

Über die Bremssicherheit landwirtschaftlicher Züge auf der Straße und im Gelände

Von Hansjürgen Hoffmann und Bert Breuer, Darmstadt*)

DK 631.372:631.373:62-592

Landwirtschaftliche Züge sind bezüglich der Auslegung ihrer Bremsanlage aus Gründen der vielfältig unterschiedlichen Zugkombinationen und ihres Betriebes auf und abseits der Straße schwierige Fahrzeugkombinationen.

Rechnerische und experimentelle Untersuchungen am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TH Darmstadt unter betriebsüblichen Bedingungen führten zur Definition einer neuartigen sog. Bremssicherheitszahl, die das Bremsverhalten einer Zugkombination beschreibt und ggf. Wege zu seiner Verbesserung aufzeigt.

1. Einleitung

Bremsanlagen müssen in allen Verkehrs- und Betriebssituationen ein hohes Maß an Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirkung gewährleisten. Der Bremskraftverteilung auf die Räder des Zuges und den Deichselkräften zwischen den Zuggliedern muß hierfür ganz besondere Beachtung geschenkt werden. Dabei muß die Abstimmung der Einzelfahrzeuge in Bremswirkung und Bremsverhalten den speziellen Belangen der Land- und Forstwirtschaft gerecht werden.

Das Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TH Darmstadt (FZD) hat in einem Forschungsvorhaben das Bremsvermögen landwirtschaftlicher Züge untersucht und daraus Rückschlüsse auf die Bremssicherheit gezogen. Dafür waren umfangreiche Bremsversuche auf der Straße und im Gelände, aber auch viele vergleichende Simulationsrechnungen notwendig. Ziel der Untersuchungen war die Entwicklung von Anforderungen an die Betriebsbremsanlage, die eine im Vergleich zu anderen Straßenfahrzeugen gleichwertige Bremssicherheit gewährleisten.

2. Bremsversuche

Für die praktischen Untersuchungen stand eine repräsentative Auswahl von vier Ackerschleppern und zehn Anhängern mit verschiedenen Bremsanlagen sowie ein Lkw-Zug bereit, **Tafel 1, Bild 1**.

(Weitere technische Daten enthält [1].) Gebremst wurde auf einer im trockenen Zustand griffigen Asphaltbetonstraße und auf einer hängigen, weichen Wiese auf zwei Fahrkursen (Fahrt bergab in der Fallinie auf 26 %igem Gefälle, Fahrt bergab zwischen Schicht- und Fallinie auf 12 %igem Gefälle mit entsprechender Schräglage der Fahrzeuge) zu unterschiedlichen Jahreszeiten und Wetterlagen. Die Fahrzeuge waren mit speziellen, hochwertigen Meß- und Versuchseinrichtungen ausgerüstet, um möglichst viele objektive Informationen bei Notbremsituationen zu erfassen (Meßwerterfassung und -auswertung ähnlich [2]).

Insgesamt wurden auf der Straße 19 verschiedene betriebsübliche und gesetzlich zulässige Zugkombinationen in verschiedenen Belastungszuständen untersucht. Die Bremsversuche im Gelände, **Bild 2**, wurden u.a. wegen der gewählten Steigungsraten und aus Sicherheitsgründen auf die dort häufigen Kombinationen Ackerschlepper/aufaufgebremster Anhänger beschränkt.

Auf der Straße betragen die Bremsausgangsgeschwindigkeiten 25 bis 32 km/h, im Gelände 10 bis 15 km/h; es wurden Teil- und Vollbremsungen bei variierten Bremskraftverteilungen und Bremsenzuständen durchgeführt. **Bild 3** zeigt beispielhaft einige Meßergebnisse.



Bild 1. Zug bei Straßenvollbremsung.

Typ	Zugfahrzeuge					Anhänger										
	SYS	SYS	STD	STD	LKW	LT	KE	SE	KZ	LT	KZ	KZ	KZ	KD1	KZ	KD2
Motorleistung in kW	55	92	121	92	188	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Massen in kg leer*) beladen	6530	6535	7015	6600	8715 14975	— 3280	— 4540	— 4590	2060 8000	— 6950	2200 8000	— 7250	2880 12060	5140 15560	3700 16180	5700 20500
Aufbaufeder Aufbaudämpfer	VA	VA	—	—	VA,HA VA	—	—	—	VA,HA —	VA,HA —	VA,HA —	VA,HA —	VA,HA —	VA,HA —	VA,HA —	VA,MA,HA —
Betriebsbremsanlage	HBA	FBA	MBA	MBA	FBA	OBA	OBA	OBA	ABA	ABA	ABA	ABA	FBA	FBA	FBA	FBA

*) für Schlepper: Versuchsmasse

Tafel 1. Technische Daten der Versuchsfahrzeuge.

