

Dynamische Belastungen von Schlepper-Anhängekupplungen durch Einachs- bzw. Doppelachsanhänger hoher Nutzmasse

Von Heinz Dieter Kutzbach und Can Nguyen Sy,
Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 631,372:629.11.013:531.782

Einachsanhänger bzw. Doppelachsanhänger hoher Nutzmasse sind vor allem bei kurzen Feldentfernungen ein Transportmittel mit hoher Schlagkraft. Durch die vom Anhänger auf den Schlepper wirkende Stützkraft kann außerdem eine größere Zugkraft auf den Boden übertragen werden. Die Kupplungseinrichtungen zwischen Anhänger und Schlepper werden jedoch durch die Stützkraft zusätzlich beansprucht. Über die Höhe der dynamischen Belastungen der Kupplungseinrichtungen durch Einachs- bzw. Doppelachsanhänger hoher Nutzmasse bei verschiedenen Fahrzuständen wird in dieser Arbeit berichtet.

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Der Übergang zu Erntemaschinen mit höheren Ernteleistungen erfordert eine entsprechende Anpassung der Transportkapazität, um Stillstandzeiten der kostenintensiven Erntemaschinen zu vermeiden. Einzelne Transporteinheiten mit hoher Nutzmasse sind dabei aus wirtschaftlicher Sicht mehreren Transporteinheiten mit jeweils geringer Nutzmasse überlegen [1 bis 4], stellen aber höhere Anforderungen an Zugmaschinen und Fahrbahnen. Weitere Vorteile ergeben sich, wenn die Anhänger mit Kippeinrichtungen ausgerüstet sind, so daß ein zügiges Abladen an den Abgabestellen, bei der Getreideernte beispielsweise am Lagerraum bzw. am

Die Versuchsfahrzeuge wurden freundlicherweise von den Firmen IHC, John Deere, Rohr bzw. vom Versuchshof der Universität Hohenheim bereitgestellt, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

**) Prof. Dr.-Ing. H.D. Kutzbach ist Inhaber des Lehrstuhls Grundlagen der Landtechnik am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Dipl.-Ing. Can Nguyen Sy ist wiss. Mitarbeiter des Sonderforschungsbereichs 140 am gleichen Institut.*

Trockner, möglich ist. Im Vergleich zum Zweiachsanhänger bieten Einachsanhänger bzw. Doppelachsanhänger zusätzliche Vorteile durch ihre bessere Manövrierfähigkeit und die teilweise Abstützung der Anhängermasse auf dem Schlepper, wodurch die Zugfähigkeit des Schleppers erhöht und der Fahrwiderstand des Anhängers verringert wird.

Während in Frankreich Einachs- bzw. Doppelachsanhänger mit hoher Nutzmasse bereits verstärkt im Einsatz sind, führen sich diese Transportmittel in der Bundesrepublik nur zögernd ein. Wegen der im Durchschnitt größeren Feldentfernungen und kleineren Schlaggrößen wird in Deutschland noch häufig der Standbetrieb, d.h. Überladen von der Erntemaschine auf den am Feldrand abgestellten Zweiachsanhänger angewendet, der als gebrauchter Lkw-Anhänger relativ preisgünstig ist.

Durch die Stützkraft des Einachsanhängers wird die Vorderachse des Schleppers entlastet. Um eine weitere Entlastung aufgrund von Zugkräften gering zu halten, wird die Kupplungseinrichtung möglichst tief am Schlepper, d.h. unterhalb der Zapfwelle angebracht. Für die Gestaltung dieser Untenanhängung hat sich noch keine einheitliche Lösung durchgesetzt. Neben dem tief am Schlepper angebrachten Zugmaul oder Zughaken werden kraftbetätigte Hubhaken verwendet, die durch den Kraftheber angehoben und dann mechanisch verriegelt werden, so daß der Kupplungsvorgang besonders einfach abläuft. Die Kupplungen werden in den einzelnen EG-Ländern nach unterschiedlichen Richtlinien geprüft; an einer Harmonisierung wird jedoch zur Zeit gearbeitet.

