

Zusammenhang zwischen Abbremsung z und max. Bremsverzögerung a max

Einleitung

Ein fahrendes Fahrzeug besitzt eine Bewegungsenergie (E_{kin}), deren Grösse von der Fahrzeugmasse (m) und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit (v) abhängt.

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

Diese Energie muss ganz oder teilweise umgewandelt werden, wenn das Fahrzeug anhalten oder seine Geschwindigkeit verringert werden soll. Dies ist die Aufgabe der Bremse, welche die Bewegungsenergie des Fahrzeugs durch Reibung in Wärme umwandelt.

Beschleunigung respektive Verzögerung (a) in m/s^2

Als Beschleunigung bezeichnet man die Geschwindigkeitszunahme um einen bestimmten Geschwindigkeitswert in Metern je Sekunde pro Sekunde (= m/s^2). Unter (Brems-) Verzögerung verstehen wir die Geschwindigkeitsabnahme um einen bestimmten Geschwindigkeitswert in Metern je Sekunde pro Sekunde (= m/s^2). Ist dieser Wert in jeder Sekunde gleich, spricht man von einer gleichförmigen Beschleunigung oder Verzögerung.

Die Geschwindigkeit wird errechnet nach der Formel:

Geschwindigkeit = Weg/Zeit

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{in} = \frac{m}{s}$$

Die Beschleunigung und ebenfalls die Verzögerung wird berechnet nach der Formel:

Verzögerung = Geschwindigkeit/Zeit

$$a = \frac{v}{t} \quad \text{in} = \frac{m}{s^2}$$

Die maximale Bremsverzögerung

Die Verzögerung oder Abbremsung kann bei Fahrzeugbremsen nicht beliebig gesteigert werden. Eine Grenze stellt die theoretisch erreichbare Verzögerung durch die Erdbeschleunigung (g) mit $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ dar (gerundeter Wert 10 m/s^2). Die Verzögerung einer noch so guten Bremsanlage wird diesen Wert kaum erreichen, geschweige denn überschreiten können.

Eine weitere Grenze ist der Reibwert zwischen Reifen und Fahrbahn, der durch den Kraftschlussbeiwert (k) ausgedrückt wird. Die Verzögerung ist in der Regel (es gibt Ausnahmen) dann am grössten, wenn die Räder beim Bremsen nicht blockieren, also sich gerade noch drehen. Eine Erhöhung der Bremskraft würde also nicht in jedem Fall eine höhere Bremswirkung erzielen, sondern durch Blockieren der Räder den Verlust der Lenkfähigkeit und Schleudern des Fahrzeugs zur Folge haben.

Kraftschlussbeiwert (k)

Je nach Fahrbahndecke und ihrem momentanen Zustand (trocken, nass) ergibt sich ein bestimmter Kraftschlussbeiwert (k), der die maximal erreichbare Bremsverzögerung bestimmt. Sie wird wie folgt errechnet:

Max. erreichbare Verzögerung (a_{max}) = Erdbeschleunigung (g) \times Kraftschlussbeiwert (k)

$$a_{max} = g \times k \quad \text{in} = \frac{m}{s^2}$$

Eine Übersicht über den Kraftschlussbeiwert «k» bei unterschiedlichen Fahrbahnzuständen gibt die folgende Tabelle:

Strassendecke	trocken	nass
Beton, Asphalt	0,7	0,25 bis 0,6
Naturstrasse	0,4	0,2 bis 0,4
Schnee (festgefahren)	0,2	0,1

Wird zum Beispiel ein k-Wert von 0,6 angenommen (Beton sauber) kommen wir auf einen maximal erreichbaren Wert von 6 m/s^2 .

Abbremsung in % (z)

Neben der Bremsverzögerung gibt es ein anderes Mass für das Bremsverhalten: die Abbremsung z .

Darunter versteht man das prozentuale Verhältnis der erzeugten, respektive auf dem Rollenprüfstand ermittelten Bremskräfte, im Verhältnis zur momentanen Gewichtskraft des Fahrzeugs.

Abbremsung in % =

$$\frac{\text{(Summe der Bremskräfte des Fahrzeugs)}}{\text{(Prüfgewicht des Fahrzeugs)}}$$

Zusammenhang zwischen Abbremsung z und max. Bremsverzögerung a_{max}

Ein Zusammenhang zwischen der max. Verzögerung a_{max} und der Abbremsung z ergibt sich aus der Formel:

$$a_{max} = \frac{F \times g}{G_p} = z \times g$$

Das bedeutet, dass ein direkter Zusammenhang zwischen (z) und (a_{max}) besteht, der es ermöglicht, die erreichte Abbremsung (a_{max}) auch als prozentuale Abbremsung (z) auszudrücken und umgekehrt. Die Tabelle zeigt die entsprechenden Vergleichswerte.

