

Berechnungen zur Bremse

Eine beliebte Frage in der Fahrschule ist die nach dem Bremsweg oder dem Anhalteweg. Man kann den Bremsweg abschätzen oder berechnen.

Berechnen ist natürlich genauer. Es steht ja alles im Tabellenbuch.

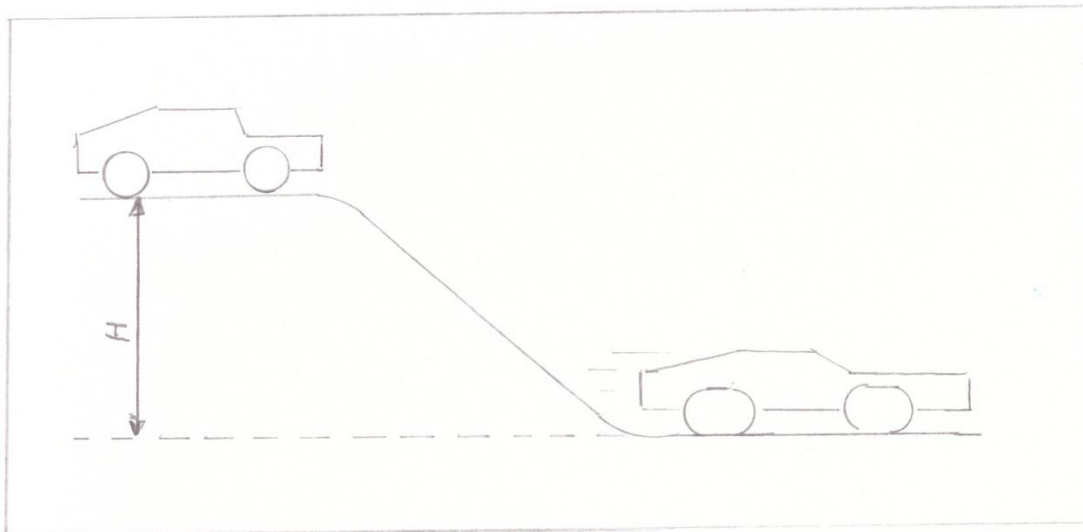
Bei gleichbleibender Beschleunigung a ist $v = a \times t$ und bei gleichbleibender Geschwindigkeit v ist $s = v \times t$.

Ein Körper besitzt potentielle Energie W_p (Lageenergie) und kinetische Energie W_k (Bewegungsenergie).

Seine Gesamtenergie W_{ges} ist die Summe aus potentieller und kinetischer Energie. W wird auch als Arbeit bezeichnet und in Nm angegeben.

Die potentielle Energie ist $m \times g \times h$ mit der Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, die kinetische $(m/2) \times v^2$.

Betrachten wir folgende Skizze:



Ein Spielzeugauto steht auf einer Rampe der Höhe H . Wenn es herunterrollt verliert es an Höhe und beschleunigt. Wie schnell wird es denn?

Wenn wir mit $H = 5 \text{ m}$ und $g = 10 \text{ m/s}^2$ rechnen, lässt sich die Endgeschwindigkeit aus der Gesamtenergiebilanz errechnen,

$W_{ges} = m \times g \times h + (m/2) \times v^2 = \text{konst.}$ (die Reibung wird vernachlässigt).

Steht das Auto auf der Rampe, so ist $v = 0 \text{ m/s}$, rollt es auf der Höhe "Null", so ist seine Geschwindigkeit $v = v_{max}$.

Also gilt: $m \times g \times H = (m/2) \times v_{\max}^2$ dividiert durch $m/2$

$$v_{\max}^2 = 2 \times H \times g = 2 \times 5 \text{ m} \times 10 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

damit ist $v_{\max} = 10 \text{ m/s}$

Arbeit ist Kraft mal Weg und Kraft ist Masse mal Beschleunigung,
also $W = F \times s = m \times a \times s$.

Um ein Fahrzeug zu beschleunigen muss Arbeit verrichtet werden,
um es wieder abzubremsen auch.