Da die letzten bekannten Messungen an landwirtschaftlichen Einachsanhängern [5, 6, 7] nur bis zu einer zulässigen Gesamtmasse von 3,8 t in Obenanhängung durchgeführt wurden, sollten im Rahmen des SFB 140 die dynamischen Belastungen der Kupplungseinrichtungen für größere Einachs- bzw. Doppelachsanhänger bis 16 t Gesamtmasse bei Verwendung entsprechender Schlepper gemessen werden. Insbesondere waren die Einflüsse von Fahrgeschwindigkeit und Fahrbahnbeschaffenheit auf die dynamischen Belastungen zu ermitteln und die Unterschiede in den Belastungen bei Oben- bzw. Untenanhängung zu untersuchen.

2. Kräfte am Einachsanhänger

Bevor auf die dynamischen Belastungen der Kupplungseinrichtungen eingegangen wird, soll kurz die Kräfteverteilung am Einachsanhänger in Erinnerung gebracht werden. Die am fahrenden Anhänger angreifenden Kräfte sind in **Bild 1** dargestellt. Es sind dies, neben der Querkraft F_Q , die Längskraft F_L und die Stützkraft F_S an der Deichsel; der Fahrwiderstand F_W und die Achslast F_A am Rad; das Gewicht F_G und eine Beschleunigungs- bzw. Verzögerungskraft F_B am Schwerpunkt.

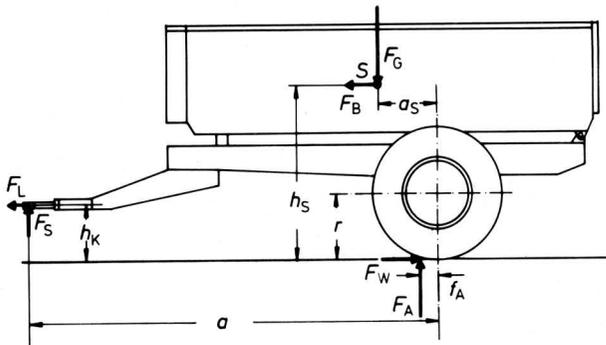


Bild 1. Kräfte am Einachsanhänger.

Das Momentengleichgewicht um den Radaufstandspunkt führt mit

$$f_A = \rho r \text{ und } F_W = \rho F_A = \rho (F_G - F_S) \text{ zu:}$$

$$F_S = \frac{1}{a} (F_G a_S + F_L h_K - F_W r + F_B h_S) \quad (1),$$

$$\text{mit } F_L = F_W - F_B \quad (2)$$

wird daraus

$$F_S = \frac{1}{a} [F_G a_S + F_W (h_K - r) + F_B (h_S - h_K)] \quad (3).$$

Der Fahrwiderstand F_W wirkt sich also um so stärker auf eine Erhöhung der Stützkraft aus, je höher die Anhängerkupplung über dem Radmittelpunkt liegt. Ist bei einer Untenanhängung die Kupplung tiefer als der Mittelpunkt des Anhängerrades angeordnet, führen die Fahrwiderstände zu einer Stützkraftverminderung.

Beschleunigungsvorgänge führen wegen der dann negativ einzusetzenden Beschleunigungskraft F_B zu einer Verminderung, Bremsvorgänge des Schleppers zu einer Erhöhung der Stützkraft. Dieser Einfluß wächst mit der Höhe des Schwerpunktes über der Kupplung und wirkt sich deswegen bei der Untenanhängung stärker als bei der Obenanhängung aus.

Eine weitere Erhöhung der Stützkraft tritt bei Anhängern mit eigener Bremsanlage dadurch auf, daß die Verzögerungskraft F_B am Boden abgestützt und die Längskraft bei guter Einstellung der Bremsanlage nahezu Null wird. Aus Gl. (1) ist zu ersehen, daß in diesem Fall die Stützkraft unabhängig von der Kupplungshöhe ist. Abgesehen vom Bremsen werden die wesentlichen dynamischen Belastungen der Kupplungen von vertikalen Schwingungen des Schleppers und Anhängers verursacht, die durch Fahrbahnebenheiten angeregt werden. Über die Höhe dieser dynamischen Belastungen geben die durchgeführten Messungen Aufschluß, über die im folgenden berichtet wird.

3. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

3.1 Versuchsfahrzeuge und Fahrbahnen

Die wichtigsten technischen Daten der eingesetzten Versuchsfahrzeuge sind in **Tafel 1** angegeben. Die Versuche wurden vorwiegend auf einem Schotterfeldweg und einem schlechten, asphaltierten

Feldweg mit vielen Aufbrüchen durchgeführt. Die Wegenebenheiten wurden ausgemessen und die spektrale Dichte der Wegenebenheiten nach [8] errechnet. Entsprechend der von *Wendeborn* [9] angegebenen Einteilung der landwirtschaftlichen Fahrbahnen aufgrund der spektralen Dichte ihrer Wegenebenheiten sind beide Fahrbahnen der Gruppe der schlechten Feldwege zuzuordnen. Weitere Versuche wurden auf Stoppelfeldern, mittelguten Feldwegen und auf öffentlichen Straßen durchgeführt.

a) Schlepper

Fabrikat	John Deere 3130 65,5 kW	IHC 946 A 66 kW	IHC 955 A 66 kW	MB-Trac 1300 92 kW
Bereifung vorn	7.50–20	12.4–24	12.4–28	18.4–30
Bereifung hinten	16.9–38	18.4–34	16.9–38	18.4–30
zul. Gesamtmasse	kg 6000	6000	6000	10000
Gesamtmasse	kg 4650	4950	5050	6230
Anhängungs- höhe	oben mm 920	930	990	780
	unten mm –	510	–	–

b) Anhänger

Fabrikat	Rohr	Unsinn UWK 16 T/S
zul. Gesamtmasse	kg 8000	16000
Stützmasse	kg 1000	1000
Leermasse	kg 2570	5320
Bereifung	46 x 16 (4 bar)	18–22,5 (7,6 bar)
Achse	Einzelachse ungefedert	Doppelachse gefedert
Bremse	Auflaufbremse	Druckluftbremse

Tafel 1. Daten der Versuchsfahrzeuge.

3.2 Meßgeber für Deichselkräfte

Die Deichselkräfte wurden mit einer Meßkupplung gemessen, die anstelle der serienmäßigen Kupplung angebaut werden kann. Die Meßkupplung, **Bild 2**, besteht aus dem eigentlichen Meßbolzen, der Anschraubplatte und einem Kupplungsmaul mit den Funktionsmaßen nach DIN 11025. Der Meßbolzen aus vergütetem Stahl (30 CrNiMo 8) ist mit 3 unabhängigen Dehnungsmeßstreifen-Vollbrücken (DMS) für Längskraft, Stützkraft und Querkraft beklebt. Da sich bei Spiel der Abstand zwischen den DMS und der Auflagefläche der Zugöse im Kupplungsmaul ändert, dieser Abstand aber in den Meßwert eingeht und deswegen konstant bleiben muß, wurde das Kupplungsmaul mit Schneiden zur Fixierung der Zugöse versehen.

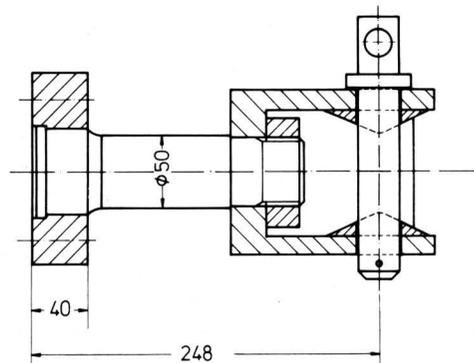


Bild 2. Meßkupplung.

Die Abweichungen von der Linearität der einzelnen Meßstellen sind kleiner als 2 %, die gegenseitige Beeinflussung der Meßstellen beträgt maximal 5 %, ist im allgemeinen aber kleiner als 3 %. Die relativ kurze Baulänge ermöglicht eine Anbringung der Meßkuppung im gleichen Abstand von der Hinterachse wie bei der Seriencouplung. Über eine Zwischenplatte kann die Meßkuppung auch in Untenanhängung montiert werden.

3.3 Durchführung der Messungen und Auswertung

Die 60 m langen Meßstrecken wurden in jeder Richtung 2 mal befahren und die Meßwerte auf einem Analogbandgerät gespeichert. Die Auswertung hinsichtlich der Mittelwerte erfolgte mit einem elektronischen Mittelwertintegrator; die Spitzenwerte wurden aus Meßschrieben entnommen. Ein Großteil der Versuche wurde außerdem nach dem Verweildauerverfahren mit einer Abfragerate von 50 Hz und nach dem Klassendurchgangsverfahren klassiert. Der in den folgenden Diagrammen als Spitzenwert bezeichnete Wert entspricht im Lastkollektiv dem 1 %-Häufigkeits-Wert. Er repräsentiert je nach Fahrgeschwindigkeit die 2 bis 4 höchsten registrierten Spitzen. Zur Bestimmung der Stoßfaktoren wurden die Spitzenwerte der Stützkraft auf die statische Stützkraft bezogen.