Abbremsung (z)	Bremsverzögerung (a_{max})	
	genau	aufgerundet
10 %	0,981 m/s^2	1,0 m/s^2
20 %	1,962 m/s^2	2,0 m/s^2
30 %	2,943 m/s^2	3,0 m/s^2
40 %	3,924 m/s^2	4,0 m/s^2
50 %	4,905 m/s^2	5,0 m/s^2
60 %	5,886 m/s^2	6,0 m/s^2
70 %	6,867 m/s^2	7,0 m/s^2
80 %	7,848 m/s^2	8,0 m/s^2

Messung der Verzögerung bzw. Abbremsung

Hierzu gib es zwei Möglichkeiten

1. Die Ermittlung der Abbremsung z in % mit Hilfe eines Bremsenprüfstandes (Rollen- oder Plattenprüfstand)
2. Die Ermittlung während der Verzögerung im Fahrversuch mit Hilfe eines Verzögerungsmessgerätes (schreibend oder nichtschreibend). Während ein nichtschreibendes Gerät nur die Höhe der maximalen Bremsverzögerung anzeigt, zeichnet ein schreibendes Gerät darüber hinaus auch noch den zeitlichen Verlauf der Ansprech- und Schwelldauer auf.

Ermittlung der Abbremsung auf dem Prüfstand

Auf einem Rollenprüfstand werden die max. Bremskräfte pro Rad gemessen. Addiert man diese Bremskräfte und stellt die Summe prozentual dem jeweiligen Fahrzeuggewicht gegenüber, so erhält man nach der schon bekannten Gleichung die prozentuale Abbremsung des Fahrzeugs:

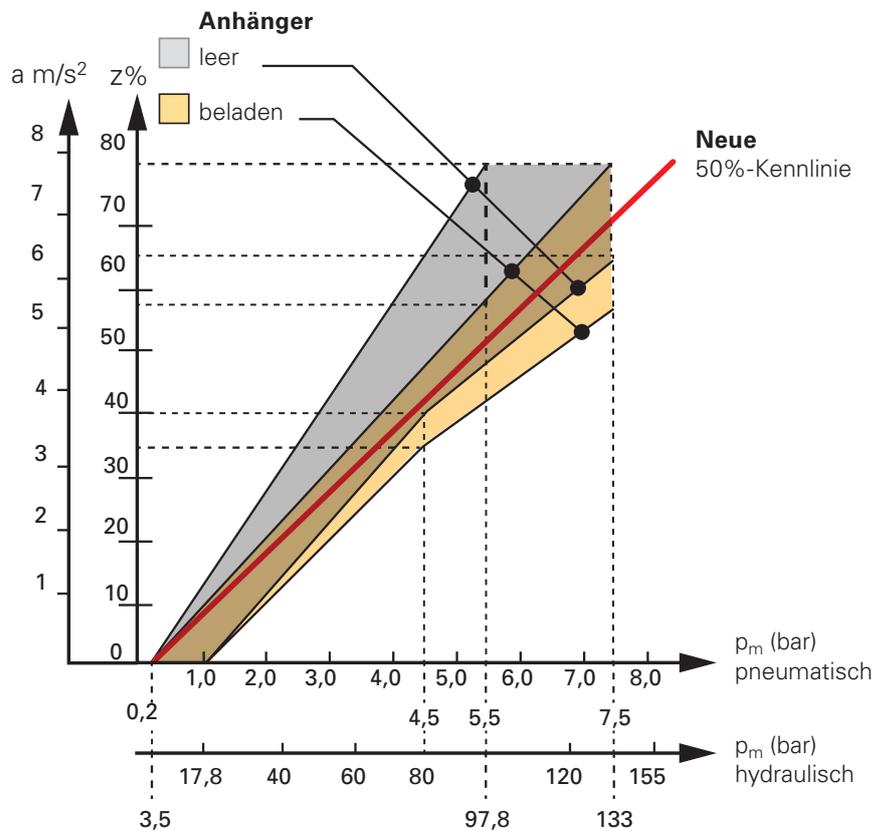
$$z = \frac{F}{G_p} = \times 100\%$$

Vorgaben gemäss neuer Verordnung (EU) 2015/68

Die Mindestabbremsung der Betriebsbremse von land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen wurde in der neuen Verordnung (EU) 2015/68 wie folgt festgelegt:

Neue Fahrzeuge	Abbremsung in %	Verzögerung Betriebsbremse
bis 30 km/h	35% bei 6,5 bar pneumatisch 115 bar hydraulisch	mindestens 3.5 m/s (Kontrolle EG)
über 30 km/h	50% bei 6,5 bar pneumatisch 115 bar hydraulisch	mindestens 5.0 m/s

Diagramm Auslegungsband des Anhängers



Kompetenz-Center Bremsen

Seit vielen Jahren sind unsere Kurse zu verschiedenen technischen Themen bei unseren Kunden sehr beliebt. An einem eintägigen Kurs geben unsere Fachleute ihr Wissen anhand von theoretischen und praktischen Beispielen gerne weiter.

Auf vielseitigen Wunsch werden wir im ersten Quartal 2019 nun auch technische Kundenkurse zum hoch aktuellen Thema Bremsen durchführen. Zwei Kurse vermitteln aktuelles Wissen zu den beiden technischen Lösungen «Druckluftbremsen» (in Zusammenarbeit mit WABCO) und «Ölhydraulische Bremslösungen».

Bei Interesse melden Sie sich bitte bei Ihrem Berater im Aussendienst oder unter 044 439 19 19.