*) Dipl.-Ing. H.J. Hoffmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Prof. Dr.-Ing. B. Breuer ist Leiter des Fachgebietes Fahrzeugtechnik der Technischen Hochschule Darmstadt.

Diese Veröffentlichung ist die erweiterte Fassung eines Vortrages auf der VDI-Tagung Landtechnik 1983 in Braunschweig und enthält Ergebnisse einer Forschungsarbeit, die der Bundesminister für Verkehr, der Bundesverband landwirtschaftlicher Berufsgenossenschaften und die Landmaschinen- und Ackerschleppervereinigung im VDMA gefördert haben.



Bild 2. Landwirtschaftlicher Zug bei Bremsung im Gelände.

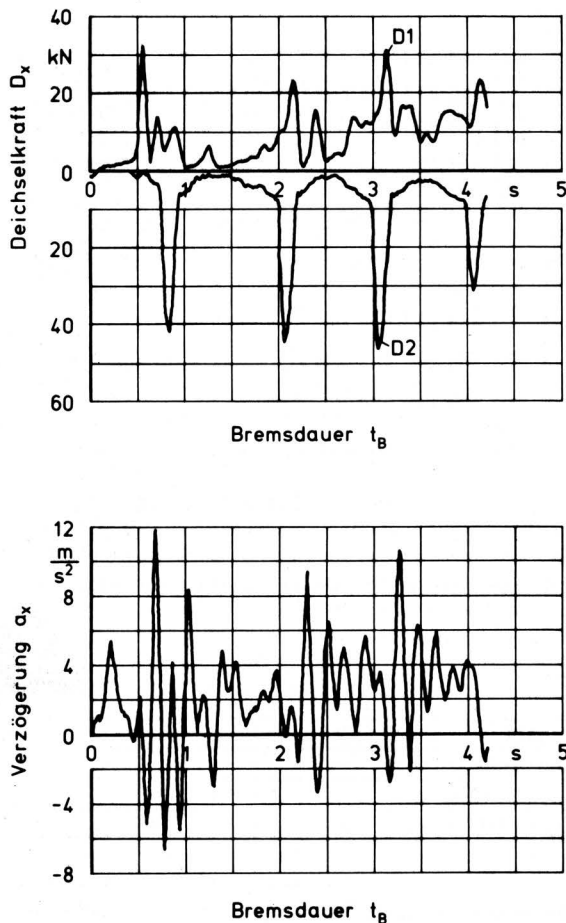


Bild 3. Zeitlicher Verlauf der Zugverzögerung und der Deichselkräfte (Ackerschlepper mit 2 auflaufgebremsten Anhängern, Teilbremsung vollbeladen aus 32 km/h).

3. Simulationsrechnung

Die Simulationsrechnungen wurden mit einem Bremsmodell, Bild 4, durchgeführt, dem ein Lenk-, ein Hub- und Nick-, ein Reifen- und ein Auflaufmodell zugeordnet sind. Das FZD-Programm – in FORTRAN 66 geschrieben – berechnet z.B. den Bremsvorgang eines Ackerschleppers mit zwei aufgebremsten Anhängern in der Kurve eines Gefälles, wobei die abnehmende Anregung über die Profilstellen berücksichtigt wird [1].

Das Rechenmodell wurde u.a. durch fortlaufende Einspeisung von Versuchsergebnissen zu einem hohen Sicherheitsgrad der Rechen-ergebnisse geführt und kann deshalb für im Versuch schwierige oder sehr aufwendige Parametervariationen als hinreichend zuverlässig betrachtet werden.

4. Ergebnisse

4.1 Bremssicherheitszahl

Die experimentellen und rechnerischen Untersuchungen betreffen die Bremswirkung, das Bremsverhalten (z.B. Kursstabilität) und das Schwingverhalten, die im Zusammenwirken die Bremssicherheit BS eines Zuges bestimmen [1]:

$$BS = \frac{\sum_{i=1}^8 F_i}{\sum_{i=1}^8 (F_i G_{pi})} \quad (1)$$

Die Bewertungsgrößen G_{pi} erfassen als dimensionslose Zahlen die Einzelfaktoren gemäß Tafel 2.

Die Bewertungsgrößen G_{pi} sind so aufgebaut, daß im Idealfall 1,0 erreicht wird. Werte über 1,0 zeigen den Grad der Verschlechterung an. Damit liegen die Bremssicherheitszahlen zwischen 0 (Bremsen unwirksam) und 1 (höchstmögliche kraftschlußbedingte Bremsverzögerung bei "gestrecktem" Zug, d.h. ohne Gierbewegung von Zuggliedern). Bild 5 zeigt die so ermittelten Bremssicherheitszahlen der auf der Straße und im Gelände untersuchten Zugkombinationen in betriebsüblichen Zuständen.