4. Einflüsse auf die Höhe der dynamischen Belastungen

4.1 Fahrbahn

Der Einfluß der Fahrbahn soll anhand von Lastkollektiven für die Stützkraft gezeigt werden. Bild 3 gibt drei typische Lastkollektive an für das Befahren eines Schotterfeldweges, eines schlechten, asphaltierten Feldweges und eines Stoppfeldes. Der Schotterfeldweg und der asphaltierte Feldweg konnten bis 20 km/h, das Stoppfeld nicht schneller als 10 km/h befahren werden, so daß die gemessenen Lastkollektive als Grenzkurven für die dynamischen Stützkraft beim Befahren der genannten Fahrbahnen mit 8 t-Einachsanhänger bei Untenanhängung und einer statischen Stützlast von 8,63 kN angesehen werden können. Die höchsten Spitzenwerte treten bei schlechten, asphaltierten Feldwegen auf. Die Mittelwerte der Stützkraft weichen wegen unterschiedlichen Rollwiderstands und unterschiedlicher Fahrbahnneigung geringfügig voneinander ab. Die Neigung der Fahrbahn hat auf die Schwingbreite der dynamischen Belastungen keinen Einfluß. Die Mittelwerte der Längskraft und der Stützkraft ändern sich jedoch mit der Fahrbahnneigung. Sie lassen sich nach Gl. (1) und (3) berechnen, indem $F_G \cos \alpha$ anstelle von F_G und $F_B \pm F_G \sin \alpha$ anstelle von F_B eingesetzt wird.

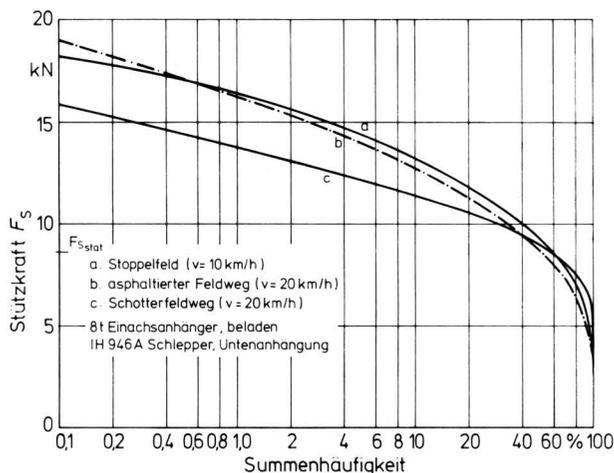


Bild 3. Lastkollektiv der Stützkraft auf verschiedenen Fahrbahnen.

4.2 Fahrgeschwindigkeit

Durch höhere Fahrgeschwindigkeiten wird bei gleichen Fahrbahnen die Frequenz der Anregungen zu höheren Werten verschoben. Sie führen zu größeren Beschleunigungen und damit zu größeren Massenkräften, besonders wenn im Resonanzfall die Frequenz der Anregungen mit der Eigenfrequenz des Anhängers übereinstimmt. Bild 4 zeigt Stützkraft und Längskräfte für den 8 t- und den 16 t-Anhänger. Beim 16 t-Anhänger sind wegen der Doppelachse mit Achslastausgleich, der Federung der Achsen mit Blattfedern und der Federung der Deichsel über Gummielemente Stützkraft und Längskraft im gemessenen Geschwindigkeitsbereich von 10 bis 20 km/h nur wenig von der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Die Spitzenwerte der Stützkraft liegen wegen der großen Massen wesentlich höher als beim 8 t-Anhänger, obwohl beide Anhänger die gleiche statische Stützlast haben. Die Längskraftmittelwerte sind sehr niedrig; es wird nur die gleiche Zugkraft wie beim 8 t-Anhänger benötigt. Bei dem ungefederten 8 t-Einachsanhänger hat die Fahrgeschwindigkeit einen deutlichen Einfluß auf Längskraft und Stützkraft, Bild 4. Bei Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 6 auf 20 km/h steigen die Spitzenwerte der Stützkraft von 11,0 auf 14,6 kN und der Längskraft von 8,2 auf 10,6 kN. Die Stützkraft-Stoßfaktoren für die beladenen und unbeladenen Anhänger sind in Tafel 2 zusammengestellt.

