

1 Wie schnell ist der Unfallverursacher gefahren?

Worum geht's?

Nach einem Verkehrsunfall kann die Polizei häufig in Nachhinein noch feststellen, wie schnell die Unfallbeteiligten gefahren sind. Wie macht sie das?

Der Ansatz



Ein fahrendes Auto hat eine bestimmte Bewegungsenergie, die dem Auto entzogen werden muss. Dies geschieht beim Bremsen sowie beim Zusammenprall, wobei die Bewegungsenergie in Verformungsarbeit und Wärme umgewandelt wird. Aus der Stärke der Verformung der beteiligten Fahrzeuge auf die Verformungsenergie zu schließen ist sehr schwierig. Dies ist eine Aufgabe für Experten. Hingegen ist es relativ leicht, die beim Bremsen „vernichtete“ Bewegungsenergie zu berechnen, falls das Auto auf der Straße eine Bremsspur hinterlassen hat.

Ein Beispiel

Ein Auto soll eine Masse von 1000 kg haben und beim Bremsen auf der Straße eine Spur von 12 m Länge hinterlassen.

Die Rechnung

Bei blockierten Rädern ist die Bremskraft des Autos gerade die Gleitreibungskraft. Die Gleitreibungskraft beträgt einen gewissen Prozentsatz der Gewichtskraft, der von der Qualität der Reifen und den Straßenverhältnissen abhängt und bei trockener Straße in der Größenordnung von 60% liegt.



$$\begin{aligned}F_{\text{Br}} = F_{\text{R}} = f_{\text{R}} \cdot F_{\text{G}} = f_{\text{R}} \cdot m \cdot g \\ \approx 60\% \cdot 1000\text{kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \\ = 0,6 \cdot 10\,000 \text{ N} \\ = 6\,000 \text{ N}\end{aligned}$$

Diese Kraft wirkt entlang des gesamten Bremsweges von 12 m. Dabei wird die Arbeit

$W_{\text{Br}} = F_{\text{Br}} \cdot s_{\text{Br}} = 6\,000 \text{ N} \cdot 12 \text{ m} = 72\,000 \text{ Nm} = 72\,000 \text{ J}$ verrichtet. Diese Arbeit wird dem bremsenden Auto entzogen und muss daher vor dem Bremsen in dem fahrenden Auto als Bewegungsenergie enthalten gewesen sein. Mit der Formel für die Bewegungsenergie gilt:

$$\begin{aligned}E_{\text{kin}} &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ \Leftrightarrow v^2 &= 2 \cdot \frac{E_{\text{kin}}}{m} = 2 \cdot \frac{W_{\text{Br}}}{m} \\ &= 2 \cdot \frac{72000 \text{ J}}{1000 \text{ kg}} = 144 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \\ \Rightarrow v &= 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

Mit $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$

$$\Rightarrow 12 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 43,2 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Wie lang wäre der Bremsweg bei einem LKW mit gleicher Geschwindigkeit?

Wir nehmen an, dass der LKW eine Masse von 10 000 kg hat. Bei einer Geschwindigkeit von 12 m/s beträgt seine kinetische (Bewegungs-) energie dann:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 10000 \text{ kg} \cdot \left(12 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$= 720\,000 \text{ J}$$

Sie ist damit 10-mal höher als die des PKW. Da die Bewegungsenergie proportional zur Masse ist, war dies auch zu erwarten.

Die Bremskraft beträgt beim LKW mit blockierenden Reifen:

$$F_{\text{Br}} = F_{\text{R}} = f_{\text{R}} \cdot F_{\text{G}} = f_{\text{R}} \cdot m \cdot g$$

$$\approx 60\% \cdot 10\,000 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$= 0,6 \cdot 100\,000 \text{ N}$$

$$= 60\,000 \text{ N}$$

Da die Bewegungsenergie des LKW durch die Reibungsarbeit an der Straße abgebaut werden muss, gilt

$$W_{\text{Br}} = E_{\text{kin}}$$

$$\Leftrightarrow F_{\text{Br}} \cdot s_{\text{Br}} = E_{\text{kin}}$$

$$\Leftrightarrow s_{\text{Br}} = \frac{E_{\text{kin}}}{F_{\text{Br}}} = \frac{720\,000 \text{ J}}{60\,000 \text{ N}} = 12 \text{ m}$$

Er ist also genau so lang wie beim PKW. Eine tiefere Begründung dafür gibt's im folgenden Abschnitt.

Eine Formel für die Geschwindigkeit

Wir versuchen eine Formel zur einfachen Berechnung für Polizisten herzuleiten, in der man nur noch die Masse des Fahrzeugs sowie die Länge des Bremsweges einsetzen muss, um die gefahrene Geschwindigkeit zu erhalten. Also los:

Die Bewegungsenergie eines Fahrzeugs der Masse m muss durch Reibungsarbeit entlang des Bremsweges „vernichtet“ werden.

$$W_{\text{Br}} = E_{\text{kin}}$$

$$\Rightarrow F_{\text{Br}} \cdot s_{\text{Br}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$\Leftrightarrow f_{\text{r}} \cdot m \cdot g \cdot s_{\text{Br}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$\Leftrightarrow f_{\text{r}} \cdot g \cdot s_{\text{Br}} = \frac{1}{2} \cdot v^2$$

$$\Leftrightarrow v^2 = 2 \cdot f_{\text{r}} \cdot g \cdot s_{\text{Br}}$$

$$\Leftrightarrow v = \sqrt{2 \cdot f_{\text{r}} \cdot g \cdot s_{\text{Br}}}$$

Man sieht, dass sich die Masse des Fahrzeugs herauskürzt, und sie daher für das Ergebnis keine Rolle spielt.

Eine Formel für den Bremsweg

Wir machen den gleichen Ansatz wie im vorherigen Problem, lösen aber nach dem Bremsweg stat nach der Geschwindigkeit auf:

$$W_{\text{Br}} = E_{\text{kin}}$$

$$\Leftrightarrow \dots \text{ (s.o.)}$$

$$\Leftrightarrow v^2 = 2 \cdot f_{\text{r}} \cdot g \cdot s_{\text{Br}}$$

$$\Leftrightarrow s_{\text{Br}} = \frac{v^2}{2 \cdot f_{\text{r}} \cdot g}$$

Man sieht an dieser Formel, dass der Bremsweg proportional zum **Quadrat** der Geschwindigkeit ist. Das bedeutet, dass bei **Verdopplung** der Geschwindigkeit der Bremsweg auf das ($2^2 = 4$) – fache anwächst. Eine **Verdreifachung** der Geschwindigkeit führt zu einer ver- ($3^2 = 9$)-fachung des Bremsweges