4.2 Massenquotienten

In der Bremssicherheitszahl BS ist der Gütegrad $z_r = z_1/z$ enthalten, der von der Deichselkraft zwischen den Fahrzeugen bestimmt wird und damit auch als Maß für die maximale Anhängelast herangezogen werden kann. Aus Untersuchungen des Bremsverhaltens ohne Anhänger wurde eine Mindestbremssicherheit für den Ackerschlepper ermittelt [1], die von dem landwirtschaftlichen Zug nicht unterschritten werden sollte. Damit ergibt sich der Gütegrad z_r aus Gl. (1) zu:

$$z_r = 5 \left(\frac{1}{BS_{min}} - K_{LF} \right) \quad (2)$$

Die Mindestbremssicherheit beträgt für Langsamläufer ($V \leq 25$ km/h) 0,57 und für Schnellläufer ($V \leq 32$ km/h) 0,68. Die Zugkennzahl ist die Summe der gewichteten Bewertungsgrößen minus 0,2 z_r .

Aus der allgemeinen Gleichung

$$z = \frac{\sum B}{\sum (mg)} \quad (3)$$

ergibt sich folgende Abhängigkeit für den Quotienten der Anhänger zur Zugfahrzeugmasse M:

$$M = K_B (z_r - 1) \quad (4)$$

In die Bremsenkennzahl K_B fließt neben der Bauart der Bremssysteme und der Anzahl der Anhänger auch eine allgemeine Betrachtung zur Bremswirkung im Zug ein, Bild 6. Grundlage ist die Deichselkraft, die bei Vorwärts- und Rückwärtsbremsung des Zugs entsteht. So bremst der auflaufgebremste gegenüber dem fremdkraftgebremsten Anhänger nur in der Ebene und im Gefälle. Die maximalen Massenquotienten dienen dazu, die Anpassung und die Bremskraftverteilung im landwirtschaftlichen Zug festzulegen. Wie groß sie für landwirtschaftliche Züge auf der Straße und im Gelände nach Meinung der Verfasser sein sollten, zeigt Tafel 3.

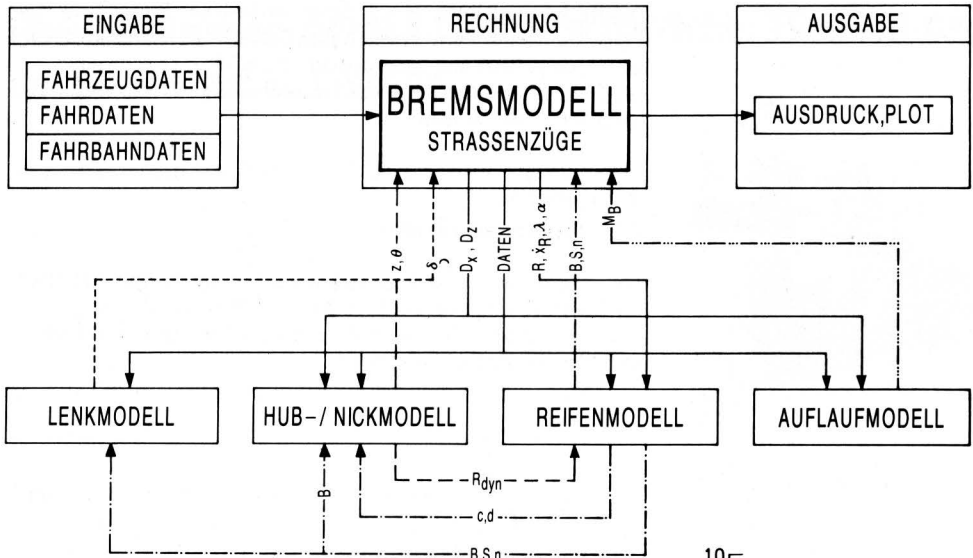


Bild 4. Bremsmodell.

Bewertungsbereich	Bewertungsgröße G_{ri}	Wichtefaktor F_i
Bremsverhalten	Eigenabbremungen der Fahrzeuge (Σ Radbremskräfte/Gewichtskraft)	0,2
	Summe der Gier- und Knickwinkel (Drehungen u. d. Fahrzeughochachsen)	0,2
Bremswirkung	Verlustweg (Fahrstrecke während der Verlustdauer [2])	0,2
	in Anspruch genommene Kraftschlußzahl Reifen/Straße	0,2
Schwingverhalten	maximale Zugverzögerung (Schwingungsspitze)	0,05
	maximaler Auflaufweg	0,05
	maximale Deichselkraft	0,05
	Extremwerte der Vertikalbeschleunigung (Maß für dynamische Radkraft)	0,05

Tafel 2. Bewertungsgrößen.