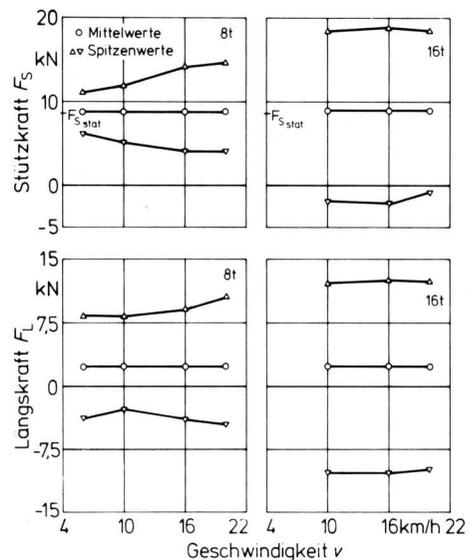


Bild 4. Deichselkräfte in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit (Anhänger beladen, Obenanhängung, schlechter asphaltierter Feldweg).

Anhänger	stat. Stützkraft $F_{S \text{ stat.}}$ kN	Fahrgeschw. v km/h	Stoßfaktor k $F_S / F_{S \text{ stat.}}$
8 t, leer	2,45	6–16	1,6–3,2
8 t, beladen	8,63	6–20	1,3–1,9
16 t, leer	2,35	10–20	2,0–3,5
16 t, beladen	8,80	10–20	2,0–2,2

Tafel 2. Stoßfaktoren der Stützkraft (asphaltierter Feldweg, Obenanhängung).

Deichsel-Querkräfte werden im wesentlichen durch einseitiges Überrollen von Unebenheiten hervorgerufen. Ihr Mittelwert beträgt bei Fahrt auf gerader Strecke Null; die Spitzenwerte werden mit zunehmender Geschwindigkeit größer, sie sind jedoch mit Werten von annähernd 5,5 kN gering.

4.3 Beladung

Bei gleicher Fahrgeschwindigkeit nehmen die Spitzenwerte der Stütz- und Längskraft mit zunehmender Beladung zu. Durch die größere Masse des beladenen Anhängers und das dadurch veränderte Schwingungsverhalten und durch die auf den beladenen Anhänger abgestimmte Deichselfederung sind die Stoßfaktoren der Stützkraft jedoch bei größerer Beladung kleiner.

4.4 Oben-Untenanhängung

Da die wesentlichen dynamischen Belastungen aus vertikalen Schwingungen und nur zum kleinen Teil aus dynamischen Zugkraftänderungen bzw. Längsschwingungen herrühren, wirkt sich die Anbringungshöhe der Kupplung bei Fahrt auf ebenen Strecken kaum auf die dynamischen Stützkraften aus. Der Vergleich der in Bild 5 dargestellten Meßergebnisse für den Schlepper IH 946 A mit dem 8 t-Einachsanhänger bestätigt, daß in den dynamischen Belastungen kaum Unterschiede zwischen Oben- und Untenanhängung auftreten.

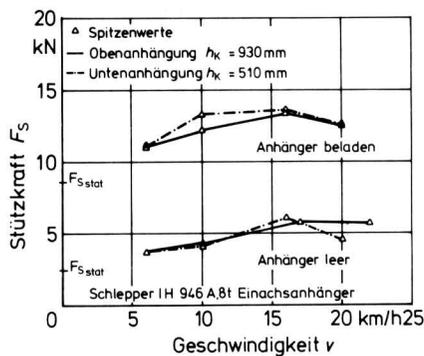


Bild 5. Einfluß der Kupplungshöhe auf die Stützkraft (Schotterfeldweg).

