

Formelsammlung

Grundgleichung der Hydrostatik	$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$
Gewichtskraft	$F_G = m \cdot g$
Auftriebskraft	$F_A = \varrho_{Fl} \cdot V_K \cdot g$
Kontinuitätsgleichung	$\dot{m} = \varrho \cdot \dot{V} = \varrho_i \cdot w_i \cdot A_i = \varrho_j \cdot w_j \cdot A_j = \text{konst.}$

Bernoulli-Gleichung in der Druckform für inkompressible reibungsbehaftete Fluide mit Energiezu- oder -abfuhr

$$\frac{\varrho}{2} \cdot w_i^2 + p_i + \varrho \cdot g \cdot z_i \pm \varrho \cdot w_{t,ij} = \frac{\varrho}{2} \cdot w_j^2 + p_j + \varrho \cdot g \cdot z_j + \Delta p_{v,ij}$$

Druckverluste bei einer Rohrreibung	$\Delta p_{v,Rohr} = \sum \frac{\varrho}{2} \cdot w_i^2 \cdot \lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i}$
-------------------------------------	--

Druckverluste bei Leitungselementen	$\Delta p_{v,Elemente} = \sum \frac{\varrho}{2} \cdot w_i^2 \cdot \zeta_i$
-------------------------------------	--

Leistung (spezif. techn. Arbeit)	$P = \dot{m} \cdot w_t = \dot{V} \cdot \Delta p$
----------------------------------	--

Reynolds-Zahl für eine Rohrströmung	$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{w \cdot d \cdot \varrho}{\eta}$
-------------------------------------	---

– für eine Umströmung	$Re = \frac{w \cdot L}{\nu} = \frac{w \cdot L \cdot \varrho}{\eta}$
-----------------------	---

Widerstandskraft	$F_W = c_W \cdot \frac{\varrho_{Fl}}{2} \cdot w^2 \cdot A$
------------------	--

Impulsgleichung	$\vec{i}_{aus} - \vec{i}_{ein} = \sum \vec{F}_{ext}$ mit $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{F}_S + \vec{F}_{P,ein} + F_{P,aus}$
-----------------	--

Stützkraftkonzept	$\vec{i}_{aus} = \dot{m} \cdot \vec{w}_{aus} = (\varrho w_{aus} A_{aus}) \cdot (\pm w_{aus})$
-------------------	---

Newtonsches Kräftegleichgewicht	$\sum \vec{F}_{(x,y,z)} = -\vec{F}_S + \vec{F}_{PU} + \vec{F}_H$
---------------------------------	--

Leistung (Kraft und Geschwindigkeit)	$P = F \cdot v$
--------------------------------------	-----------------

Kreisfläche	$A = \frac{\pi}{4} d^2 = \pi r^2$
-------------	-----------------------------------

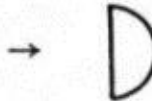
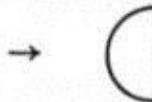
Kugelvolumen	$V = \frac{\pi}{6} d^3 = \frac{4}{3} \pi r^3$
--------------	---

Thermische Zustandsgleichung idealer Gase	$p \cdot V = m \cdot R_S \cdot T$ $R_{S,Luft} = 287,058 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ $\frac{m}{V} = \varrho = \frac{p}{R_S \cdot T}$
---	--

Tab. 1: Eigenschaften der ICAO-Standard-Atmosphäre von 0...20 km über dem Meeresspiegel (ICAO – International Civil Aviation Organization)