Für die Beschleunigung aus dem Stand oder die Abbremsung bis zum Stillstand
gilt also: $W_{\text{kin}} = (m/2) \times v^2 = m \times a \times s$

kürzt man durch m ergibt sich $v^2 = 2 \times a \times s$

Im Tabellenbuch finden Sie die Formel nach s umgestellt für den allgemeinen
Fall des Wechsels zwischen zwei Geschwindigkeiten.

Für eine Vollbremsung ist v_2 natürlich "Null" und fällt heraus.

Der Bremsweg ist dann: $s = v^2 / (2 \times a)$

BITTE BEACHTEN SIE: die Geschwindigkeit muss in m/s eingesetzt werden.

Der Umrechnungsfaktor steht im Tabellenbuch., 36 km/h entsprechen 10 m/s ,

der Faktor ist also $3,6$.

AUFTRAG: nachprüfen (nachrechnen) und auf der Seite "Beschleunigung und
Verzögerung" im Tabellenbuch eintragen.

Beispielaufgabe: Ein Fahrzeug fährt mit 72 km/h , es wird mit $a = 4 \text{ m/s}^2$ bis zum
Stillstand abgebremst. Gesucht wird die Länge des Bremsweges

Gegeben: $s = (v_1^2 - v_2^2) / (2 \times a)$ $V_1 = 72 \text{ km/h}$ $a = 4 \text{ m/s}^2$
aus "Stillstand" ergibt sich $v_2 = 0 \text{ km/h}$

Gesucht: s

Schritt 1, Umrechnen der Geschwindigkeit von km/h in m/s

$$v_1 = 72 \text{ km/h} = 72 / 3,6 \text{ m/s} = 20 \text{ m/s} \quad v_2 = 0 \text{ km/h} = 0 \text{ m/s}$$

Schritt 2, Einsetzen in die Formel für s

$$s = ((20 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2) / (2 * 4 \text{ m/s}^2)$$

Das wird oft falsch gemacht: $(v_1)^2 = (20 \text{ m/s})^2 = 20 \text{ m/s} * 20 \text{ m/s} = 400 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Schritt 3, berechnen

$$s = 400 \text{ m}^2/\text{s}^2 / 8 \text{ m/s}^2 = (400 / 8) \text{ m} = 50 \text{ m}$$

Aufgabe: Berechnen Sie die Bremswege für $v = 0 \text{ km/h}$, 18 km/h , 36 km/h , 54 km/h , 72 km/h und 90 km/h . tragen Sie Ihre Ergebnisse in ein Diagramm ein, X-Achse für die Geschwindigkeit, Y-Achse für den Bremsweg. Erkennen Sie einen Zusammenhang zwischen v und s ?

Eine beliebte Aufgabe aus den Teil 2 der Gesellenprüfung ist die Berechnung des Anhalteweges. Der Anhalteweg ist der Bremsweg plus der Reaktionsweg. Der Reaktionsweg ist die Strecke, die das Fahrzeug ungebremst zurücklegt, bevor der Bremsvorgang eingeleitet wird

$$\text{Mit } s_r = v_1 * t_r \quad \text{und } s_a = s_r + s$$

ergibt sich die Formel im Tabellenbuch $s = s_r = v_1 * t_r + (v_1^2 - v_2^2) / (2 * a)$

wir ergänzen unser Beispiel um eine Reaktionszeit von 1,5 Sekunden und berechnen den Anhalteweg:

$$s_r = v_1 * t_r = 20 \text{ m/s} * 1,5 \text{ s} = 30 \text{ m}$$

$$\text{mit } s_a = s_r + s \quad \text{und } s = 50 \text{ m} \text{ aus dem ersten Beispiel}$$

$$\text{berechnet sich } s_a = 30 \text{ m} + 50 \text{ m} = 80 \text{ m}$$

Berechnen Sie den Anhalteweg aus 20 km/h, bei einer Abbremsung von $2,5 \text{ m/s}^2$ und einer Reaktionszeit von einer Sekunde. Das richtige Ergebnis lautet 11,7 m

