

Fahrzeugregelung

Bremsverhalten und Bremsregelung



Prof. Dr.-Ing. Steffen Müller

M.Sc. Osama Al-Saidi

Fachgebiet Kraftfahrzeuge • Technische Universität Berlin

Einleitung

Richtlinie des Rates der EU „Bremsen“ 71/320/EWG

„Die **Bremsanlage** bezeichnet die Gesamtheit der Teile, deren Aufgabe es ist, die **Geschwindigkeit** eines fahrenden Fahrzeuges zu **verringern**, es **zum Stillstand zu bringen** oder es **im Stillstand zu halten**, wenn es bereits hält. Die Bremsanlage besteht aus der **Betätigungseinrichtung**, der **Übertragungseinrichtung** und der **eigentlichen Bremse**.“

Einleitung

Bremsentypen und Bremsarten

Betriebsbremse

Muss bei allen Geschwindigkeiten und Beladungszuständen bei beliebiger Steigung und beliebigem Gefälle die **Kontrolle der Fahrzeugbewegung** sowie ein sicheres, schnelles und wirksames **Anhalten des Fahrzeuges** ermöglichen.

Verzögerungsbremmung
(Geschwindigkeit verringern / anhalten)

Beharrungsbremmung
(konst. Geschwindigkeit halten)

Hilfsbremse

Muss das **Anhalten** des Fahrzeugs innerhalb einer angemessenen Entfernung ermöglichen, **wenn die Betriebsbremse versagt**.

Feststellbremse

Muss das Fahrzeug auch bei Abwesenheit des Fahrers in der Steigung und im Gefälle **im Stillstand halten** (rein mechanisch)

Bremsen bei Geradeausfahrt

Ablauf einer plötzlichen Verzögerungsbremmung



Bremsen bei Geradeausfahrt

Aufforderung → Fuß weg vom Gaspedal

- **Wahrnehmung** einer objektiven Reaktionsaufforderung
- **Erkennung** der Gefahr
- **Entscheidung** über die Handlung (Bremsen, Lenken,...)
- **Reizleitungs-** bzw. Muskelaktivierungszeit

| Summen- häufigkeit (50 Fahrer) % | Reaktionsaufforderung | |
|---|---|--|
| | Fußgänger betritt die Fahrbahn von rechts: «starke» Reaktionsaufforderung | Fußgänger betritt die Fahrbahn von links; Blickzuwendung erforderlich: «schwache» Reaktionsaufforderung |
| 50 | 0,40 s | 1,04 s |
| 99 | 0,80 s | 1,49 s |

Mercedes-
Benz-/Dekra-
Untersuchung

Bremsen bei Geradeausfahrt

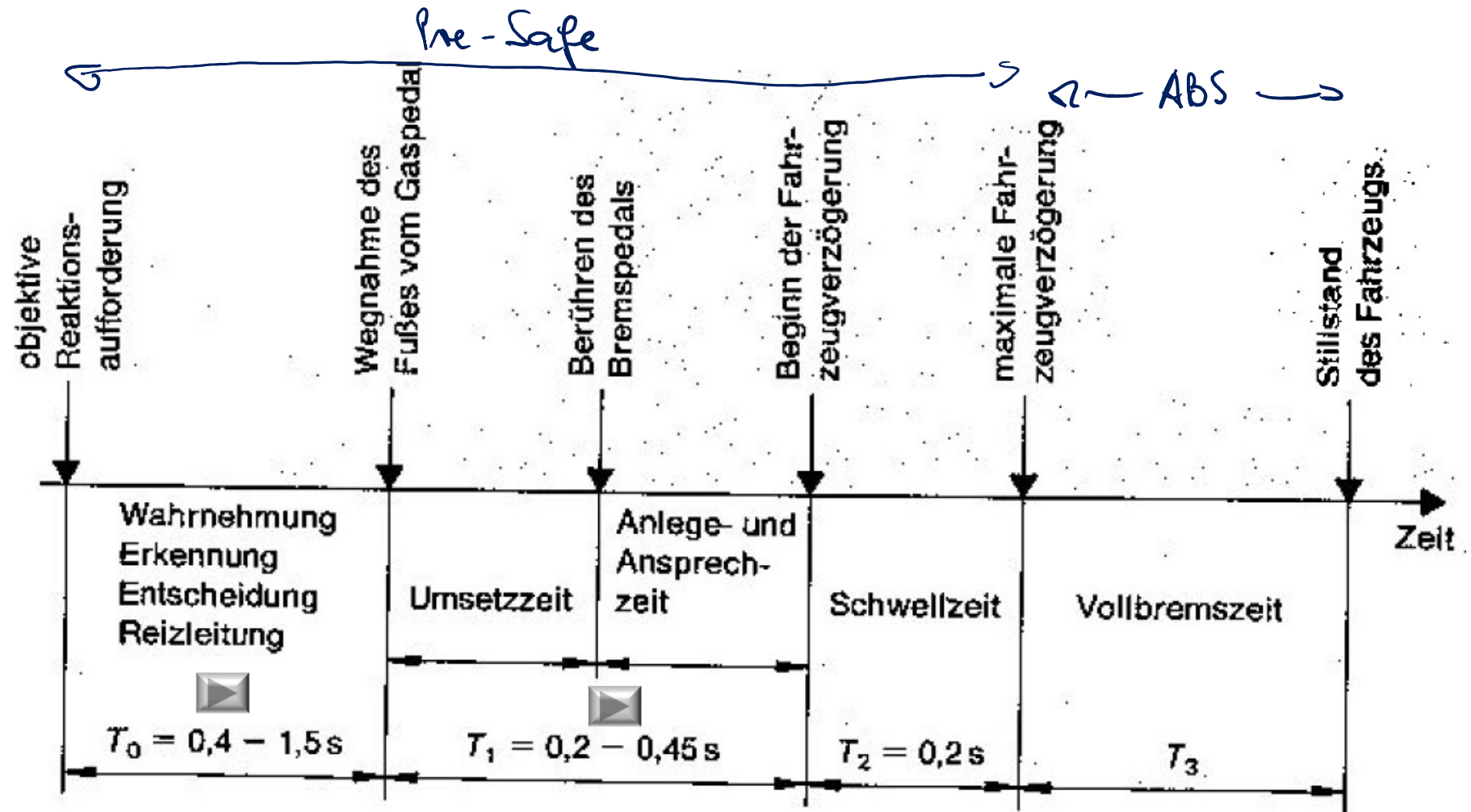
Fuß weg vom Gaspedal → Fahrzeugverzögerung

