www.einsatzrecht.de

Führen von Feuerwehrfahrzeugen im Einsatz
Teil II: Fahrphysik

Nur für Ausbildungszwecke der Feuerwehr – alle Rechte vorbehalten.
Copyright: StBI Ralf Fischer

Geschwindigkeit eines Fahrzeugs

Die Geschwindigkeit ist die zurückgelegte Entfernung in einer bestimmten Zeit. Die Geschwindigkeit von Fahrzeugen wird in Europa in Kilometern pro Stunde (km/h) angegeben.

Es gilt: $Geschwindigkeit = \frac{Weg}{Zeit} > v = \frac{s}{t}$ $v = \frac{km}{h}$

Für die Betrachtung fahrphysikalischer Fragen im Bereich der Verkehrssicherheit ist die Angabe der Geschwindigkeit in **km/h** jedoch nicht geeignet.

Erforderlich ist hier eine Umrechnung von der zurückgelegten Strecke in einer Stunde auf die zurückgelegte Strecke in Metern in pro Sekunde.
Da eine Stunde 3600 Sekunden hat, ermittelt sich der Wert

Geschwindigkeit (v) in km/h dividiert durch 3,6 = m/sec

Beispiel: 60 km/h / 3,6 = 16,7 m/sec

Berechnung des Sicherheitsabstandes eines Fahrzeugs zum Vorausfahrenden

Der erforderliche Sicherheitsabstand in Metern zu vorausfahrenden Fahrzeugen sollte mindesten 1,5 Sekunden betragen.

Er berechnet sich damit: $s = \frac{v}{3{,}6}\ x\ t$

Beispiel für 120 km/h $s = \frac{120}{3{,}6}\ x\ 1{,}5 = 50\ m$

Berechnung des Brems- und Anhalteweges

Bremsweg ist die Strecke s, die ein Fahrzeug nach Betätigung der Betriebsbremse bis zum Stillstand zurücklegt. Berechnet wird der Bremsweg indem die Geschwindigkeit zum Quadrat durch den doppelten Wert der Bremsverzögerung geteilt wird. Es gilt damit die Formel:

$$s = \frac{v^2_{(m/s)}}{2 \times a}$$

Auch der Bremsverzögerungswert a wird in m/s^2 angegeben und ist abhängig von der Art der Bremse, den Reifen und dem Untergrund. Die Bremsverzögerungswerte sind durch Versuche ermittelte Anhaltswerte, die Tabellen entnommen werden müssen.

Fahrzeugart	Fahrbahnzustand (Asphalt)	Bremsverzögerung in m/s^2
Lkw	trocken	5 – 7 (vorgeschriebene Mindestverzögerung 4)
Lkw	nass	4 -6
Pkw/Lkw	Schnee/Eis abhängig. von Beschaffenheit und Bereifung	1 – 3,5
Pkw	trocken	7- 8
Pkw	Nass	6 -7

Berechnung des Brems- und Anhalteweges

Wichtig ist die Erkenntnis, dass der Bremsweg im Quadrat zur Geschwindigkeit wächst.

Dies bedeutet z. B., dass eine Verdoppelung der Geschwindigkeit die Vervierfachung des Bremsweges zur Folge hat.

Entscheidend für die Unfallvermeidung und daher auch für die rechtliche Betrachtung von Verkehrsvorgängen ist jedoch nicht der Bremsweg, sondern der Anhalteweg. Bei ihm kommt die in der Reaktionszeit gefahrene Strecke hinzu. Bei der Reaktionszeit (t) handelt es sich um eine schwer bestimmbare Variable, die von vielen verkehrsmedizinischen und verkehrspsychologischen Umständen abhängt.