Der Massenquotient im Gelände hängt maßgeblich von der Neigung des Untergrunds und dem Kraftschluß zwischen Reifen und Boden ab. So beträgt für einen 6000 kg schweren Ackerschlepper auf einer trockenen, 25 % hängigen Wiese die maximale ungebremste Anhängelast 2100 kg.

4.3 Anpassungsbänder

Mit den Massenquotienten M_S können nun die Anpassungsbänder, Bild 7, für den Zugbetrieb errechnet werden. Die dimensionslose Darstellung des Bremsdrucks p_r hat den Vorteil, vom Druckniveau der hydraulischen und pneumatischen Bremsanlagen unabhängig zu sein. Sobald Normwerte festliegen, können die Bänder auf den jeweiligen Druckbereich leicht umgerechnet werden.

Die funktionalen Abhängigkeiten in dem Diagramm sind aus folgenden Eckwerten entstanden:

- im unteren Bereich aus der Rollwiderstandszahl von 0,04 für den Ackerschlepper und 0,015 für den Anhänger, aus der Anpressschwelle für auflaufgebremste Anhänger von 3 Prozent ihrer Gewichtskraft und aus einem Vergleich mit den Anpassungsbändern aus den internationalen Bremsvorschriften,

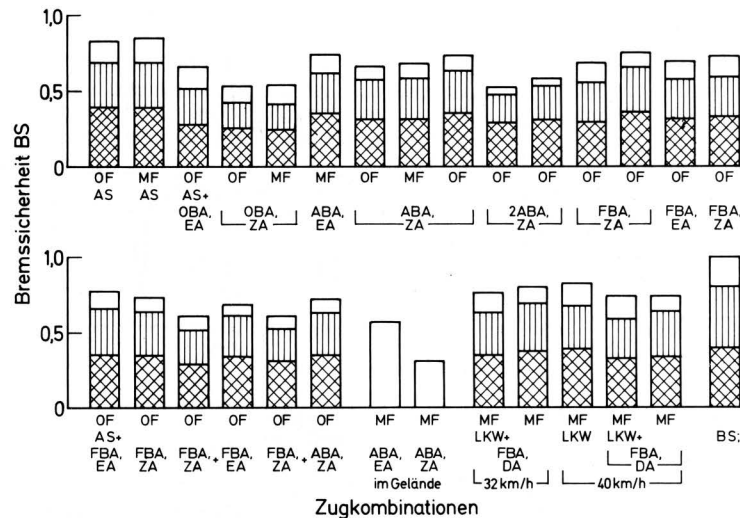


Bild 5. Brems sicherheitszahlen von Zugkombinationen.

BREMSWIRKUNG IM ZUG					
ANHÄNGER	EBENE	GEFÄLLE	STEIGUNG	AUSFALL AS	AUSFALL ANH
UNGBREMST	–	–	–	–	–
AUFLAUFGE BREMST	+	+	–	–	–
FREMDKRAFTGE BREMST	+	+	+	+	–

Bild 6. Bremswirkung im Zug.

- im oberen Bereich aus dem zulässigen Gütegrad z_r für fremdkraftgebremste Anhänger von 1,34, entsprechend einer Eigenabbremung z_1 des Schleppers von 0,60 bei einer Zugabbremung $z = 0,45$,
- die Eigenabbremungen z_2 der gebremsten Anhänger und die Zugabbremung beim Mitführen eines ungebremsten Anhängers sollen mindestens 0,45 betragen.

Eine Besonderheit gegenüber den in den Regelwerken [3] bekannten Anpassungsbändern fällt auf: die Eigenabbremungen z_1 und z_2 sind so aufeinander abgestimmt, daß nur Druckdeichselkräfte zwischen den Fahrzeugen auftreten. Begründung: der ungebremste und der auflaufgebremste Anhänger erzeugen in jedem Fall eine Druckkraft. Es ist daher naheliegend, wenn nicht sogar zwingend notwendig, den fremdkraftgebremsten Anhänger ebenfalls mit