- **Umsetzzeit** (0.15 s – 0.3 s)
Fuß wechselt von Gas auf Bremspedal
- **Anlegezeit** (0.015 s – 0.05 s)
Überwindung der Spiele und Elastizitäten in der Bremsanlage
- **Ansprechzeit** (0.05 s – 0.1 s)
fahrzeugabhängige Zeitspanne vom Bremsdruckanstieg bis zur beginnenden Fahrzeugverzögerung

Eine Verzögerung aufgrund des Motorschubmoments und von Fahrwiderständen steigt linear auf 0.5 – 1.5 m/s² an.

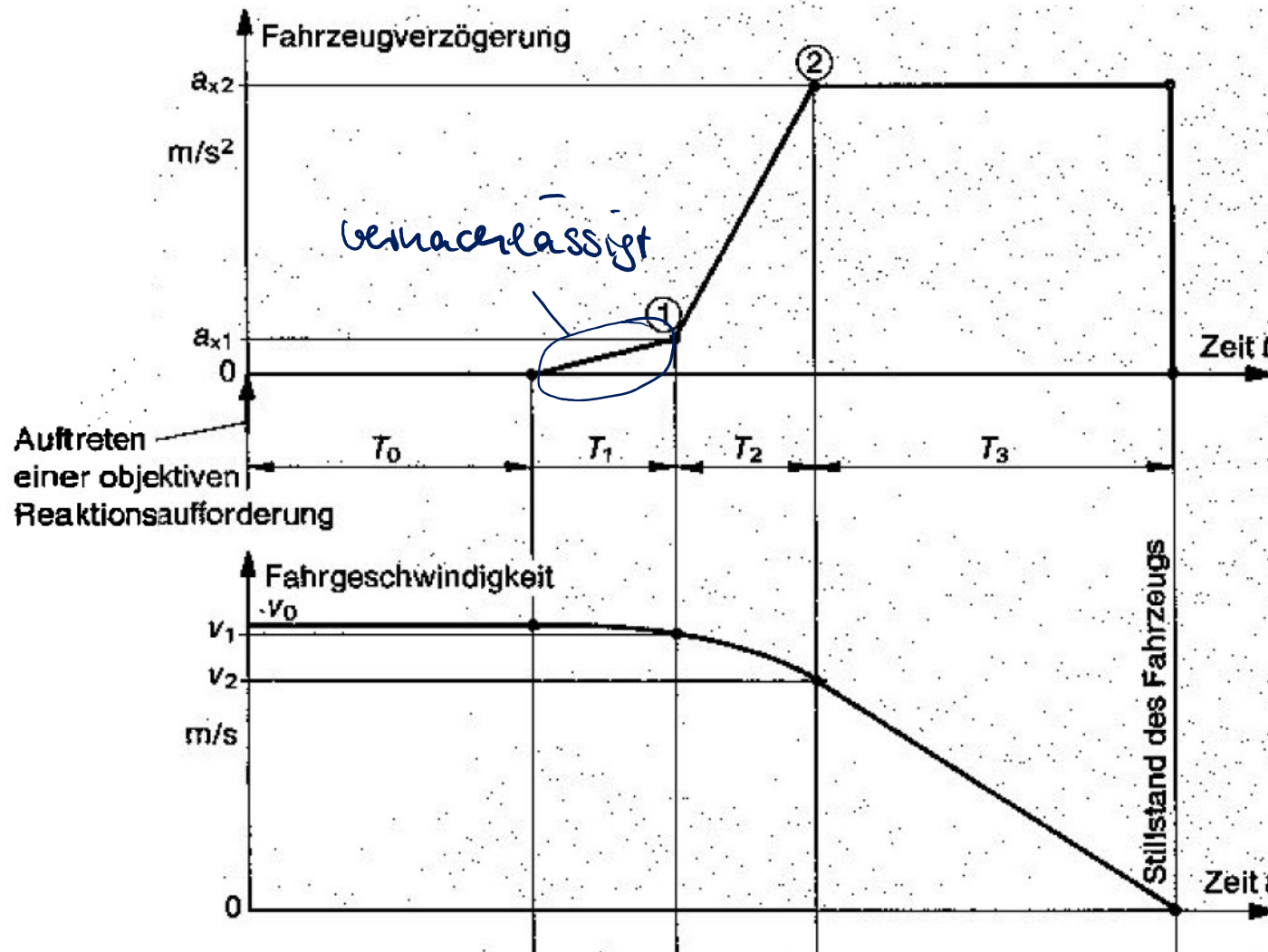
Bremsen bei Geradeausfahrt

Zeitlicher Ablauf eines Bremsvorgangs



Bremsen bei Geradeausfahrt

Fahrzeugverzögerung → Stillstand



Der Anhalteweg ergibt
sich vereinfacht zu

$$s_A = v_0 \left(T_0 + \bar{T}_1 + \frac{\bar{T}_2}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2a_{x2}}$$

Beispielrechnung

Wie hoch ist die Anhaltezeit und wie lang der Anhalteweg bei Reaktion auf ein Ereignis („99% Fahrer“) mit 50 bzw. 144 km/h bei max. möglicher Verzögerung von 8 m/s^2 ?

Fahrgeschwindigkeit= 50 km/h

Anhaltezeit= 3.8 s

Anhalteweg= 40.4 m

davon

Weganteil bis zur Vollbremsung= 29.7 m

Weganteil Vollbremsung bis Stillstand= 10.7 m

Fahrgeschwindigkeit= 144 km/h

Anhaltezeit= 7.0 s

Anhalteweg= 181.6 m

davon

Weganteil bis zur Vollbremsung= 85.6 m

Weganteil Vollbremsung bis Stillstand= 96.0 m

Verbesserung durch
„Pre-safe“-Maßnahmen

Verbesserung durch
ABS

▷ max. Abbremsung
▷ Sicherstellung
Lenkbarkeit

Abbremsung und Haftwertausnutzung

Maximal erreichbare Abbremsung

Def. Abbremsung z

$$z = \frac{-\ddot{u}_x}{g}$$

Aus der Bewegungsgleichung eines 2-achsigen Fahrzeuges folgt

$$\frac{G_g}{g} \ddot{u}_x = +F_{\xi v} + F_{\xi h} - \cancel{F_L^0} = G_g \cancel{\sin \varphi^0}$$

vernachlässigt,
da klein beim Bremsen

bzw.

$$G_g z = -F_{\xi v} - F_{\xi h} = F_{Bv} + F_{Bh}$$

Die maximale Abbremsung wird erreicht, wenn

$$\begin{aligned} G_g z &= \mu_{\max} N_{\xi v} + \mu_{\max} N_{\xi h} \\ &= \mu_{\max} (N_{\xi v} + N_{\xi h}) \\ &= \mu_{\max} G_g \end{aligned}$$

Somit

$$z_{\max} = \mu_{\max}$$

Abbremsung und Haftwertausnutzung

Minimaler Bremsweg

Für den Anhalteweg gilt

$$s_A = v_0 \left(T_0 + T_1 + \frac{T_2}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2g z}$$

Der minimale Anhalteweg folgt für $z = z_{\max} = \mu_{\max}$

Also

$$s_{A\min} = v_0 \left(T_0 + T_1 + \frac{T_2}{2} \right) + \frac{v_0^2}{2g \mu_{\max}}$$

Der minimale Anhalteweg kann nur erreicht werden, wenn

$$F_{Fv} = \mu_{\max} N_{Fv} \text{ und}$$

$$F_{Fh} = \mu_{\max} N_{Fh}$$

bzw.