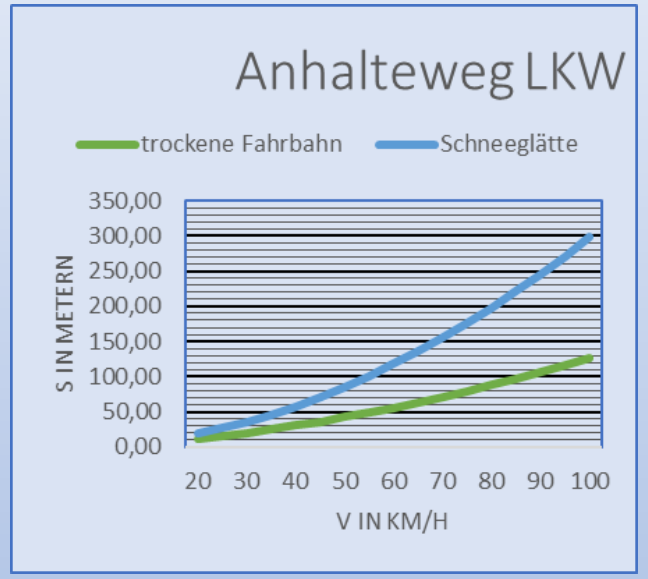
Außerdem muss noch die Zeit hinzugerechnet werden, die bis zum Betätigen der Bremse (Umsetzzeit) und bis zum Ansprechen der Bremse (Schwellzeit) vergeht.

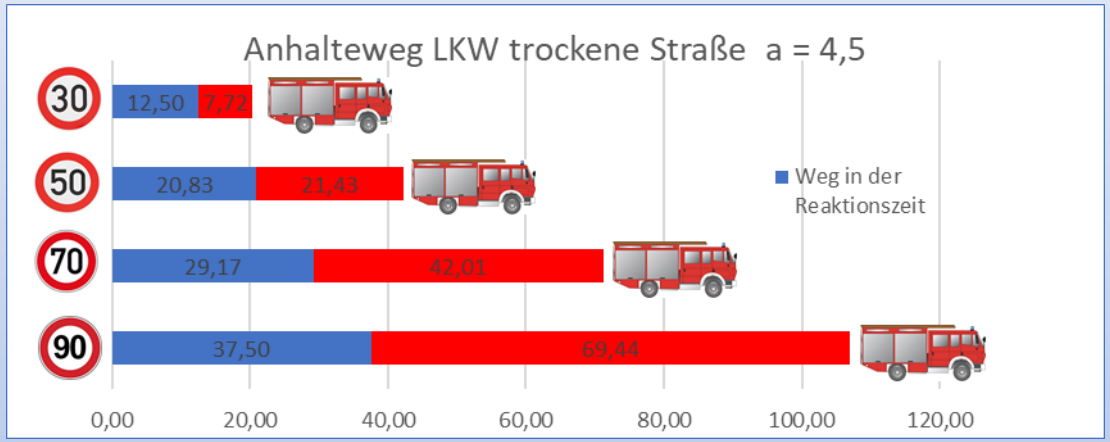
Zur Sicherheit empfiehlt es sich hier insgesamt von einem Wert von **1,5 Sekunden für die gesamte Bremszeit** auszugehen. Der Anhalteweg beträgt also

$$s = \left(\frac{v^2_{(m/s)}}{2 \times a}\right) + \left(t_{Reaktion} \times v_{(m/s)}\right)$$

Berechnung des Brems- und Anhalteweges

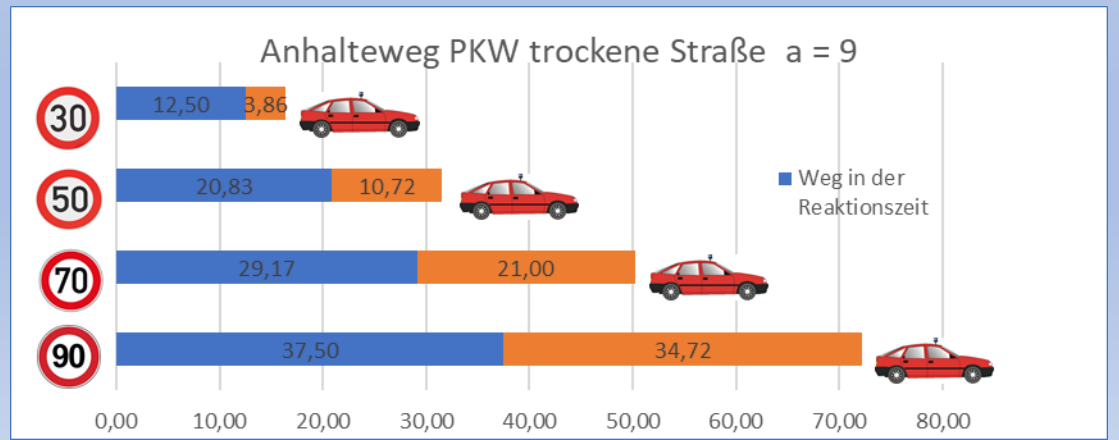
Dies ergibt bei einem Lkw beispielhaft folgende Werte (Schneeglätte a = 1,5; trockene Fahrbahn a = 4,5):





Anhalteweg Lkw trockene Straße
Während der Lkw mit 30 km/h nach 20,22 m zum Stillstand kommt, fährt er mit 50 km/h nach dieser Entfernung noch völlig ungebremst ggf. gegen ein Hindernis

Im Vergleich ist der Anhalteweg eines Pkw deutlich geringer.



