

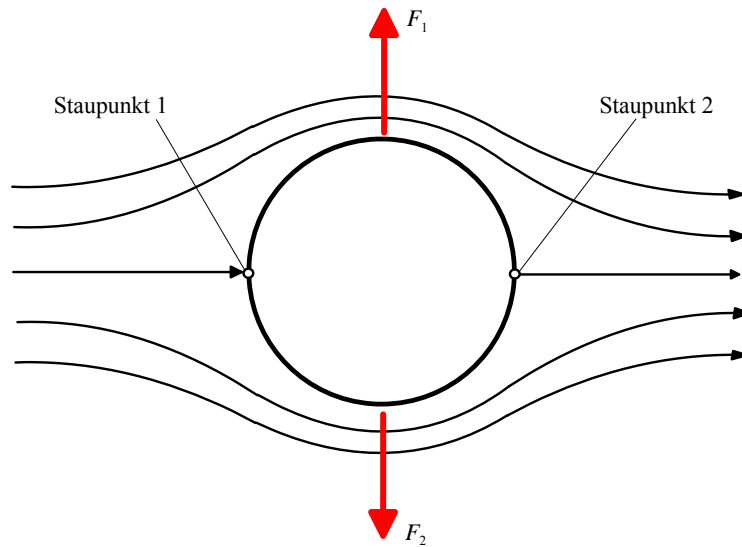
5. Umströmung von Körpern

5.1 Umströmung stumpfer Körper

5.1.1 Kugelumströmung

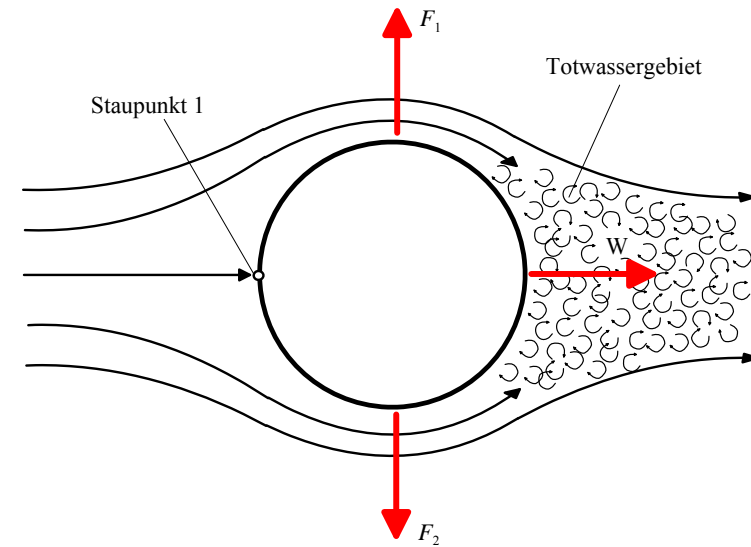
5.1.2 Zylinderumströmung

5.1.1 Kugelumströmung