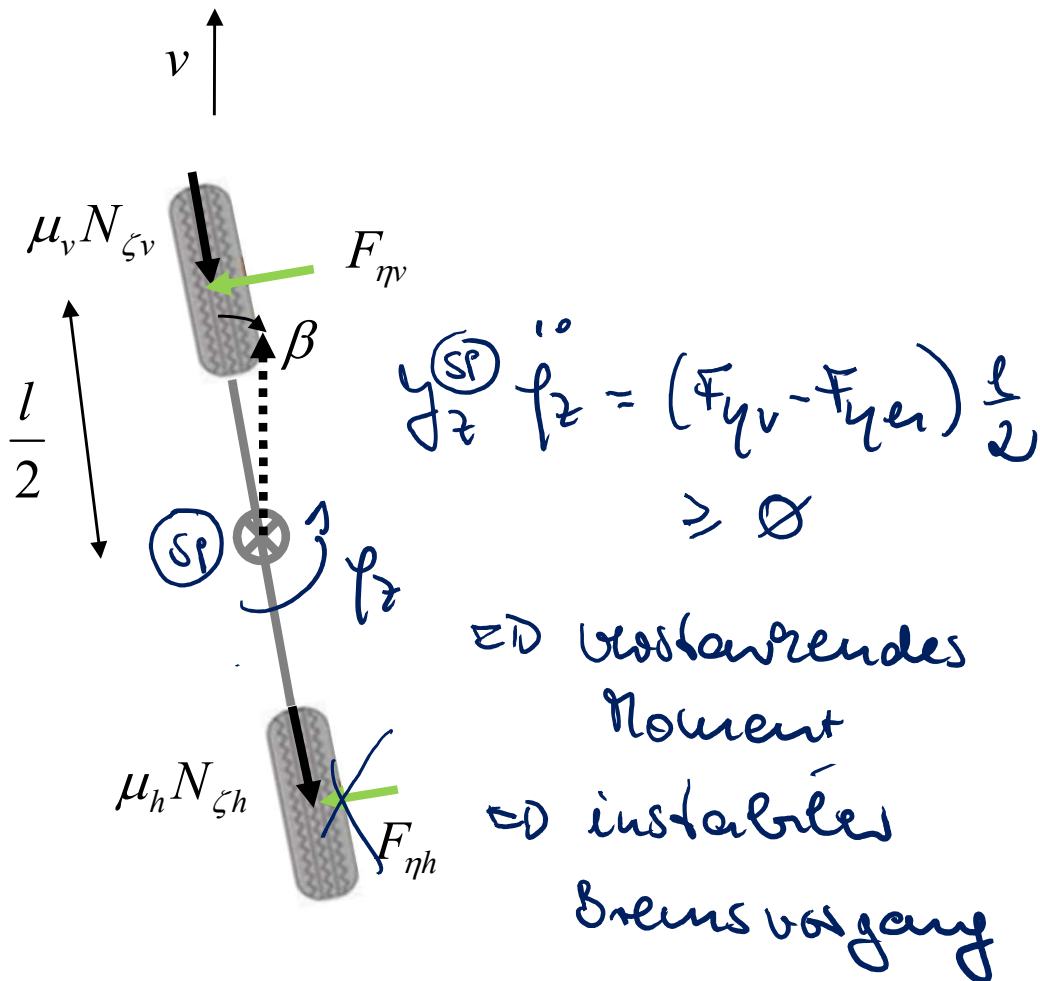
$$\frac{F_{Fv}}{F_{Fh}} = \frac{N_{Fv}}{N_{Fh}}$$

1. Diese Forderung ist ohne Bremskraftregelung nicht zu erfüllen
2. Blockieren des Achsen macht das Fahren unkontrollierbar ($F_y = 0$)