Kurvengrenzgeschwindigkeit

Bei jeder Kurve gibt es eine maximale mögliche Geschwindigkeit, mit der diese durchfahren werden kann, ohne dass das Fahrzeug die vorgegebene Kurvenbahn verlässt. Diese sogenannte Kurvengrenzgeschwindigkeit v_{max} errechnet sich aus der Querbeschleunigung a_q und dem Kurvenradius r.

Die Schwierigkeit liegt in der richtigen Ermittlung der Querbeschleunigung a_q. Diese ist wie die Verzögerung bei der Ermittlung des Bremswegs vom Straßenzustand und der Bereifung abhängig und wird für trockenen Asphalt mit 7,5 und für Schnellglätte mit 1,0 angenommen.

Es gilt die Formel $v_{max} = \sqrt{a_q \times r}$

Für eine Kurve mit einem Radius von 100 Metern ergibt sich damit für einen Pkw eine Kurvengrenzgeschwindigkeit von

$$\sqrt{(7{,}5 \times 100)} = 27{,}38\ m/s \times 3{,}6 = 98\ km/h$$

Für die gleiche Kurve ergibt sich bei Schneeglätte folgende Berechnung.

$$\sqrt{(1{,}0 \times 100)} = 10{,}00\ \frac{m}{s} \times 3{,}6 = 36\ km/h$$

Fliehkraft

Wird die Kurvengrenzgeschwindigkeit überschritten, ist die Fliehkraft höher als die durch den Reifenkontakt zur Fahrbahn erzeugten Seitenführungskräfte; das Fahrzeug bricht aus. Die Fliehkraft ist abhängig von der Geschwindigkeit und dem Kurvenradius.

Berücksichtigt man zusätzlich auch die Masse des Fahrzeugs erhält man die Fliehkraft F_F in Newton (N):

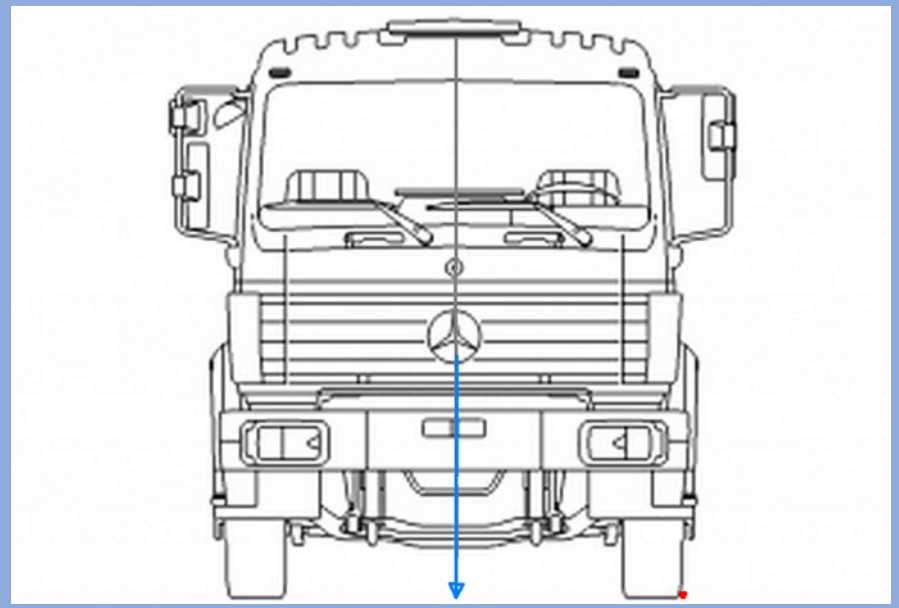
$$F_F = m \times a_q \times \frac{v^2}{r}$$

