

Bestimmung des Strömungswiderstands eines Fahrzeugs

Zu 1.a)

Rollreibungskraft

- Masse des Fahrzeugs m
- Erdbeschleunigung g
- Rollreibungskoeffizient μ_R

Luftwiderstandskraft

- Strömungswiderstandskoeffizient c_w
- Luftdichte ρ
- angeströmte Querschnittsfläche A
- Geschwindigkeit v

Nabenreibung



1 | Bestimmung der angeströmten Querschnittsfläche

Zu 1.b)

Zusätzlich zu den in 1.a) genannten Größen haben auch die vorhandene Windgeschwindigkeit sowie das Gefälle der Straße einen Einfluss auf den Ausrollvorgang. Bei der Durchführung des Experiments ist daher auf Windstille und auf eine Teststrecke mit vernachlässigbarer Höhendifferenz zu achten.

Zu 1.c)

Die auf das Fahrzeug wirkende Kraft entspricht der Summe aus Luftwiderstandskraft F_L , Rollreibungskraft F_R der Räder auf dem Boden sowie der Nabenreibung F_N . Es gilt:

$$F = F_L + F_R + F_N = \frac{1}{2} c_w \rho A v^2 + \mu_R m g + F_N \quad (1)$$

Zu 2.a)

Die Beschleunigung a entspricht der zeitlichen Ableitung der Geschwindigkeit und kann somit durch numerische Integration aus den Beschleunigungsdaten gewonnen werden. Hierbei geht man davon aus, dass die mit einer Frequenz von 100 Hz gemessenen Beschleunigungen innerhalb eines Zeitintervalls Δt mit einer Länge von 0,01 s konstant bleibt, sodass die Geschwindigkeitsänderung Δv am Ende eines Intervalls gerade dem Produkt $a \cdot 0,01$ s entspricht. Aufsummieren der Geschwindigkeitsänderungen liefert die jeweilige Momentangeschwindigkeit.

Zu 2.b)

Die wirksame Fläche bei einem Fahrzeug kann mittels Zeichenprogramm ermittelt werden (s. Abb. 1), wobei die Breite des Kennzeichens als Maßstab dient. Von der rot umrandeten Gesamtfläche werden die

gelben Flächen subtrahiert. Alternativ kann die Lasso-Funktion des Zeichenprogramms zum Einsatz kommen, welche nach der Umrandung des Fahrzeugs dessen Pixelzahl und unter Berücksichtigung der Pixelzahl des Nummernschilds die gesuchte Querschnittsfläche liefert.

Zu 2.c)

Zur Abschätzung des c_w -Werts ersetzen wir in (1) die Kraft F durch das Produkt $m \cdot a$ und dividieren beide Seiten der Gleichung mit der Masse:

$$a = \frac{1}{2} \frac{c_w \rho A}{m} v^2 + \mu_R g + F_N/m. \quad (2)$$

Abtragen von a gegen v^2 liefert somit eine Gerade der Steigung

$$k = \frac{c_w \rho A}{2m}, \quad (3)$$

aus welcher der Strömungswiderstandskoeffizient ermittelt werden kann.

Aus dem Diagramm entnehmen wir die beiden Wertepaare (100 m²/s²; 0,2 m/s²) und (700 m²/s²; 100 m/s²). Somit ergibt sich die Steigung zu

$$k = \frac{(0,4 - 0,2) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{(700 - 100) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{0,2}{600} \frac{1}{\text{m}}$$

und es gilt

$$c_w = \frac{2 \cdot k \cdot m}{\rho \cdot A} = \frac{2 \cdot \frac{0,2}{600} \frac{1}{\text{m}} \cdot 1430 \text{ kg}}{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,22 \text{ m}^2} \approx 0,36.$$

Das Ergebnis stimmt sehr gut mit der Herstellerangabe von 0,37 überein [8].

Zu 2.d)

Alle in die Berechnung von c_w eingehenden Größen sind selbst fehlerbehaftet. Zur

Abschätzung des Maximalfehlers gehen wir davon aus, dass die Fahrzeugmasse mithilfe der Waage im Wertstoffhof auf 5 kg genau bestimmt wurde (die Anzeige war auf Zehner gerundet), die Luftdichte maximal um 0,02 kg/m³ abweicht (diese Abweichung liegt für eine Temperaturdifferenz von 20 ± 5 °C vor, die im Experiment sicher nicht überschritten wurde) sowie die Querschnittsfläche höchstens um 0,05 m², was einem Quadrat mit einer Seitenlänge von rund 22 cm entspricht und sicher oberhalb des tatsächlichen Ablesefehlers liegt. Zur Abschätzung des Steigungsfehlers nehmen wir an, dass wir die Beschleunigung dem Diagramm auf 0,1 m/s² entnehmen können. Somit ist die größtmögliche Steigung

$$k_{\text{max}} = \frac{(0,41 - 0,19) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{(700 - 100) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = \frac{0,22}{600} \frac{1}{\text{m}},$$

Gehen wir davon aus, dass sich die Einzelfehler zu einem möglichst großen c_w -Wert fortpflanzen, dann gilt:

$$c_{w,\text{max}} = \frac{2 \cdot k_{\text{max}} \cdot m_{\text{max}}}{\rho_{\text{min}} \cdot A_{\text{min}}} = \frac{2 \cdot \frac{0,22}{600} \frac{1}{\text{m}} \cdot 1435 \text{ kg}}{1,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2,17 \text{ m}^2} \approx 0,41.$$

Es ist sehr unwahrscheinlich, dass sich die Einzelfehler zum maximal möglichen Gesamtfehler fortpflanzen. Die Abschätzung zeigt jedoch, dass der Strömungswiderstandskoeffizient für Schulzwecke ausreichend genau bestimmt werden kann, das Verfahren zur Prüfung des Einflusses der vorgenommenen Änderungen jedoch zu ungenau erscheint.

Anmerkung: Tatsächlich ist der Steigungsfehler (er folgt aus dem Ergebnis der linearen Regression) vernachlässigbar gering, wodurch sich ein maximal möglicher c_w -Wert von nur 0,38 ergibt.

Zu 3.

Individuelle Lösung.