H km	T K	ϑ °C	$\frac{p}{p_0}$	p bar	$\frac{\rho}{\rho_0}$	ρ kg/m ³	w_s m/s	$\nu \cdot 10^6$ m ² /s
0	288	15,0	1,0000	1,0132	1,0000	1,225	340	14,6
1	281,5	8,5	0,8870	0,899	0,9075	1,112	337	15,8
2	275	2,0	0,7846	0,795	0,8216	1,007	333	17,2
3	268,5	-4,5	0,6919	0,701	0,7421	0,909	329	18,6
4	262	-11,0	0,6083	0,617	0,6687	0,819	325	20,3
5	255,5	-17,5	0,5331	0,541	0,6009	0,736	321	22,1
6	249	-24,0	0,4656	0,472	0,5385	0,660	317	24,2
7	242,5	-30,5	0,4052	0,411	0,4812	0,590	312	26,5
8	236	-37,0	0,3513	0,357	0,4287	0,526	308	29,0
9	229,5	-43,5	0,3034	0,308	0,3807	0,467	304	31,9
10	223	-50,0	0,2609	0,265	0,3369	0,414	300	35,2
11	216,5	-56,5	0,2234	0,227	0,2971	0,365	295	38,9
12	216,5	-56,5	0,1908	0,193	0,2537	0,311	295	45,6
13	216,5	-56,5	0,1629	0,165	0,2167	0,265	295	53,4
14	216,5	-56,5	0,1392	0,141	0,1851	0,227	295	62,5
15	216,5	-56,5	0,1189	0,120	0,1581	0,194	295	73,2
16	216,5	-56,5	0,1015	0,103	0,1350	0,165	295	85,7
17	216,5	-56,5	0,0867	0,0879	0,1153	0,141	295	100,3
18	216,5	-56,5	0,0741	0,0751	0,0985	0,121	295	117,5
19	216,5	-56,5	0,0633	0,0641	0,0841	0,103	295	137,5
20	216,5	-56,5	0,0540	0,0547	0,0719	0,0881	295	161,0

Tab. 2: Widerstandsbeiwerte c_w typischer Formen umströmter Körper

Körper		c_w
Halbkugelschale, offen, entgegen der Strömung	→ 	1,33
Halbkugelschale, mit Deckfläche, entgegen der Strömung	→ 	1,17
Halbkugelschale, mit Deckfläche	→ 	0,4
Kreisscheibe	→ 	1,11