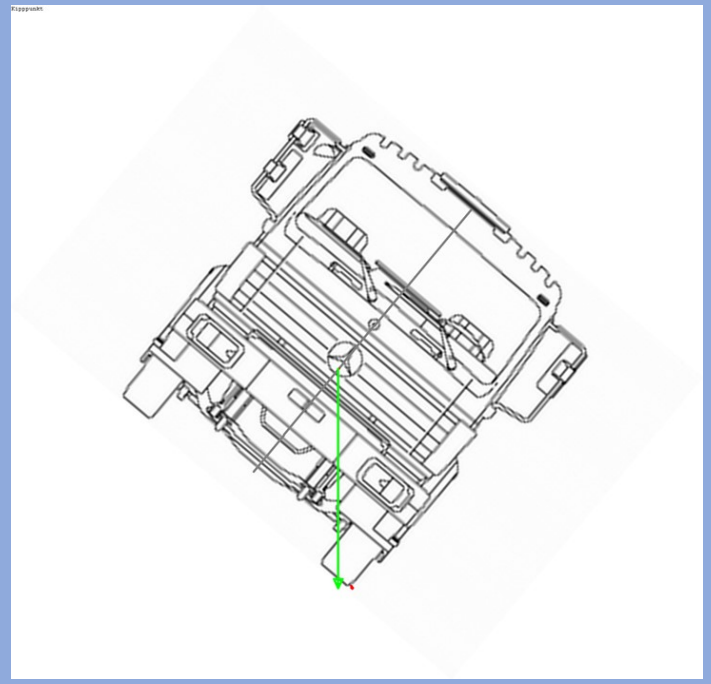
Die Fliehkraft nimmt also zu, je höher die Masse und je höher die Geschwindigkeit ist. Im Hinblick auf die Geschwindigkeit wachsen auch die Fliehkräfte quadratisch. Die doppelte Geschwindigkeit vervierfacht also die Fliehkräfte und dreifache Geschwindigkeit verneunfacht diese.

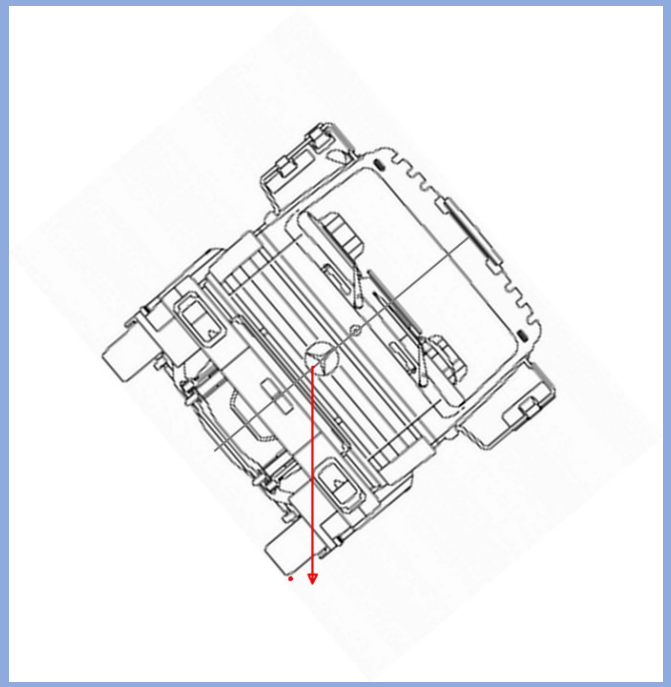
Kippgefahren

Wenn ein Fahrzeug auf ebener Fahrbahn steht, wirkt seine Gewichtskraft F_G senkrecht auf die Räder ein. Das Fahrzeug steht stabil.