MAXIMALER MASSENQUOTIENT $M_{S,max}$								
FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE ZÜGE AUF GRIFFIGER STRASSE, GESCHWINDIGKEIT 25 KM/H								
ZUG	OBA,EA	ABA,EA	ABA,ZA	FBA	2 FBA	FBA+OBA,EA	FBA+ABA,EA	FBA+ABA,ZA
$M_{S,max}$	0,50	1,90	1,30	5,50	2·2,75	2,75+0,50	2,75+1,90	2,75+1,30
$i_{F,min}$ ①	—	5,00	7,50	—	—	—	+ 5,00	+ 7,50
$z_{1,min}$ ①	0,44	0,40	0,35	0,35	0,35	0,38	0,37	0,35
$Pr_{1,min}$ ①	0,81	0,74	0,65	0,65	0,65	0,70	0,69	0,65

① bei $z = 0,30$

MAXIMALER MASSENQUOTIENT $M_{G,max}$						
FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE ZÜGE IM GELÄNDE						
ZUG	TROCKENE WIESE			NASSE WIESE		
	OBA,EA	ABA	FBA	OBA,EA	ABA	FBA
$M_{G,max}$	$M_{S,max} (1,0 \cdot 1,2q)$	$M_{S,max} (1,0 \cdot 1,7q)$	$M_{S,max} (1,0 \cdot 2,0q)$	$M_{S,max} (0,5 \cdot 1,2q)$	$M_{S,max} (0,5 \cdot 1,3q)$	$M_{S,max} (0,5 \cdot 1,4q)$

Tafel 3. Maximale Massenquotienten Straße – Gelände.

einer solchen Kraft zu betreiben, um eine optimale Auslegung der Bremsausrüstung von ziehendem und gezogenem Fahrzeug sicherzustellen. Der Anpassungsbereich ist für den unbeladenen Anhänger nach unten vergrößert worden, um den Einsatz handverstellbarer Bremskraftregler mit wenigen Stufen zu ermöglichen.

4.4 Bremskraftverteilung

Bezüglich der Verteilung der Bremskräfte zwischen den Achsen ist der Ackerschlepper aus brems technischer Sicht das schwierigste Fahrzeug, weil er nicht nur allein fahren kann, sondern auch ungebremste, auflaufgebremste oder fremdkraftgebremste Anhänger mitführen soll, ebenso Anhänger mit oder ohne Stützlast, im Ein- oder Zwei-Anhängerbetrieb und das auf der Straße und im Gelände. Wegen der Vielzahl der möglichen Einsatzfälle erschien es zweckmäßig, zunächst eine statistische Erhebung über wichtige Fahrzeugdaten wie z.B. die Achslasten, die Schwerpunkt lage oder die Lage der Anhängerkupplung durchzuführen. 85 Schlepper und 52 Anhänger bildeten einen repräsentativen Querschnitt der Fahrzeuge in Land- und Forstwirtschaft. Mit den ermittelten Daten konnten die Deichselkräfte an den Kuppelpunkten errechnet werden, die im Mittel auftreten. Sie stimmen gut mit den Ergebnissen aus den Bremsversuchen überein.

Zur Berechnung der Bremskraftverteilung benötigt man die aktuellen Achslasten während des Bremsvorgangs. Sie können nun für Ackerschlepper und Anhänger getrennt errechnet werden, indem in den bekannten Gleichungen zur Ermittlung der Achslastverlagerung deichselkraftbezogene Summanden angehängt werden [1].

Die Bilder 8 und 9 zeigen die Bremskraftverteilung für einen bestimmten Ackerschlepper mit auflaufgebremstem Anhänger. Die dick durchgezogene Linie ist die ideale Bremskraftverteilung. Sie besagt z.B., daß für eine Zugabbremmung von 0,45 eine Kraftschlußzahl von 0,52 vorhanden sein muß, wenn alle Räder des Schleppers an ihrer Kraftschlußgrenze bremsen. Legt man die zulässigen Kraftschlußzahlen aus [3] zugrunde, erhält man die beiden Grenzlinien, die von der installierten Verteilung nicht über-, aber auch nicht unterschritten werden dürfen. Danach darf sich der als Beispiel gewählte Ackerschlepper zwischen einer Bremskraftverteilung von 0,23 und 0,63 bewegen. Erst bei $\psi_1 \geq 0,84$ (also mit stark ballastierter Hinterachse) genügen Bremsen an den Hinterrädern.

