

Mechanik im Straßenverkehr

1. Sicherheitsabstand

In der Fahrschule wird seit vielen Jahrzehnten die Regel gelehrt:

Der Sicherheitsabstand muss der halben Tachoanzeige entsprechen.

Das heißt, wenn man mit einer Geschwindigkeit von $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ fährt, muss der Sicherheitsabstand 50 m betragen.

Viele Kraftfahrer halten diese Regel für nicht mehr zeitgemäß, da in den letzten Jahren die Fahrzeugbremsen so weiterentwickelt wurden, dass sich dadurch die Bremsbeschleunigungen vergrößert und damit die Bremswege verringert haben.

Prüfen Sie unter Berücksichtigung physikalischer Aspekte, ob diese Kraftfahrer Recht haben.

Berücksichtigen Sie in Ihren Überlegungen auch die folgenden Angaben:

Fahrzeugtyp	älterer Mittelklasse-PKW	neuer Kleinwagen	neuer Sportwagen
maximale Bremsbeschleunigung in $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	6,0	10,0	12,6

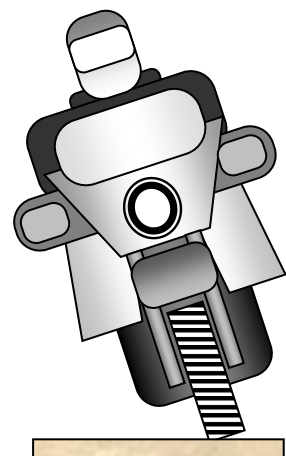
2. Kräfte bei Kurvenfahrten

Ein Motorradfahrer durchfährt eine nicht überhöhte Kurve (Bild 1).

Beschreiben Sie die auf den Fahrer wirkenden Kräfte, welche die abgebildete Schräglage hervorrufen,

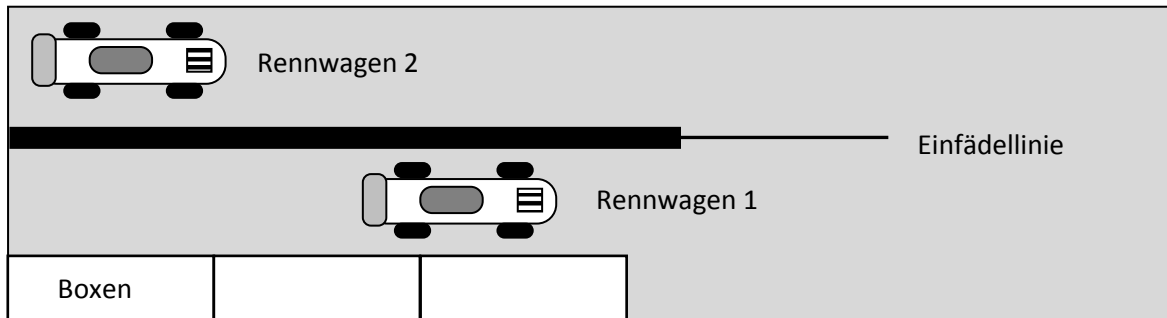
- im Bezugssystem des mitbewegten Fahrers und
- im Bezugssystem eines am Rand stehenden Beobachters.

Fertigen Sie jeweils eine Skizze an. Tragen Sie in diese auch die resultierende Kraft ein.



3. Einfädeln nach Boxenstopp (nur für LK)

Bei einem Formel-1-Rennen befindet sich ein Rennwagen 1 beim Tankstopp, welcher vom Ende der Einfädellinie 140 m entfernt ist. Im Moment des Losfahrens dieses Rennwagens befindet sich ein weiterer Rennwagen 2, der eine konstante Geschwindigkeit von $280 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ hat, genau 420 m vor dem Ende der Einfädellinie.



Vereinfacht kann angenommen werden, dass ein Rennwagen der Formel 1 aus dem Stand innerhalb von zwei Sekunden seine Beschleunigung gleichmäßig auf $11,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ erhöhen und diesen Wert noch weitere vier Sekunden halten kann.