4.5 Bremsen und Wenden

Beim Bremsen und Anfahren wird der Mittelwert von Stütz- und Längskräften ganz wesentlich verändert, wie schon in Abschnitt 2 beschrieben wurde. Während die Verminderung der Stützkraft beim Anfahren hinsichtlich der Beanspruchung der Kupplungseinrichtung unkritisch ist, treten beim Bremsen ganz wesentliche Stützkraftspitzen auf. Bei Vollbremsungen wurden für den beladenen 8 t-Einachsanhänger Stützkraftspitzenwerte bis 22 kN entsprechend einem Stoßfaktor von 2,5 und für den beladenen 16 t-Anhänger bis 19 kN entsprechend einem Stoßfaktor von 2,2 gemessen. Zu Beginn des Bremsvorganges können erhebliche Längsschwingungen zwischen Anhänger und Schlepper auftreten. Es wurden beim 8 t-Anhänger mit Auflaufbremse Längskraftspitzenwerte in Aufrichtung bis zu 13 kN, beim 16 t-Anhänger mit Druckluftbremse bis zu 8,4 kN gemessen.

Beim Wenden treten beim Einachsanhänger nur geringe Querkräfte auf; beim Doppelachsanhänger mit nichtgelenkten Achsen hingegen wurden beim Wenden auf Beton (Radius 12 m, Fahrgeschwindigkeit 10 km/h) Querkraftspitzenwerte von 11 kN bei Mittelwerten von 7,3 kN gemessen. Diese Werte liegen jedoch unter den Belastungen in Längs- bzw. Stützrichtung.

4.6 Konstruktive Einzelheiten

Neben den bisher beschriebenen Einflußgrößen wurden an den zur Verfügung stehenden Fahrzeugen einige konstruktive Einzelheiten untersucht, um zumindest tendenziell deren Einfluß auf die dynamischen Belastungen zu erfassen.

Die Deichselfederung beim 8 t-Anhänger besteht aus 2 parallel liegenden Schraubenfedern, die die Deichsel gegen den Rahmen abfedern. Außer der Lagerreibung ist keine Dämpfung vorhanden.

Die Federn konnten für Versuche blockiert werden, so daß ein direkter Vergleich der dynamischen Belastungen mit bzw. ohne Deichselfederung möglich ist. Wegen der fehlenden Dämpfung sind beim leeren Anhänger die Spitzenwerte mit Deichselfederung größer als ohne Deichselfederung. Ihre Wirksamkeit zeigt die Feder beim beladenen Anhänger, bei dem durch die Feder eine Verminderung der Stoßfaktoren um ca. 10 % erreicht wird.

Das Schwingungsverhalten von Schlepper und Anhänger wird durch die Reifendaten und die Massenverteilung der Fahrzeuge bestimmt, so daß beide Parameter Einfluß auf die dynamischen Stützkraften haben.

Der Einfluß des Reifeninnendrucks auf die Stützkraftspitzenwerte ist in Bild 6 dargestellt. Es sind jeweils die Stoßfaktoren bei Nenn- und bei 20 % niedrigerem bzw. höherem Reifeninnendruck aufgetragen. Während der Einfluß bei beladenem Anhänger gering ist, können bei leerem Anhänger und falschen Reifeninnendrücken erheblich höhere Stoßfaktoren auftreten.

Ein größeres Massenträgheitsmoment des Schleppers beispielsweise aufgrund von Frontgewichten führte zu geringfügig höheren Stützkraftspitzenwerten, Bild 7.

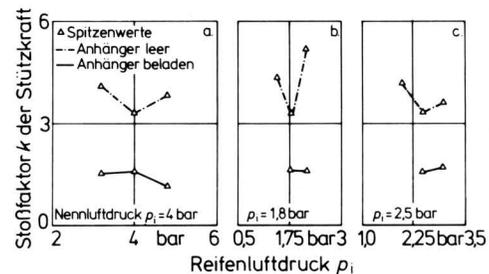


Bild 6. Stoßfaktoren der Stützkraft in Abhängigkeit vom Reifenluftdruck (John Deere 3130 mit 8 t-Einachsanhänger, Obenanhängung, mittelguter Feldweg, $v = 16,5$ km/h).

a Anhängerräder b Schlepperhinterräder c Schleppervorderräder

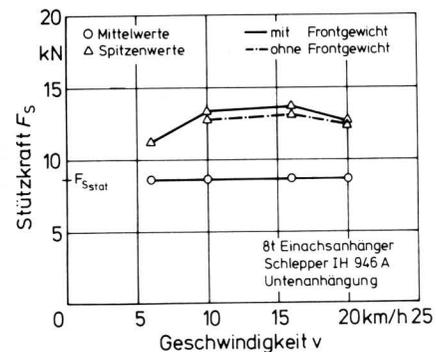


Bild 7. Einfluß des Schlepperfrontgewichtes auf die Stützkraft (Schotterfeldweg).

