}{0,804} \right) = 1,9$$



H: Staubkonzentration:

Staubmenge: 5 mg

Formel 19:

m: Masse

V: Volumen

$$c = \frac{m}{V} \quad c = \frac{5}{1,9} = 2,6 \text{ mg} / \text{m}^3 \text{ i.N., feucht}$$

$$c = \frac{m}{V} \quad c = \frac{5}{1,66} = 3,0 \text{ mg} / \text{m}^3 \text{ i.N., trocken}$$

I: Staubkonzentration auf Sauerstoffgehalt bezogen:

Referenz: 11% O₂-Gehalt

Formel 20:

$$c_o = c \cdot \frac{21 - O_{2,\text{referenz}}}{21 - O_{2,\text{Messung}}} \quad c_o = 3,0 \cdot \frac{21 - 11}{21 - 3,5} = 1,71 \text{ mg} / \text{m}^3 \text{ i.N., trocken}$$

J: Statistik

Standardabweichung

Formel 21:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (a_i - \bar{a})^2} \quad s = \sqrt{\frac{1}{17-1} \cdot 8,555} = 0,73$$

n: Anzahl der Messwerte (Beispiel: 17)

a_i: Messwert

\bar{a} : Mittelwert (= 106/17 = 6,24)

Varianz

Formel 22:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (a_i - \bar{a})^2 \quad s^2 = \frac{1}{17-1} \cdot 8,555 = 0,53$$

ai	ai'	ai' ²
5,6	0,635	0,403
5,8	0,435	0,189
4,9	1,335	1,782
6,8	0,565	0,319
6,4	0,165	0,027
7,4	1,165	1,357
6,5	0,265	0,070
7,7	1,465	2,146
5,5	0,735	0,540
5,7	0,535	0,286
6,5	0,265	0,070
5,5	0,735	0,540
6,7	0,465	0,216
6,9	0,665	0,442
6,2	0,035	0,001
6,0	0,235	0,055
5,9	0,335	0,112
Σ106,0	Σ10,035	Σ8,555



relative Standardabweichung

Formel 23:

$$v = \left(\frac{s}{\bar{a}} \right) \cdot 100\% \quad v = \left(\frac{0,731}{6,235} \right) \cdot 100\% = 11,7\%$$

Vertrauensbereich:

Formel 24:

$$VB = \bar{a} \pm t_{\Phi, \alpha} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad VB = 6,24 \pm 2,12 \cdot \frac{0,73}{\sqrt{17}} = 6,24 \pm 0,38$$

t: Studentfaktor (zweiseitig) für n= 16, zweiseitig = 2,12

Der zugehörige Mittelwert ist somit auf dem Niveau Si = 95% im Intervall 5,86 bis 6,62 zu vermuten.



**A.3: Quantile (Verteilungsfunktion) der Student-Verteilung (tV)
im Intervall $-\infty \leftarrow t \rightarrow t$ (für einseitigen Test)**

$S_i \rightarrow$	75 %	90 %	95 %	97.5 %	99 %	99.5 %	99.9 %	99.95 %
$\alpha \rightarrow$	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.309	636.619
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.598
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.214	12.924
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.703	1.383	1.833	2,262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.767
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
35	0.682	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340	3.591
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
45	0.680	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.281	3.520
50	0.679	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.261	3.496
60	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
70	0.678	1.294	1.667	1.994	2.381	2.648	3.211	3.435
80	0.678	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
90	0.677	1.291	1.662	1.987	2.368	2.632	3.183	3.402
100	0.677	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
150	0.676	1.287	1.655	1.976	2.351	2.609	3.145	3.357
200	0.676	1.286	1.653	1.972	2.345	2.601	3.131	3.340
300	0.675	1.284	1.650	1.968	2.339	2.592	3.118	3.323
500	0.675	1.283	1.648	1.965	2.334	2.586	3.107	3.310
1000	0.675	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300
∞	0.675	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.290

Anmerkung: Tabelliert sind die t-Werte als Funktion von S_i (bzw. α) und ϕ (Anhang A.4 - A.6 entsprechend). Bei zweiseitigem Test muß $\alpha/2$ verwendet werden (z.B. Niveau $\alpha = 0.05$ ($S_i = 95\%$) zweiseitig entspricht $\alpha = 0.025$ in obiger Tabelle).