Entscheiden Sie durch Rechnung, ob der Rennwagen 1 vor dem Rennwagen 2 das Ende der Einfädellinie passiert.

Tipps und Hinweise

1. Sicherheitsabstand

Gehen Sie vom ungünstigsten Fall aus: Das Auto mit den schlechtesten Bremsen fährt hinten.

Bedenken Sie bei Ihren Überlegungen auch die Reaktionszeit des Fahrers vom hinteren Fahrzeug.

2. Kräfte bei Kurvenfahrten

Im Bezugssystem „mitbewegter Fahrer“ tragen Sie die Gewichtskraft und die Zentrifugalkraft (als Trägheitskraft) ein.

Im Bezugssystem „außenstehender Beobachter“ tragen Sie die Gewichtskraft und die vom Boden auf den Fahrer ausgeübte Kraft ein.

3. Einfädeln nach Boxenstopp

Die Fahrt des Rennwagens 1 muss in zwei Abschnitten berechnet werden:

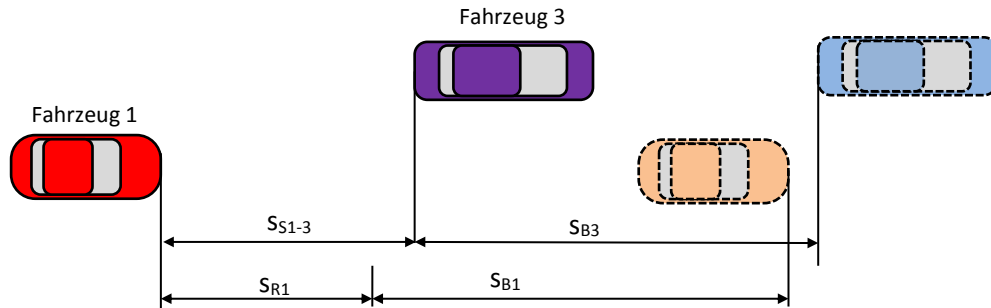
- Abschnitt 1 mit linear zunehmender Beschleunigung $a_1 = k \cdot t$
- Abschnitt 2 mit konstanter Beschleunigung $a_2 = 11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Zur Berechnung der erreichten Geschwindigkeit und des zurückgelegten Weges in Abschnitt 1 müssen Sie integrieren.

Lösungen

Zu 1.)

Der ungünstige Fall ist, dass das ältere Auto (Fahrzeug 1) hinter dem Sportwagen (Fahrzeug 3) fährt.



Fahrzeug 3 vollführt zum Zeitpunkt $t = 0$ eine Vollbremsung und kommt nach Zurücklegen des Bremsweges s_{B3} zum Stehen.

Der Fahrer des Fahrzeugs 1 bemerkt die Vollbremsung des vorausfahrenden Fahrzeuges erst nach einer Reaktionszeit t_R und legt dadurch ungebremst den Weg s_{R1} zurück. Jetzt beginnt auch er zu bremsen und kommt nach dem Bremsweg s_{B1} zum Stehen.

Es kommt nicht zum Auffahrunfall, wenn

$$s_{S1-3} + s_{B3} > s_{R1} + s_{B1}$$

$$s_{S1-3} + \frac{v_0^2}{2 a_{B3}} > v_0 \cdot t_R + \frac{v_0^2}{2 a_{B1}}$$

$$s_{S1-3} > v_0 \cdot t_R + \frac{v_0^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{a_{B1}} - \frac{1}{a_{B2}} \right)$$

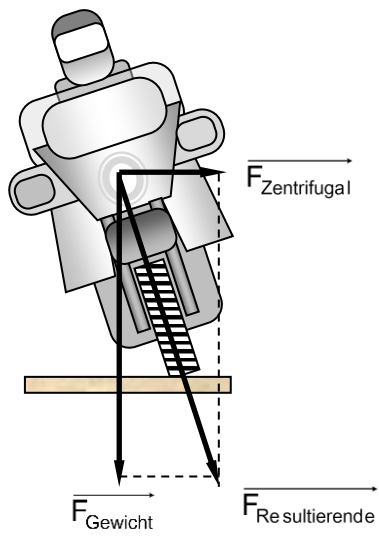
An der Gleichung ist erkennbar, dass bei Fahrzeugen mit etwa gleich guten Bremsen nur die Reaktionszeit ausschlaggebend ist. Bei einer Geschwindigkeit von 100 km/h und einem Sicherheitsabstand von 50 m bleiben dem Fahrer 1,8 s zur Reaktion. Damit ist der Sicherheitsabstand relativ groß bemessen.