5. Auf den D-Wert bezogene dynamische Belastungen

Zur Prüfung der Betriebssicherheit von Fahrzeugverbindungsstellen wird in der StVZO der D-Wert als Kenngröße verwendet. Der D-Wert wird aus der zulässigen Gesamtmasse von Zugmaschine m_K und Anhänger m_A berechnet:

$$D = g \frac{m_K m_A}{m_K + m_A} \quad (4)$$

Zur Einordnung der Meßergebnisse wurden die gemessenen dynamischen Belastungen auf den mit der zulässigen Gesamtmasse der verwendeten Fahrzeuge berechneten D-Wert bezogen.

Die während aller Versuche ermittelten maximalen Spitzenwerte wurden in **Bild 8** zusammen mit Meßergebnissen nach *Coenberg* [6] eingetragen. Es ist deutlich zu erkennen, daß die schon von *Bode* [5] für kleinere Fahrzeuge angedeutete Tendenz auch für größere Fahrzeuge zutrifft. Die in Bild 8 dargestellten Ergebnisse zeigen, daß mit schwererem Schlepper und größerem Anhänger die auf den D-Wert bezogene Schwingbreite kleiner wird, d.h. die auf den jeweiligen D-Wert bezogene dynamische Belastung ist beim 16 t-Doppelachsanhänger kleiner als beim 8 t-Einachsanhänger. Für die Prüfung von Kupplungsteilen bedeutet das, daß die heute üblichen Prüfverfahren auch für Anhänger großer Nutzmasse und auch für Kupplungen in Untenanhängung beibehalten werden können. Die Sicherheitsreserven für Beanspruchungen in Längsrichtung sind höher als die für Stützkkräfte. Allerdings wird auch die Sicherheitsreserve für Beanspruchung in Längsrichtung geringer, wenn auf größere Fahrzeuge übergegangen wird, da für die Prüfung von Kupplungen unabhängig vom benutzten Fahrzeug jeweils die für Transporteinheiten zulässige Gesamtmasse von 38 t eingesetzt wird.

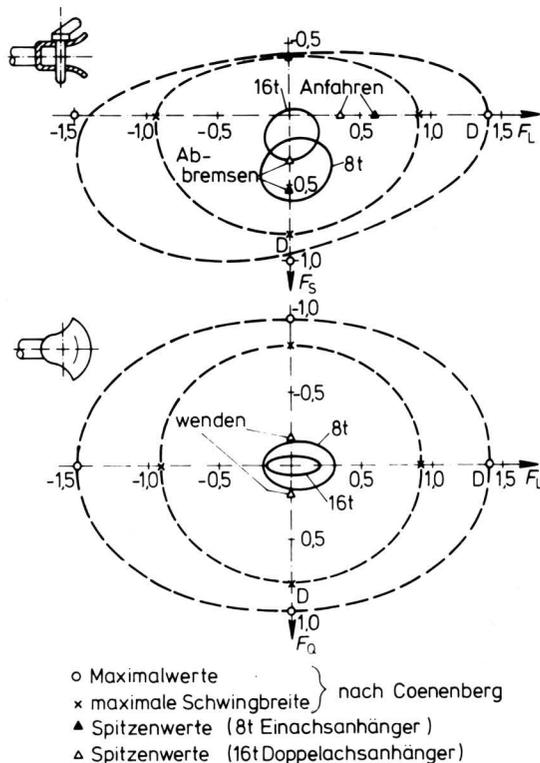


Bild 8. Vergleich der auf den D-Wert bezogenen Deichselkräfte nach *Coenberg* [6] mit eigenen Messungen.

6. Zusammenfassung

Es wurden an einem 8 t-Einachsanhänger und einem 16 t-Doppelachsanhänger mit entsprechenden Zugmaschinen Messungen der dynamischen Belastungen der Kupplungseinrichtung durchgeführt. Mit einer Meßkupplung wurden die Stütz-, Längs- und Querkkräfte bei Fahrt auf schlechten landwirtschaftlichen Wegstrecken bei ausgewählten Fahrzuständen gemessen, die Meßwerte auf Magnetband gespeichert und klassiert. Die Einflüsse von Fahrgeschwindigkeit, Beladung, Bremsvorgängen und konstruktiven Einzelheiten werden anhand verschiedener Tafeln und Bilder erläutert.