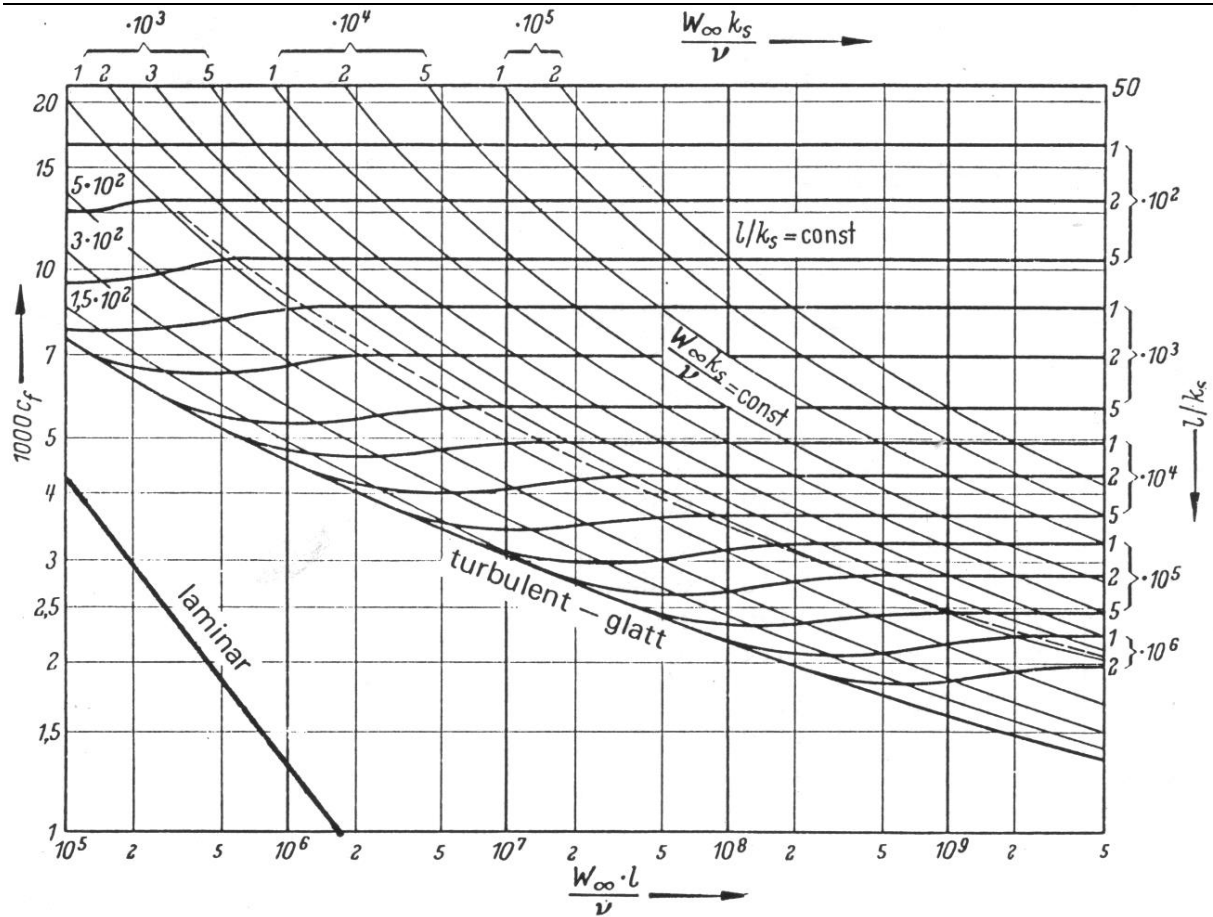


Abb. 1: c_W -Werte der längs angeströmten Platte als Funktion der Reynolds-Zahl

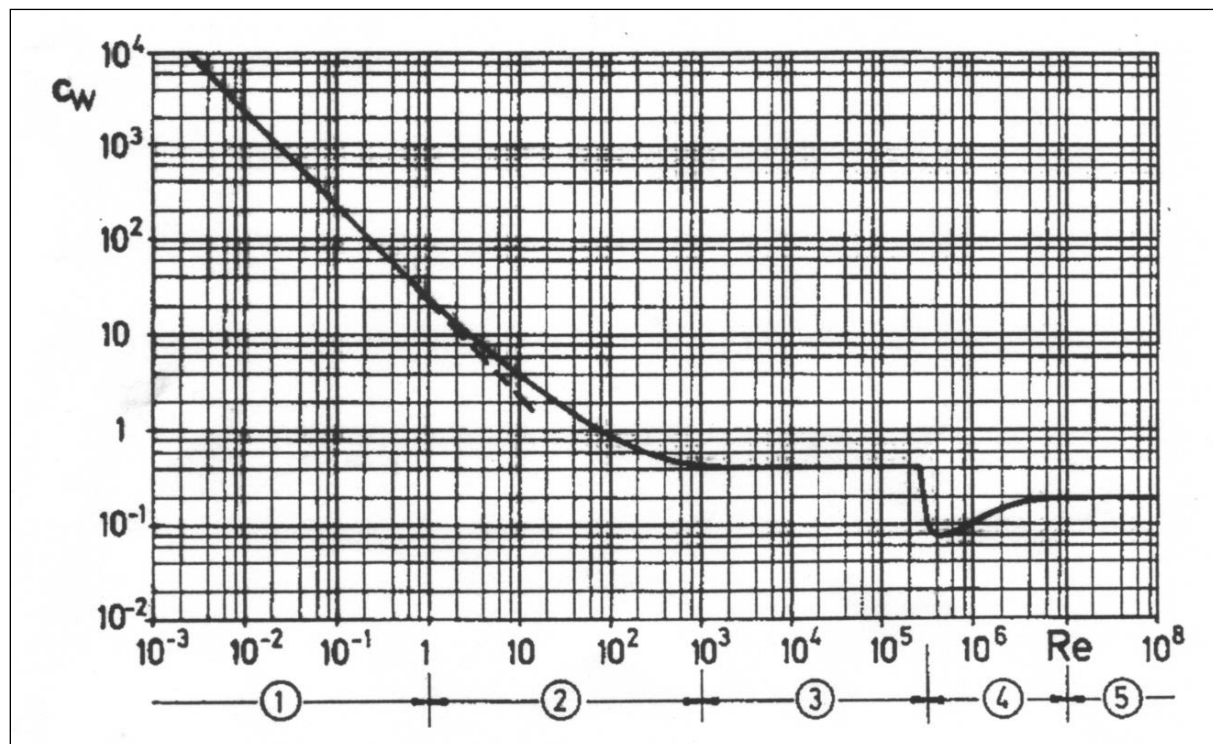


Abb. 2: Widerstandsbeiwert c_W der umströmten Kugel in Abhängigkeit von Re

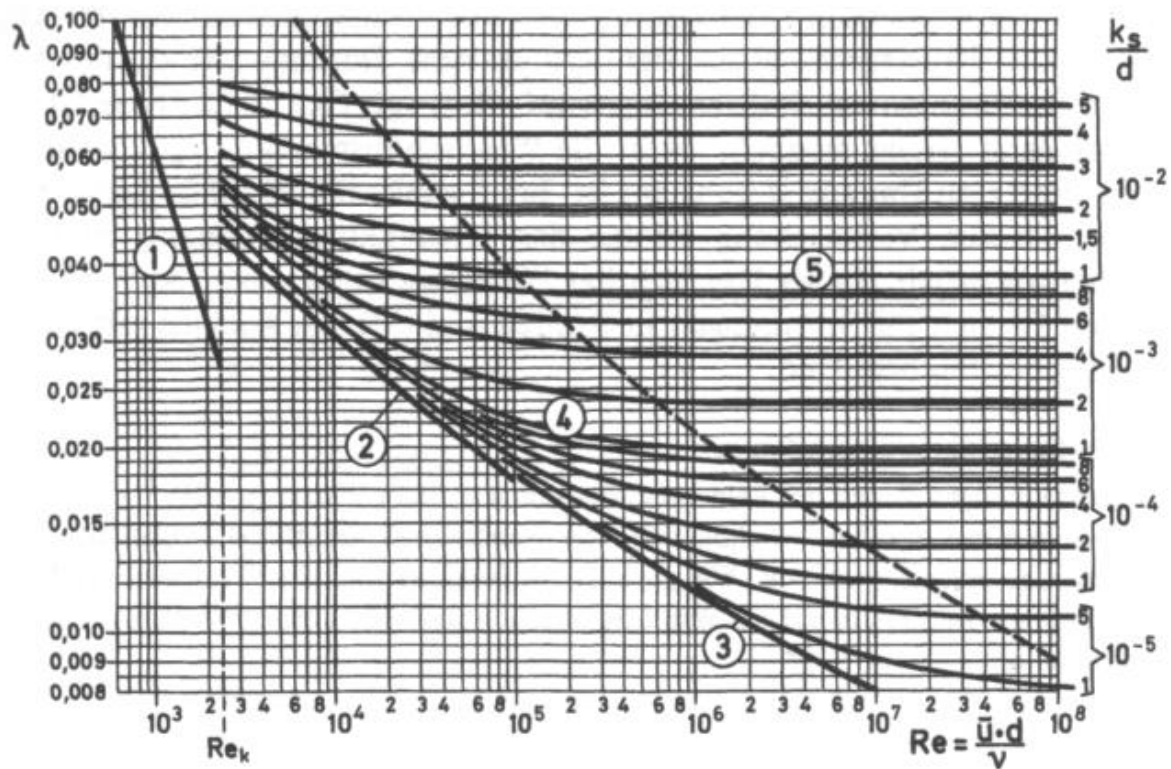


Abb.

Rohrreibungszahl für die gerade Rohrströmung

1 Hagen-Poiseuille: $\lambda = \frac{64}{Re}$

laminar

2 Blasius: $\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$

turbulent
hydraulisch
glatt

3 Prandtl: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log (Re \sqrt{\lambda}) - 0,8$

4 Colebrook: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \log \left(\frac{2k_s}{d} + \frac{18,7}{Re\sqrt{\lambda}} \right)$

turbulent mit
Rauheit

5 v. Kármán: $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \log \left(\frac{2k_s}{d} \right)$

Abb. 3: Rohrreibungszahl λ für die gerade Rohrströmung

Berechnung der Rohrreibungszahl

1. **Hagen-Poiseuille** – laminar, **hydraulisch glatt**, $Re < 2320$

$$\lambda_{lam} = \frac{64}{Re}$$

2. **Blasius** – turbulent, **hydraulisch glatt**, $2320 < Re < 10^5$

$$\lambda_{turb} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$$

3. **Prandtl** – turbulent, **hydraulisch glatt**, $10^6 < Re < 10^7$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{turb}}} = 2,03 \cdot \log(Re \cdot \sqrt{\lambda_{turb}}) - 0,8$$

4. **Colebrook** – turbulent, **mit Rauigkeit**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{turb}}} = 1,74 - 2 \cdot \log\left(2 \cdot \frac{k_s}{d} + \frac{18,7}{Re \cdot \sqrt{\lambda_{turb}}}\right)$$

5. **von-Kármán-Nikuradse** – turbulent, **mit Rauigkeit**, **unabhängig von Re**

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{turb}}} = 1,74 - 2 \cdot \log\left(2 \cdot \frac{k_s}{d}\right)$$