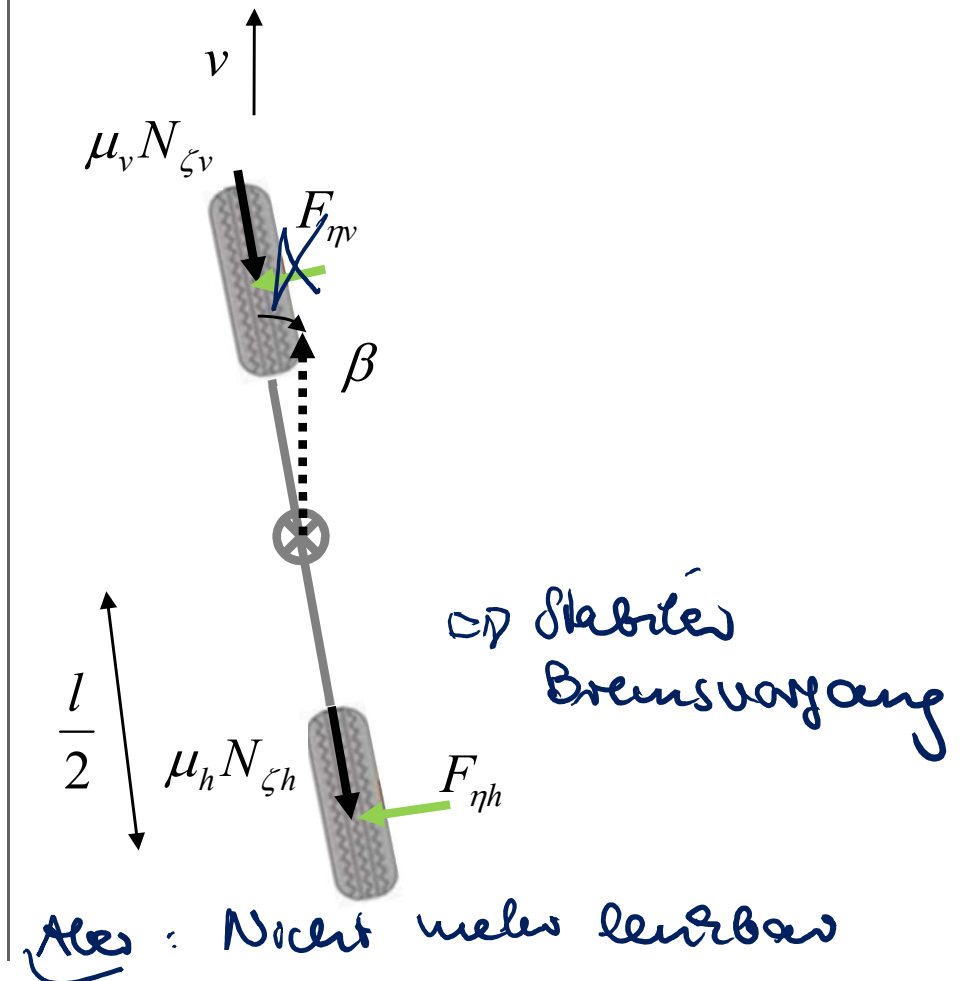
Bremskraftverteilung

Bremsstabilität

Blockieren der Hinterachse



Blockieren der Vorderachse



Bremsregelung

Wichtige Regelungsziele

- Die Räder sollen nicht blockieren
- Der Kraftschluss soll maximal ausgenutzt werden
- Die Regelung muss sich Änderungen am Fahrzeug und in der Umwelt anpassen
- In Kurven muss das Fahrzeug stabil und lenkbar bleiben