Die Belastungen bei Oben- bzw. Untenanhängung unterscheiden sich nur sehr wenig, d.h. die für die Obenanhängung bewährten Prüfverfahren lassen sich auch für die Untenanhängung anwenden. Die dynamischen Belastungen bei Fahrzeugen großer Nutzmasse, bezogen auf den tatsächlichen D-Wert, $D = g \cdot m_K \cdot m_A / (m_K + m_A)$, sind geringer als die bei Fahrzeugen kleiner Masse. Auch unter die-

sem Gesichtspunkt können die Prüfverfahren beibehalten werden. Es ist allerdings zu beachten, daß die heutigen Prüfverfahren von einer zulässigen Gesamtmasse von 38 t für den gesamten Fahrzeugzug ausgehen. Mit im Durchschnitt steigender Anhänger Masse werden die heute vorhandenen hohen Sicherheitsreserven geringer.

Die Spitzenwerte der Stützkraft sind relativ hoch; sie nehmen mit steigender Anhänger Masse weiter zu. Da heute in der Bundesrepublik die Prüfung mit der vom Hersteller angegebenen statischen Stützkraft durchgeführt wird, ist die Sicherheit gegen Ausfall durch Stützkkräfte geringer als die Sicherheit gegen Ausfall durch Längskräfte.

Verwendete Formelzeichen

D	N	D-Wert
F _A	N	Achslast
F _B	N	Verzögerungskraft
F _G	N	Gewicht
F _L	N	Längskraft in der Kupplung
F _S	N	Stützkraft in der Kupplung
F _Q	N	Querkraft in der Kupplung
F _W	N	Rollwiderstandskraft
a	m	Abstand Zugöse/Anhängerachse
a _S	m	Abstand Schwerpunkt/Anhängerachse
f _A	m	Hebelarm der Rollreibung
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
h _K	m	Kupplungshöhe
h _S	m	Schwerpunkthöhe
m _K	kg	zulässige Gesamtmasse des Zugfahrzeugs
m _A	kg	zulässige Gesamtmasse des Anhängers
r	m	stat. Halbmesser des Anhängerreifen
α		Winkel für Fahrbahnsteigung
ρ		Rollwiderstandsbeiwert

Schrifttum

- [1] *Fatehi, D.*: Prozeßgerechte Gestaltung von Ernteguttransporten in der Landwirtschaft. Diss. Hohenheim 1975.
- [2] *Segler, G.*: Entwicklungstendenzen in der landwirtschaftlichen Transporttechnik. *Grundl. Landtechnik* Bd. 22 (1972) Nr. 4, S. 97/101.
- [3] *Keller, N.*: Einsatzmöglichkeiten und Kosten ausgewählter Transportverfahren für die Ernte von Körnerfrüchten. *Grundl. Landtechnik* Bd. 27 (1977) Nr. 4, S. 133/38.
- [4] *Neuber, E. u. A. Bunk*: Einachsanhänger – pro und kontra. *Mitteilungen der DLG* Bd. 91 (1976) H. 10, S. 560/67.
- [5] *Bode, O., H. Meyer u. R.W. Heinemann*: Kräfte in Einrichtungen zur Verbindung von Kraftfahrzeugen mit Einachsanhängern bis zu 20 km/h Höchstgeschwindigkeit. *Deutsche Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik* (1960) Heft 140.
- [6] *Coenberg, H.H.*: Dynamische Beanspruchungen bei Ackerschleppern II. *Landtechn. Forschung* Bd. 12 (1962) H. 2, S. 33/39.
- [7] *Radaj, D.*: Deichselkräfte und Achslänglenker-Momente bei einem Einachsanhänger. *Automobiltechnische Zeitschrift* Bd. 70 (1968) H. 1, S. 12/13.
- [8] *Rifai, H.*: Beitrag zur technischen Prüfung von landwirtschaftlichen Einachsanhängern. *Berichte über Landtechnik (KTL)* Nr. 93, 1965.
- [9] *Wendeborn, J.O.*: Die Unebenheiten landwirtschaftlicher Fahrbahnen als Schwingungserreger landwirtschaftlicher Fahrzeuge. *Grundl. Landtechnik* Bd. 15 (1965) Nr. 2, S. 33/46.