Aus den theoretischen und praktischen Untersuchungen haben sich folgende Bremskraftverteilungen b_K für die Straßenfahrt bei einer Zugabbremmung von 0,3 ergeben:

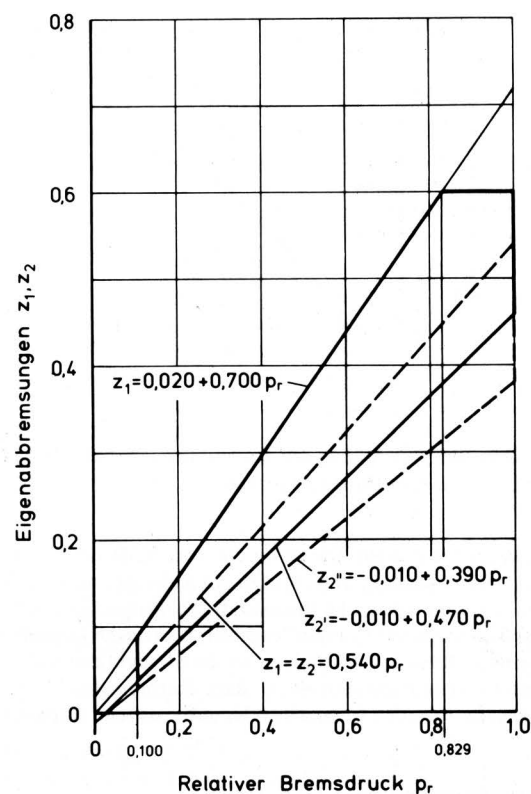


Bild 7. Anpassungsbänder.

$$\text{für den Schlepper } b_{K1} = -0,17 + 1,30 \psi_1$$

$$\text{für den Anhänger } b_{K2} = -0,22 + 1,40 \psi_2$$

Sie sind Mittelwerte aus den verschiedenen, möglichen Zugkombinationen und für überschlägige Annahmen geeignet. Die Verteilung für den Schlepper ist in den beiden letzten Bildern dünn gezeichnet.

Im bergigen Gelände sollte dagegen die Betriebsbremsanlage auf optimales Bremsverhalten in allen Betriebszuständen ausgelegt werden. Gewisse Einbußen in der Bremswirkung sollten hingenommen werden, weil der Bremsweg abseits des öffentlichen Verkehrs nicht die dominierende Bedeutung hat. So haben die Bremsversuche dort eine hohe Sicherheit ergeben, wo der Ackerschlepper mit eingeschalteten Differentialsperren an allen Rädern und der Anhänger wirksam an den Vorderrädern und schwach an den Hinter-

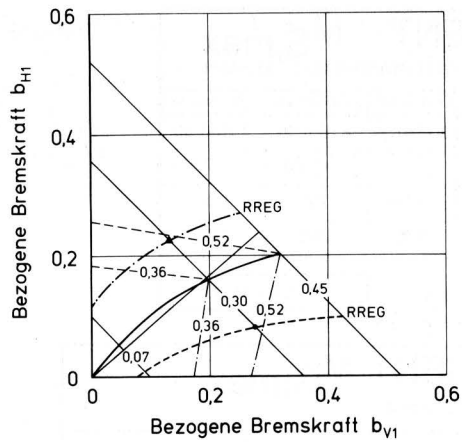


Bild 8. Bremskraftverteilung eines Ackerschleppers, der einen zweiachsigen, auflaufgebremsten Anhänger mitführt. $M = 1,3$; $\psi_1 = 0,58$.

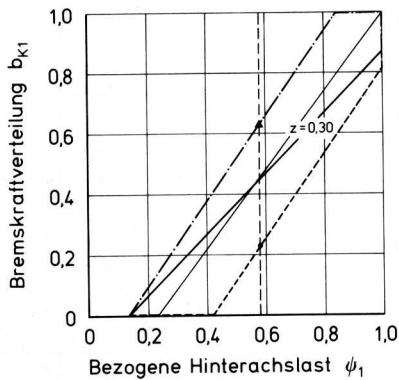


Bild 9. Bremskraftverteilung des Ackerschleppers nach Bild 8 als Funktion der bezogenen Hinterachslast.

rädern gebremst wurden. Die damit erreichte Kursstabilität kann noch gesteigert werden, wenn Reifen am Anhänger angebracht werden, die vorn eine große Bremskraft (Stollenprofil) und hinten eine große Seitenkraft (Längsrillenprofil) übertragen können. Die ausgewogene Bremskraftverteilung für die Straßenfahrt sollte im bergigen Gelände zugunsten einer "stark überbremsen" Vorderachse geändert werden (manuelle oder automatische Anpassung).

5. Zusammenfassung

Das Bremsverhalten und die Bremswirkung landwirtschaftlicher Fahrzeuge wurden unter betriebsüblichen Bedingungen an 19 verschiedenen Zugkombinationen untersucht, die das aktuelle Serienangebot repräsentieren. Zum Vergleich stand ein moderner Lastzug bereit. Die wichtigsten Bedingungen waren: Straßen- und Geländefahrt, leer und beladen, Teil- und Vollbremsung, verschiedene Bremskraftverteilungen. Die Ergebnisse der Bremsversuche wurden laufend in ein fzd-eigenes Bremsmodell für Simulationsrechnungen eingespeist. Als Endergebnis liegt eine Bremssicherheitszahl vor, die das Bremsverhalten, die Bremswirkung und das Schwingverhalten erfasst und bewertet.