- Bei μ -Split sollen die Giermomente beherrschbar ansteigen
- Kleine Bremsmomentregelamplituden zur Vermeidung von Fahrwerkschwingungen, Pedalrückwirkungen und Lärm

Antiblockiersystem – ABS

Historie

1928 Erstes Patent mechanisch-hydraulisches ABS für Kfz

1965 GT von Jensen Motors, Dunlop Stotterbremse

1978 1. serienmäßiges ABS für PKW (Mercedes/Bosch)

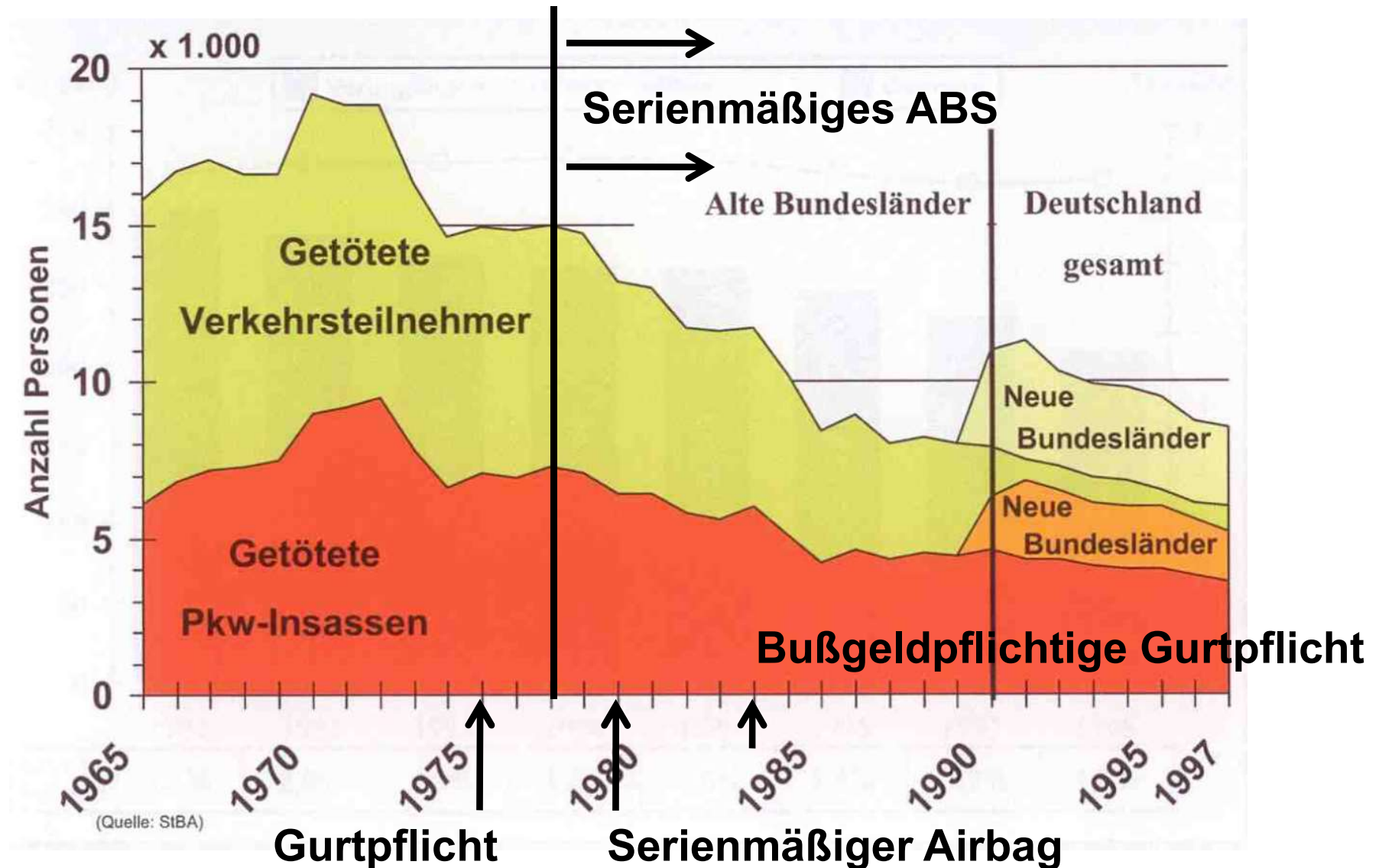
1988 Bosch fertigt das ein-millionste ABS