a) reibungsfrei

kein Druckwiderstand

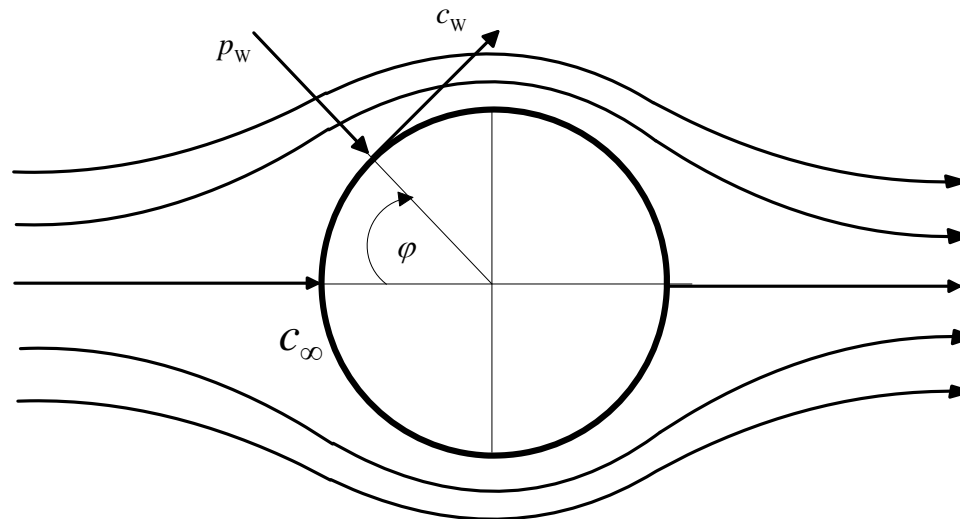


b) reibungsbehaftet

erheblicher Druckwiderstand

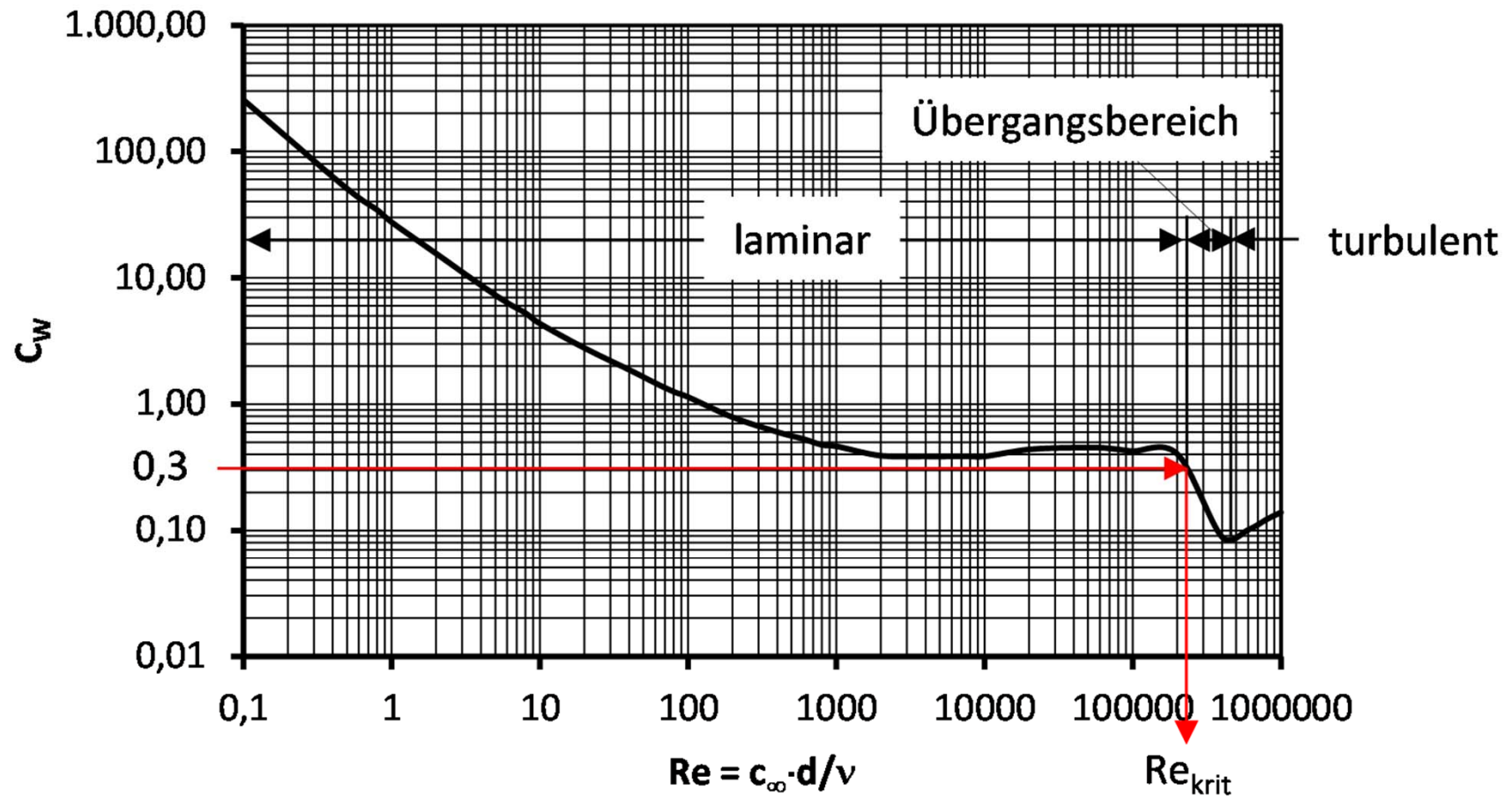
5.1.1 Kugelumströmung

Potentialströmung (reibungsfrei)