Eine weitere Übungsaufgabe: $v_1 = 30 \text{ km/h}$, $a = 3,5 \text{ m/s}^2$ und $t_r = 1,5 \text{ s}$
hier lautet das richtige Ergebnis $s_a = 22,4 \text{ m}$

Mindestabbremung z

Vorn im Tabellenbuch (etwa Seite 6) wird der Paragraph 41 der StVZO genannt. Dort wird die Mindestabbremung z, die unterschiedliche Fahrzeuge in Prozent erreichen müssen, angegeben. Für eine Berechnung benötigen Sie aber die Verzögerung a in m/s^2 .

Die entsprechende Umrechnungsformel ist unter "Abbremsung" im Tabellenbuch angegeben: $z = (\Sigma F_a / F_G) * 100 \%$

ΣF_a ist die Summe der Bremskräfte an allen Rädern, also $m * a$

F_G ist die Gewichtskraft des Fahrzeugs, mit $F = m * a$ und $a = g \approx 10 \text{ m/s}^2$

ergibt sich $z = (m * a) / (m * g) * 100 \% = a / g * 100 \%$ m kürzt sich heraus,

somit ist $a = (z * g) / 100 \%$ oder $a \approx (z / 10) \text{ m/(s}^2 * \%)$ Diese Formel im TBB eintragen!

Für einen Schlepper mit einer Höchstgeschwindigkeit bis 25 km/h lesen Sie im Tabellenbuch ab, dass z mindestens 30 % betragen muss.

Daraus errechnen Sie $a_{\min} = 3 \text{ m/s}^2$.

Überprüfen Sie die Betriebsbremse des Schleppers, in dem Sie aus 25 km/h an einem Kreidestrich eine Vollbremsung machen. Nun messen Sie den Bremsweg aus (8 m) und vergleichen den Istwert mit dem von Ihnen errechneten Sollwert. Erfüllt die Betriebsbremse die Anforderung?

Ein Schlepper hat eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h. Ermitteln Sie die Mindestverzögerung a_{\min} in m/s^2 laut StVZO.

Scheinbar eine ganz andere Aufgabe:

Ein Stein, $m = 1 \text{ kg}$, fällt aus 10 m Höhe ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Wie lang dauert der Fall des Steins? Hier brauchen Sie zwei Formeln.

Einer dieser Werte ist das richtige Ergebnis: 1 s, 1,414 s, 1,5 s oder 2 s

Welche Aufschlagenergie besitzt er? („Viele Wege führen nach Rom“)

($1 \text{ kg m} / \text{s}^2 = 1 \text{ N}$ $1 \text{ N m} = 1 \text{ W s}$)

Sie wissen, dass die Bremskraft einer Trommelbremse nur mit dem Bremsenkennwert C^* berechnet werden kann.

Gegeben: Servo-Bremse, $\mu = 0,3$, wirksamer Trommeldurchmesser 30 cm, Spannkraft $F_s = 800 \text{ N}$ und der Reifen ist ein 440/65 R 24..

Gesucht: Die Umfangskraft am Reifen beim Bremsen.

Schritt 1: Berechnung der Umfangskraft an der Bremstrommel

$$F_u = C^* \times F_s$$

Als Bremsenkennwert lesen Sie in der Tabelle ab: $C^* = 3$

$$F_u = 3 \times 800 \text{ N} = 2400 \text{ N}$$

Schritt 2: Bremskraft an einem Rad berechnen

$$F_u \times r_T = F_B \times r_R \quad (\text{Das Produkt Kraft mal Hebelarm bleibt gleich})$$

Abgelesen aus der Reifentabelle: Reifendurchmesser max. 1,204 m

$$F_B = F_u \times r_T / r_R = 2400 \text{ N} \times (0,15 \text{ m}) / (0,602 \text{ m}) = 598 \text{ N}$$

Aufgabe: Bestimmen Sie C^* für eine Duplex-Bremse mit $\mu = 0,4$
und für eine Simplex-bremse mit $\mu = 0,2$