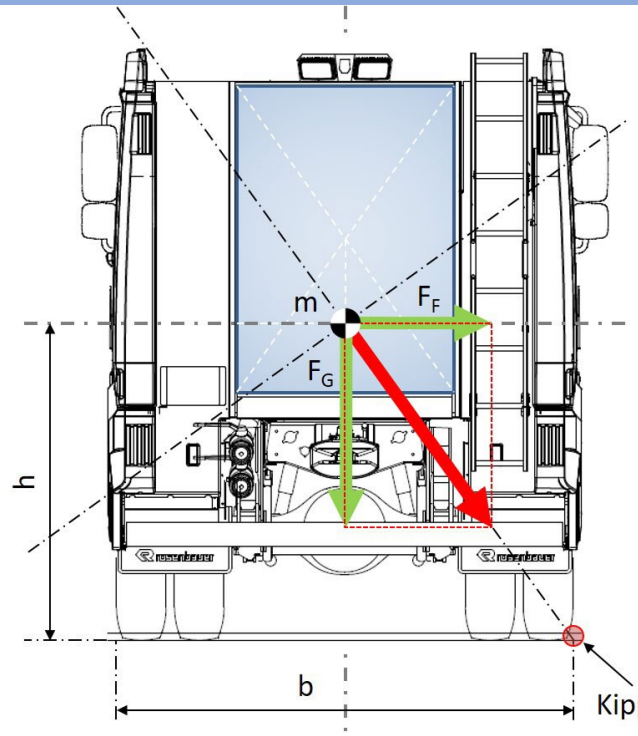
Neigt sich das Fahrzeug zur Seite, bilden die äußeren Kanten der Räder die Kipplinie. Überschneidet die senkrecht wirkende Gewichtskraft diese Kipplinie, dann stürzt das Fahrzeug unweigerlich zur Seite.