Reaktionszeit	Anhalteweg des Fahrzeugs 1				Sicherheitsabstand
	0,3 s	0,5 s	1,0 s	1,5 s	
Ausgangsgeschwindigkeit					
$v_0 = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	12,6 m	15,4 m	22,3 m	29,3 m	25 m
$v_0 = 100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	67,8 m	75 m	93 m	111 m	50 m

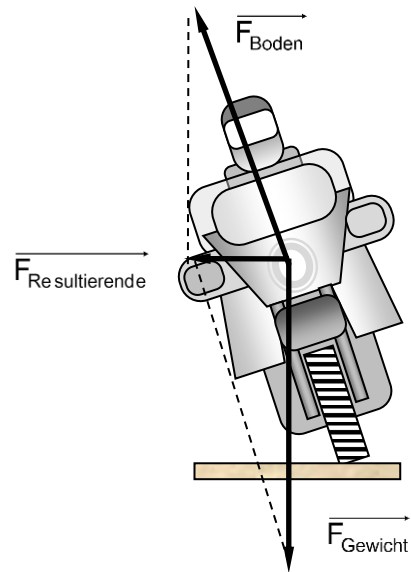
Damit ist zumindest für große Geschwindigkeiten und für lange Reaktionszeiten die Fahrschulregeln weiterhin berechtigt.

Zu 2.)

Bezugssystem „mitbewegter Fahrer“



Bezugssystem „außenstehender Beobachter“



zu 3.) (nur LK)

Betrachtungen des Rennwagen 1

(1) Berechnung der Konstanten k

$$a = k \cdot t$$

$$11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = k \cdot 2 \text{ s}$$

$$k = 5,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^3}$$

(2) Berechnung der Geschwindigkeit $v_{t=2\text{s}}$ nach 2 s

$$v_{t=2\text{s}} = \int_0^{2\text{s}} k \cdot t \, dt$$

$$v_{t=2\text{s}} = \frac{1}{2} [k \cdot t^2]_0^{2\text{s}}$$

$$v_{t=2\text{s}} = 0,5 \cdot 5,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \cdot (2 \text{ s})^2$$

$$v_{t=2\text{s}} = 11,5 \text{ m/s}$$

(3) Weg $s_{2\text{s}}$ nach 2 s

$$s_{2\text{s}} = \int_0^{2\text{s}} \left(\frac{1}{2} k \cdot t^2 \right) dt$$

$$s_{2\text{s}} = \frac{1}{6} \cdot k \cdot [t^3]_0^{2\text{s}}$$

$$s_{2\text{s}} = \frac{1}{6} \cdot 5,75 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \cdot (2\text{s})^3$$

$$s_{2\text{s}} = 7,67 \text{ m}$$

(4) Berechnung der Zeit t_{gesamt}

z. B.: aus $s = \frac{a}{2} \cdot t_2^2 + v_1 \cdot t_2 + s_1$ folgt

$$t_2 = -\frac{v_1}{a} + \frac{\sqrt{v_1^2 + 2a \cdot (s - s_1)}}{a}$$

$$t_2 = -\frac{11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + \frac{\sqrt{\left(11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 + 2 \cdot 11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (140\text{m} - 7,67\text{m})}}{11,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$t_2 = 3,9 \text{ s}$$

und damit eine Gesamtzeit für den Rennwagen 1 von $t_{\text{ges}} = 5,9 \text{ s}$,

Betrachtungen für Rennwagen 2

$$t_{\text{ges}} = \frac{s}{v_{\text{RW2}}} = \frac{420 \text{ m}}{280 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \cdot 3,6 = 5,4 \text{ s.}$$