1997 Elchtest der A-Klasse -> ESP Serie für Nicht-Luxusklasse

2004 Selbstverpflichtung ACEA: ABS serienmäßig für alle Fahrzeuge mit weniger als 2,5t

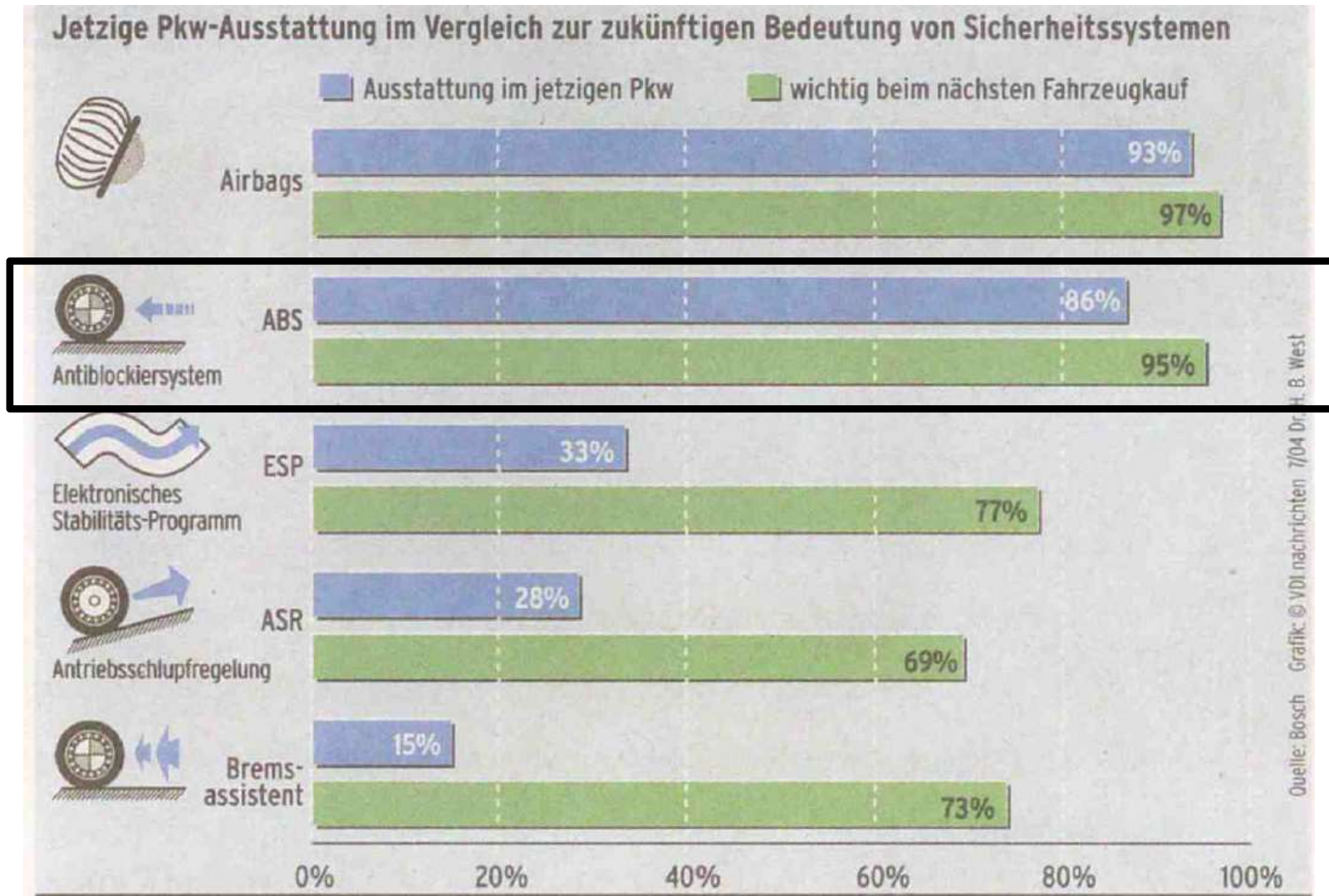
Antiblockiersystem – ABS

Getötete im Straßenverkehr



Antiblockiersystem – ABS

Bedeutung für den Autofahrer (Stand: 2004)