Eine ausreichende Bremssicherheit landwirtschaftlicher Züge liegt dann vor, wenn bestimmte Massenquotienten nicht überschritten, die vorgeschlagenen Anpassungsbänder eingehalten, bei der Bremskraftverteilung die statischen Hinterachslasten, die Zugabbremmung und die Stützlast berücksichtigt werden und im bergigen Gelände am Anhänger die Vorderräder wesentlich mehr als die Hinterräder bremsen.

Verwendete Formelzeichen

B	N	Bremskraft am Rad
BS	—	Bremssicherheitszahl
b_{H1}	—	bezogene Bremskraft hinten (= Summe der Bremskräfte an den Hinterrädern des Zugfahrzeugs/Masse des Fahrzeugs x Fallbeschleunigung)
b_{K1}	—	Bremskraftverteilung am Zugfahrzeug (= $b_{H1}/(b_{V1} + b_{H1})$)
b_{V1}	—	bezogene Bremskraft vorn (= Summe der Bremskräfte an den Vorderrädern des Zugfahrzeugs/Masse des Fahrzeugs x Fallbeschleunigung)
F_i	—	Wichtefaktor
G_{ri}	—	Bewertungsgröße
g	m/s ²	Fallbeschleunigung (= 9,81 m/s ²)
i	—	Anzahl der Bewertungsgrößen
i_F	—	wirksame Kraftübersetzung der Auflaufbremsanlage (= Summe der Bremskräfte an den Rädern/Deichselkraft in Längsrichtung des Anhängers)
K_B	—	Bremsenkennzahl
K_{LF}	—	Zugkennzahl
M	—	Massenquotient der Anhänger- zur Zugfahrzeugmasse
m	kg	Masse des Fahrzeugs
p_{r1}	—	relativer Druck in der Bremsleitung zum Anhänger (= augenblicklicher Druck/Nenndruck)
q	%	Neigung
z	—	Zugabbremmung
z_T	—	Gütegrad
z_1	—	Eigenabbremmung des Zugfahrzeugs
z_2	—	Eigenabbremmung des Anhängers
ψ_1	—	bezogene Hinterachslast des Zugfahrzeugs (= statische Hinterachslast/Masse des Fahrzeugs x Fallbeschleunigung)

Indizes

G	Gelände
max	maximal
min	minimal
S	Straße
'	beladen
"	unbeladen
i	ideal

Abkürzungen

ABA	Auflaufbremsanlage
EA	einachsiger Anhänger
FBA	Fremdkraftbremsanlage
HA	Hinterachse
HBA	Hilfskraftbremsanlage
KE	Kipper mit einer Achse
KD1	Kipper mit Doppelachse
KD2	Kipper mit drei Achsen
KZ	Kipper mit zwei Achsen
LKW	Lastkraftwagen
LT	Ladewagen mit Tandemachse
MA	Mittelachse
MF	mit Aufbaufederung und -dämpfung
MBA	Muskelkraftbremsanlage
OBA	ohne Bremsanlage
OF	ohne Aufbaufederung und -dämpfung
RREG	EG-Ratsrichtlinie [3]
SE	Scheibenege mit einer Achse
STD	Standardschlepper
SYS	Systemschlepper
VA	Vorderachse
ZA	zweiachsiger Anhänger

Schrifttum

- [1] Hoffmann, H.J.: Über die Bremssicherheit landwirtschaftlicher Züge auf der Straße und im Gelände. Diss. TH Darmstadt (in Vorbereitung).

- [2] Simuttis, A. u. B. Breuer: Das Bremsverhalten schneller Ackerschlepper. Grndl. Landtechnik Bd. 33 (1983) Nr. 2, S. 35/40.
- [3] -: Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über die Bremsanlagen bestimmter Klassen von Kraftfahrzeugen und deren Anhänger (71/320/EWG), 1979.

Lastverlagerung und Bremskraftverteilung bei Einachs- und Doppelachsanhängern

Von Ben van Straelen, Wageningen, Niederlande*)

DK 631.372:631.373:62-592

Bei Fahrzeugkombinationen von Schlepper und Anhänger treten während des Bremsens große Veränderungen der Radlasten und der Stützkkräfte auf infolge der Lastverlagerung. In dieser Arbeit werden Gleichungen für diese Kräfte abgeleitet.