Kippgefahren durch zu hohe Fliehkräfte



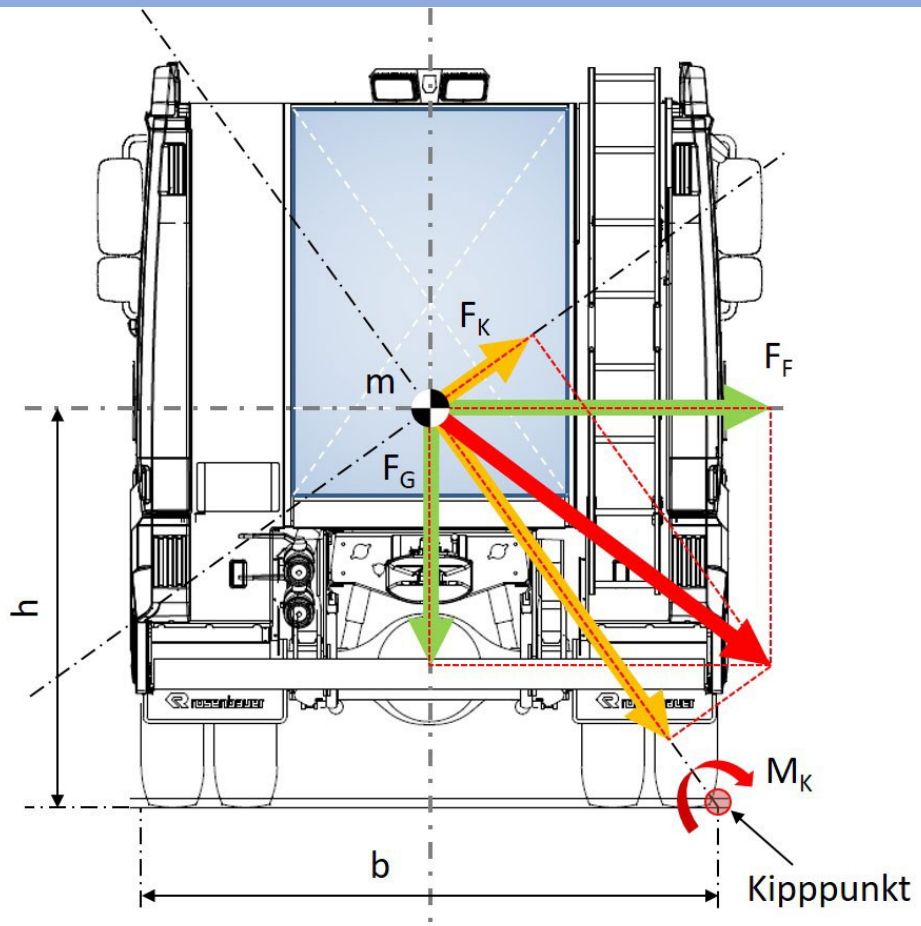
$$F_F = m\frac{v^2}{r}$$

$$F_G = mg$$

wobei

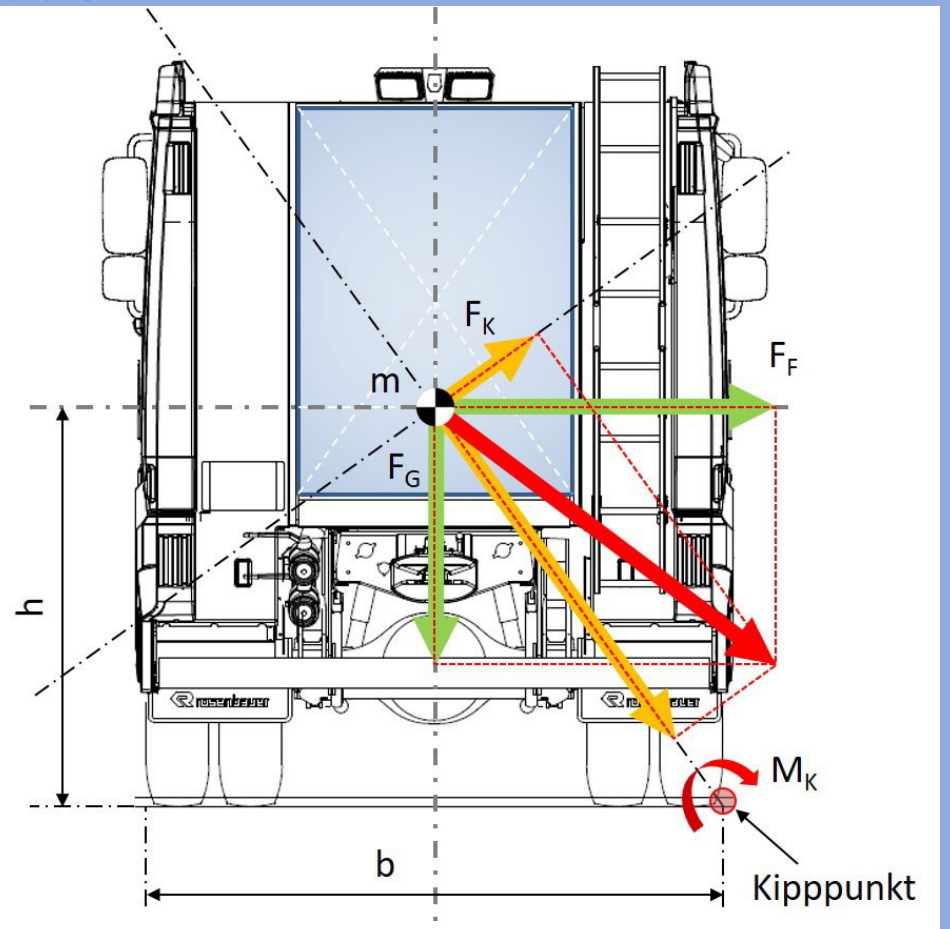
F_F = Fliehkraft (Zentrifugalkraft)
F_G = Gewichtskraft
m = Gesamtmasse des Fahrzeuges
v = Geschwindigkeit des Fahrzeuges
r = Radius der Kurve
h = Höhe des Massenschwerpunktes
b = Spurbreite des Fahrzeuges

$$\textbf{Kippgrenze}: F_F = mg\frac{b}{2h} \rightarrow v_{Kippgrenze} = \sqrt{r\frac{b}{2h}g}$$