Antiblockiersystem – ABS

Bedeutung für den Autofahrer (Stand: 2012)

Ausstattungsgrad der Fahrzeuge

| Ausstattung | Bestand | Neuwagen | Gebraucht- wagen |
|-----------------------------|---------|----------|---------------------|
| 1. Radio | 96 % | 98 % | 97 % |
| 2. Servolenkung | 92 % | 97 % | 92 % |
| 3. Zentralverriegelung | 91 % | 97 % | 89 % |
| 4. Elektrische Fensterheber | 89 % | 94 % | 86 % |
| 5. Antiblockiersystem | 88 % | 100 % | 90 % |

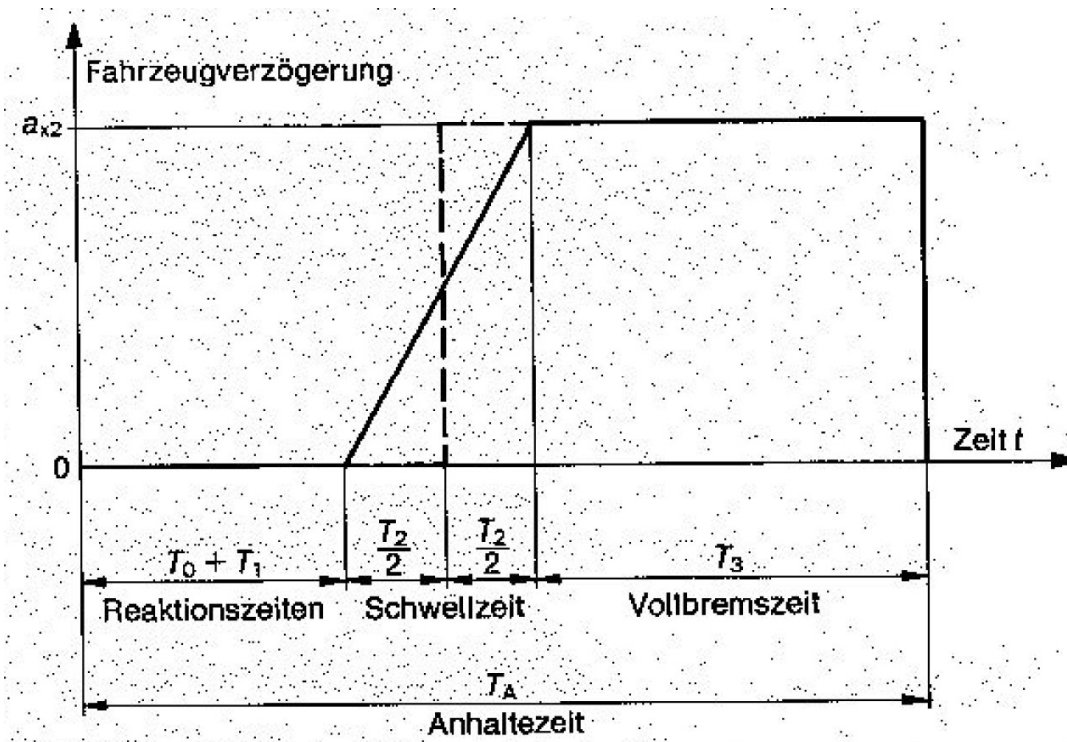
| Ausstattung | Bestand | Neuwagen | Gebraucht- wagen |
|------------------------|---------|----------|---------------------|
| 6. Klimaanlage | 81 % | 93 % | 80 % |
| 7. Metallic-Lackierung | 67 % | 65 % | 56 % |
| 8. ESP | 60 % | 86 % | 57 % |
| 9. Seiten-Airbag | 58 % | 89 % | 72 % |
| 10. Leichtmetallfelgen | 56 % | 62 % | 49 % |

Quelle: DAT-Report 2012

ANHANG

Bremsen bei Geradeausfahrt

Vereinfachte Berechnung des Anhalteweges



Folgeabstand bei Kolonnenfahrt

Definition

Für die **Verkehrssicherheit** ist es wichtig, dass bei einer Kolonnenfahrt zwischen den Fahrzeugen ein zur Vermeidung von Auffahrunfällen **ausreichender Abstand** eingehalten wird.