Die großen Unterschiede in der Radbelastung bei Doppelachsanhängern sind der Grund dafür, die Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterrädern zu verändern, d.h. von der in der Praxis üblichen 1 : 1-Verteilung abzuweichen.

1. Einleitung

Einachs- und Doppelachsanhänger erfahren im Landbau eine vielfältige Verwendung. Der Vorteil dieser Anhängertypen gegenüber zweiachsigen Anhängern ist die Lastübertragung auf den Schlepper. Die sich hieraus ergebende Erhöhung der Hinterachsbelastung des Schleppers wirkt sich in einer bedeutenden Zunahme der Zugkraft aus, die der Schlepper auf den Boden übertragen kann.

Bei einer Fahrzeugkombination, die aus einem Schlepper und angekoppeltem Einachs- oder Doppelachsanhänger besteht, treten während des Bremsens große Veränderungen der Radlasten und der Stützkkräfte auf. Das hat wichtige Folgen für die Konstruktion und das Verhalten der Fahrzeugkombination. Einerseits kommt schon die statische Stützkraft auf den Schlepper bei schweren Anhängern dem zulässigen Wert nahe; als Folge der Lastübertragung während des Bremsvorganges kann diese Stützkraft noch stark zunehmen. Andererseits treten bei Doppelachsanhängern der heutigen Konstruktion zwischen Vorder- und Hinterrädern große Unterschiede in den Radlasten auf, so daß der Bremskraftverteilung zwischen diesen Rädern besondere Aufmerksamkeit zukommt. Hieraus ergibt sich die Problemstellung für den vorliegenden Artikel.

Kutzbach u. Sy [1] führten Messungen der drei dynamischen Kräfte an der Kuppelstelle zwischen Schlepper und Anhänger durch. Sagi e.a. [2, 3] bestimmten in ihren theoretischen Untersuchungen den Masseneinfluß von Schlepper und zweiachsigen Anhänger auf das Bremsverhalten dieser Fahrzeugkombination. Außerdem untersuchten Sagi e.a. [4] die dynamische Stützkraft von Einachsanhängern auf einer geraden und abschüssigen Fahrbahn. Schließlich ist noch auf die Untersuchung von Simuttis u. Breuer [5] hinzuweisen, die das Verhalten schneller Schlepper während der Bremsung zum Gegenstand hat.

*) Ir. B. van Straelen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechnik, Arbeit und Gebäude (I.M.A.G.), Wageningen, Niederlande.

2. Die Stützkraft und die Radlast bei Einachsanhängern

Aus dem Momentgleichgewicht um den Schwerpunkt Z, Bild 1, folgt:

$$\Delta G_V l_1 + \Delta G_H l_2 = R h_Z + H h_1 .$$

Die Zunahme der Stützkraft ist gleich der Abnahme der Achsbelastung des Anhängers. Mit $\Delta G_V = \Delta G_H$ und $l = l_1 + l_2$ folgt:

$$\Delta G_V l = R h_Z + H h_1 .$$

Wir vernachlässigen hier den Rollwiderstand, der auf dem befestigten Weg sehr viel kleiner ist als die Bremskraft. Nach dem Gesetz von Newton gilt:

$$R + H = m_{\text{anh}} a \quad \text{mit } m_{\text{anh}} = G_{\text{anh}}/g .$$

Die Elimination von R aus obigen Gleichungen ergibt mit $h_2 = h_Z - h$ für die Zunahme der Stützkraft bzw. für die Abnahme der Achsbelastung

$$\Delta G_V = \Delta G_H = m_{\text{anh}} \frac{h_Z}{l} a - H \frac{h_2}{l} \quad (1).$$

Die Art und Weise, wie die Fahrzeugkombination gebremst wird, d.h. wie die Anhängerbremse und die Schlepperbremsen aufeinander abgestimmt sind, bestimmt die Richtung der Kraft H und, zusammen mit der Bremsverzögerung und einigen Fahrzeugabmessungen, ihre Größe.

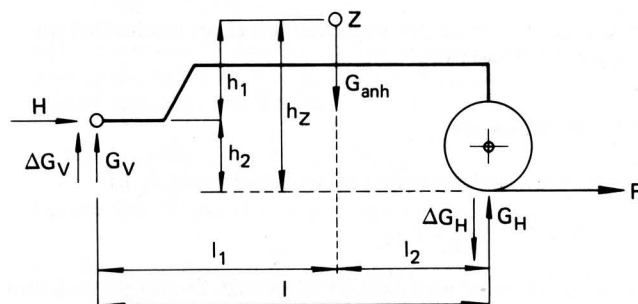


Bild 1. Die Kräfte auf einen Einachsanhänger beim Bremsen.