- Geschwindigkeit:
$$c_w(\varphi) = \frac{3}{2} \cdot c_\infty \cdot \sin\varphi$$
- statischer Druck:
$$p_w(\varphi) = p_\infty + \frac{\rho}{2} \cdot c_\infty^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{c_w(\varphi)}{c_\infty} \right)^2 \right]$$
- Druckbeiwert:
$$c_p(\varphi) = \frac{p_w(\varphi) - p_\infty}{\frac{\rho}{2} \cdot c_\infty^2} = \left[1 - \left(\frac{c_w(\varphi)}{c_\infty} \right)^2 \right]$$

5.1.1 Kugelumströmung



Widerstandsbeiwert einer Kugel (Schlichting, 1982)

5.1.1 Kugelumströmung

Laminare Grenzschicht

➤ Ablösepunkt der Strömung bei ungefähr $\varphi = 70^\circ - 80^\circ$

➤ $Re_d < 1$: Näherungslösung nach *Stokes*

$$C_W = \frac{24}{Re_d}$$

➤ $1 < Re_d < 10^3$: Näherungslösung nach *Kaskas* (1970)

$$C_W = \frac{24}{Re_d} + \frac{4}{\sqrt{Re_d}} + 0,4$$

➤ $10^3 < Re_d < 10^5$: C_W -Wert liegt auf einem nahezu konstanten Niveau von ungefähr $C_W = 0,5$

5.1.1 Kugelumströmung

Turbulente Grenzschicht

- Ablösepunkt der Strömung bei ungefähr $\varphi = 110^\circ - 120^\circ$.

Umschlag von einer laminaren in eine turbulente Grenzschicht ($= Re_{krit}$)

- Qualität der Zuströmung
- Sehr turbulente Anströmung: $Re_{krit} = Re_d = 1,7 \cdot 10^5$
- Sehr laminare Anströmung: $Re_{krit} = Re_d = 4 \cdot 10^5$

Definition der kritischen Reynolds-Zahl bei einer Kugelströmung

$$Re_{krit} = Re_d (C_W = 0,3)$$

Übung 5-1

Im ersten Schritt betrachten Sie den Fall einer glatt polierten Kugel, die den gleichen Durchmesser hat, wie ein Golfball.

Dabei treffen Sie folgende Annahmen:

Sie gehen von einer mittleren Fluggeschwindigkeit von $c_\infty = 288$ km/h aus.

Der Durchmesser der Kugel beträgt $d = 43$ mm und die kinematische Zähigkeit von Luft beträgt ungefähr $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ m²/s. Es liegen die Bedingungen der Normatmosphäre auf Meeresniveau vor, das heißt $p = 1013,25$ hPa, $\rho = 1,225$ kg/m³, $T = 15$ °C.

1. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der glatt polierten Kugel

2. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand des Golfballs.

Dabei können Sie aufgrund der Dellen auf der Oberfläche davon ausgehen, dass eine vollständig turbulente Grenzschicht vorliegt.