Unter **Fahrzeugkolonne** wird eine Folge von Fahrzeugen verstanden, die sich als Gruppe bewegen, wobei die **Fahrzeugfolgezeiten kleiner als 6 s** sind.

Für die **Berechnung des Folgeabstandes** gibt es zwei **Modellannahmen**:

- der *absolut sichere Abstand* und
- der *relativ sichere Abstand*

Folgeabstand bei Kolonnenfahrt

Absolut sicherer Abstand

Folgeabstand ist so groß, dass das **nachfolgende Fahrzeug** auch dann noch ohne Aufprall **bis zum Halten abbremsen** kann, **wenn das vorausfahrende Fahrzeug plötzlich stehen bleibt.**

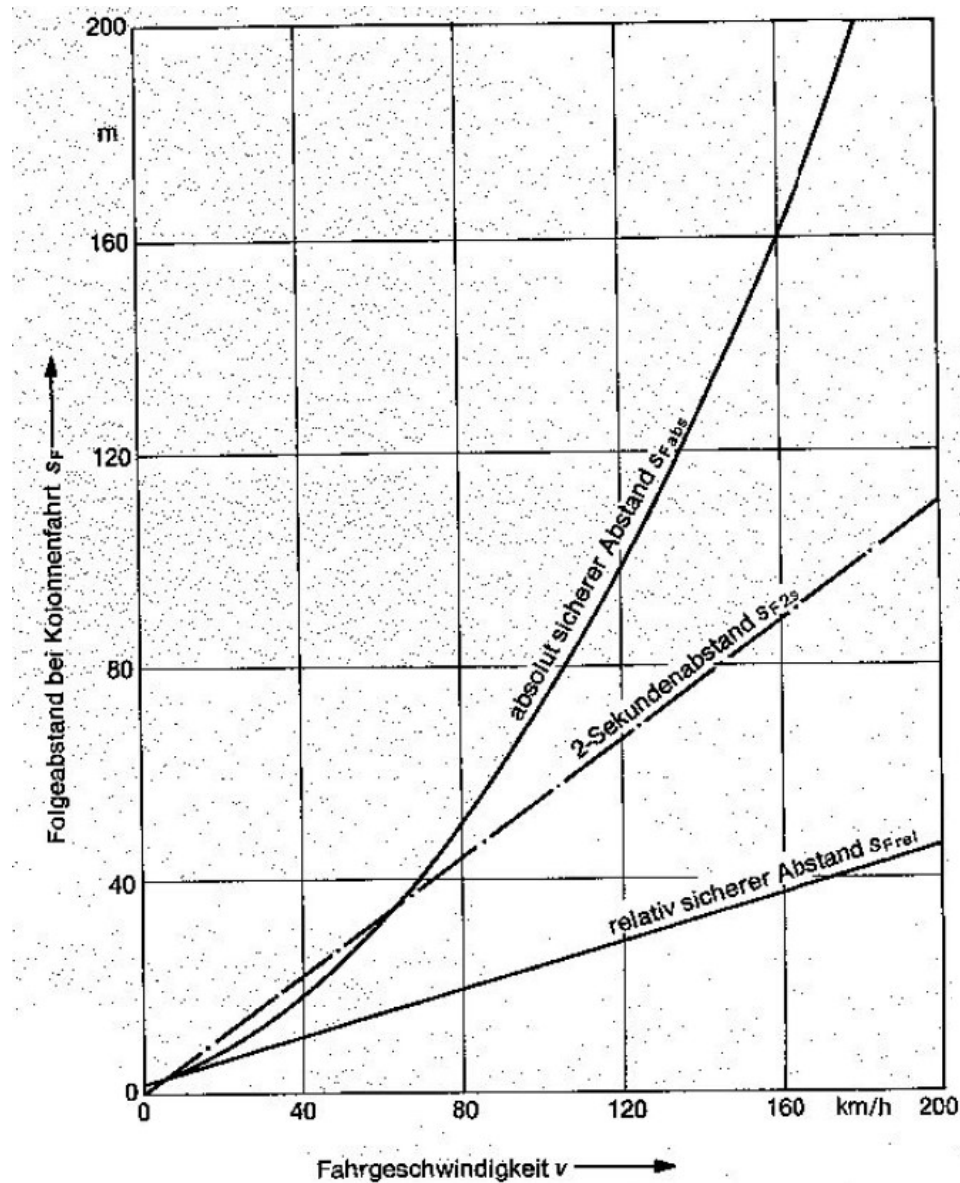
Folgeabstand bei Kolonnenfahrt

Relativ sicherer Abstand

Folgeabstand ist so groß, dass ein **Auffahren vermieden** werden kann, **wenn** das **vorausfahrende Fahrzeug unter Ausnutzung der Haftreibungszahl abgebremst** wird.

Folgeabstand bei Kolonnenfahrt

Übersicht



Angenommene Reaktionszeit
0.8 s
Verzögerung
8 m/s²

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!