$$v > v_{Kippgrenze}$$

Kippgefahren durch zu hohe Fliehkräfte



$$v > v_{Kippgrenze}$$

Führen von Einsatzfahrzeugen Teil II

www.einsatzrecht.de

Fahrphysik

Kinetische Energie beim Aufprall PKW 2000 kg und LKW 40000 kg

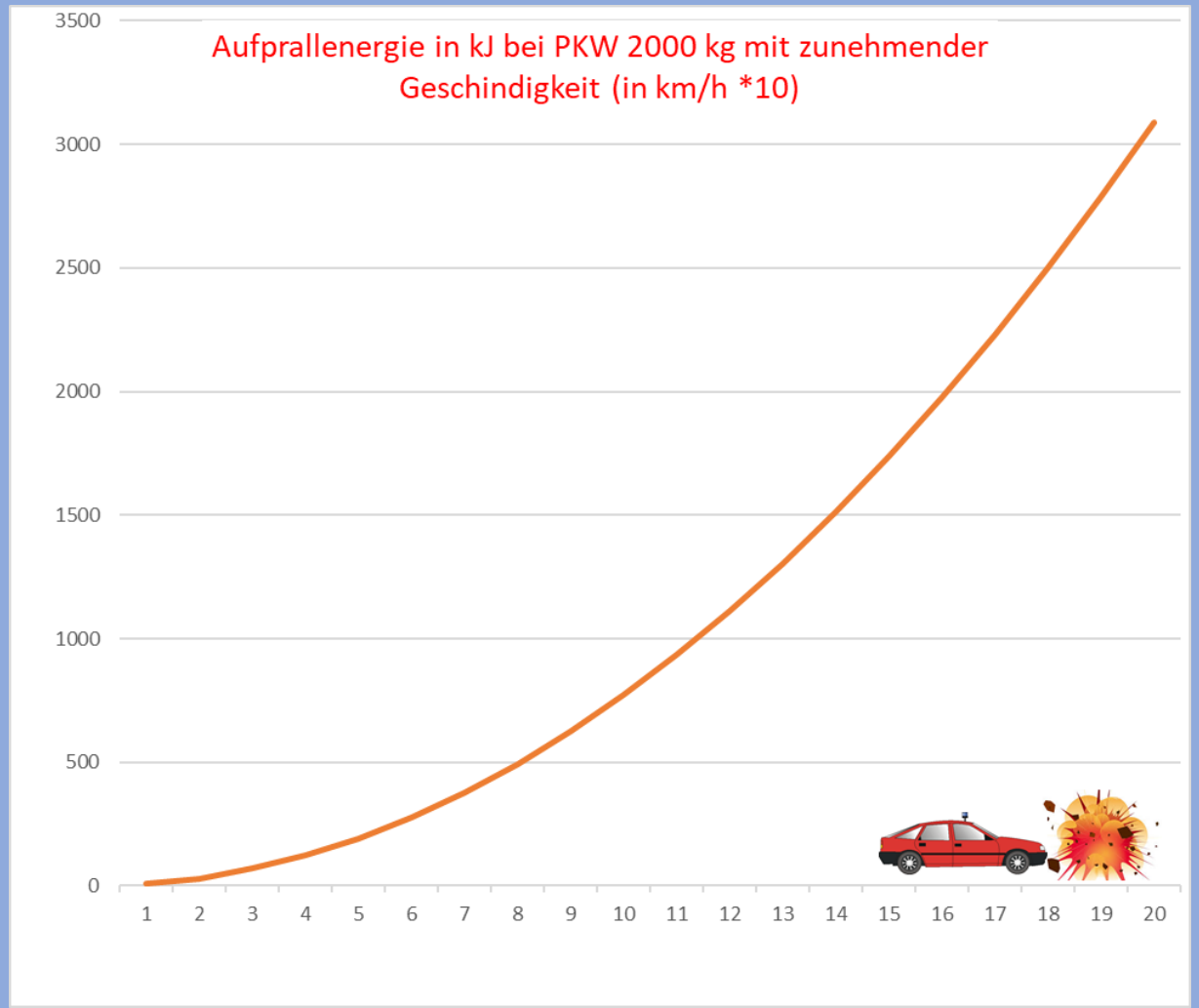
Eingabe möglich von v und M

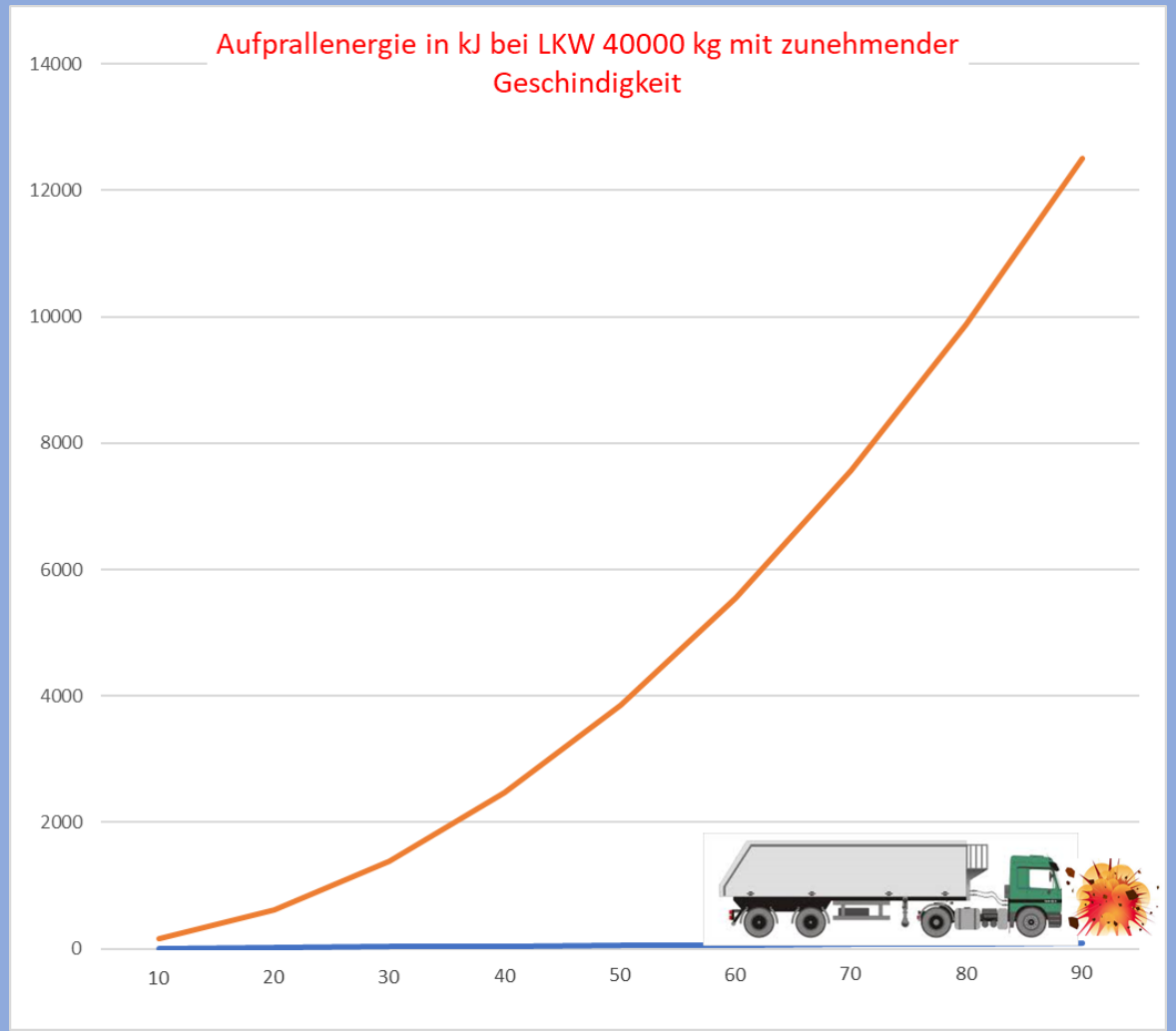
$$E_{kin} = m \times \frac{v^2}{2}$$

Geschwindig	Masse m in kg	Energie kJ	Masse in Kg	Energie in kJoules		
km/h						
10	2000	8	40000	154		
20	2000	31	40000	617		
30	2000	69	40000	1389		
40	2000	123	40000	2469		
50	2000	193	40000	3858		
60	2000	278	40000	5556		
70	2000	378	40000	7562		
80	2000	494	40000	9877		
90	2000	625	40000	12500		
100	2000	772				
110	2000	934				
120	2000	1111				
130	2000	1304				
140	2000	1512				
150	2000	1736				
160	2000	1975				
170	2000	2230				
180	2000	2500				
190	2000	2785				
200	2000	3086				

Ein 40 t LKW hat schon bei 30 km/h schon mehr Aufprallenergie wie ein PKW mit ca. 130 km/h, nämlich 1.389 kJ . Bei einem HLF mit 15 t ist es bei 30 km/h schon das doppelte wie bei einem PKW mit 80 km/h nämlich 521 kJ. Bei Frontalunfällen im Gegenverkehr addiert sich die Energie der beteiligten Fahrzeuge. Veieinfacht und zur Veranschaulichung entspricht 1 kJ 1 kN und dieses ungefähr einer Gewichtskraft von 1 t.

Kinetische Energie





Führen von Einsatzfahrzeugen Teil II

www.einsatzrecht.de

Fahrphysik

Führen von Feuerwehrfahrzeugen im Einsatz
Teil III: Fahrpsychologie