3. Welchen Anteil hat der Reibungswiderstand im Verhältnis zum Gesamtwiderstand in beiden Fällen?

Übung 5-2

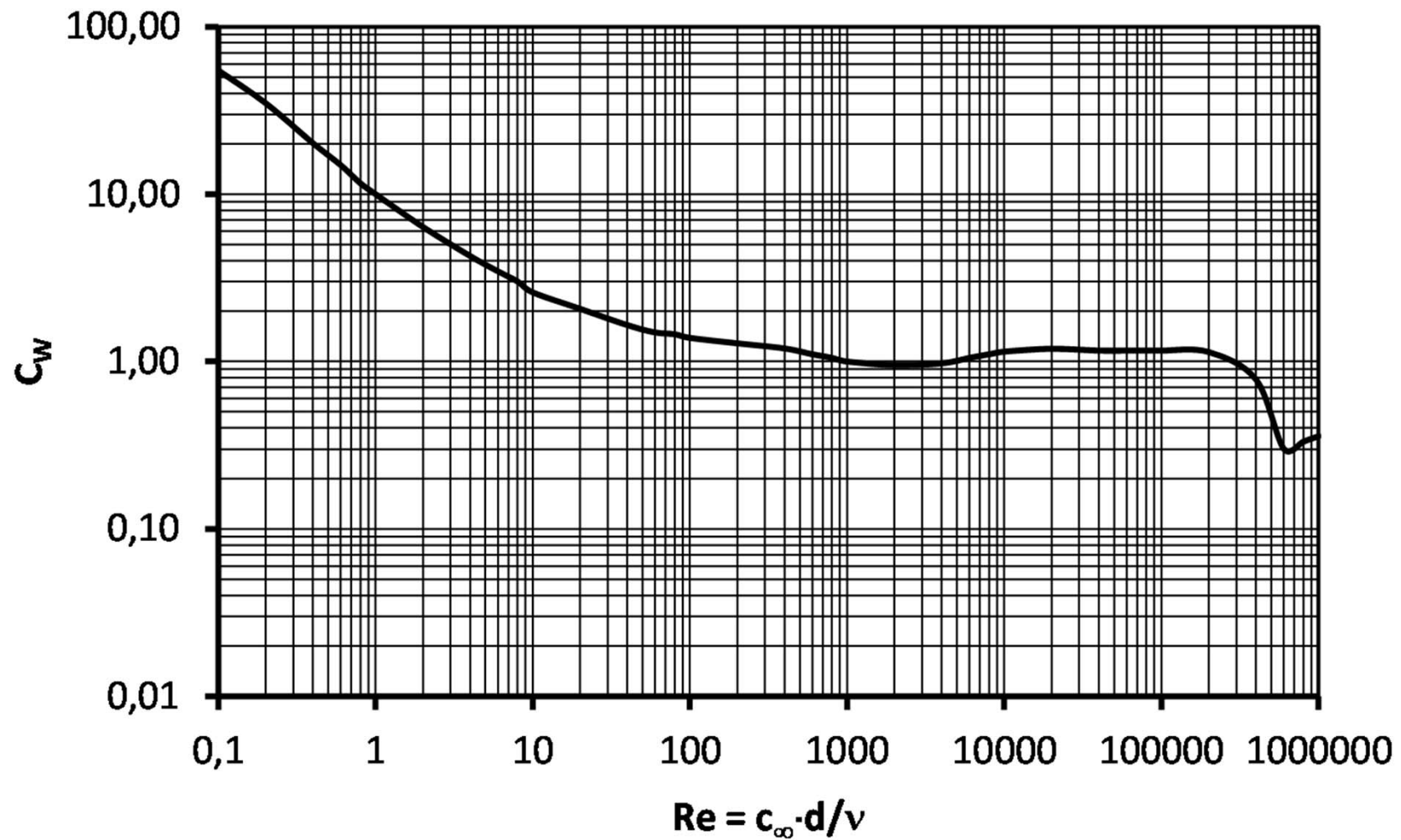
Sie betrachten am Nachthimmel eine Wolke, die in einer geschätzten Höhe von $h = 5$ km schwebt.

Dabei treffen Sie folgende Annahmen:

Die auskondensierten Wassertropfen haben näherungsweise eine Kugelform mit einem Durchmesser von $d = 10$ μm . Die Dichte des Wassers beträgt $\rho = 10^3$ kg/m^3 , die kinematische Viskosität von Luft beträgt $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ m^2/s .

Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der sich die Wolke absenkt.

5.1.2 Zylinderumströmung



Widerstandsbeiwert eines unendlich langen Zylinders (Schlichting, 1982)

5.1.2 Zylinderumströmung

Höhe/Durchmesser h/d	Korrekturfaktor K
$0 < h/d \leq 4$	0,6
$4 \leq h/d \leq 8$	0,7
$8 \leq h/d \leq 40$	0,8
$40 \leq h/d < \infty$	1,0

Korrekturfaktoren zur Umrechnung des Widerstandsbeiwerts eines quer angeströmten endlich langen Zylinders (Kümmel, 2007)

Widerstandsbeiwert des endlich langen Zylinders

$$C_W \left(\frac{h}{d} \right) = K \cdot C_W \left(\frac{h}{d} = \infty \right)$$

Übung 5-3

Während eines Herbststurms unternehmen Sie einen Spaziergang an der frischen Luft um die Spätfolgen der letzten Feier zu neutralisieren. Dabei fällt Ihnen ein kleiner Kamin auf dem Dach einer Bäckerei auf, der sich infolge der Windbelastung bedenklich zur Seite neigt. Sie fragen sich, welche Kraft auf den Kamin infolge des Sturms wohl wirkt.

Dabei treffen Sie folgende Annahmen:

Windgeschwindigkeit: $c_\infty = 65 \text{ km/h}$

Kamindurchmesser: $d = 0,25 \text{ m}$

Kaminhöhe: $h = 8 \text{ m}$

Lufttemperatur: $T = 20 \text{ °C}$

Luftdruck: $p = 1020 \text{ hPa}$