

Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT
UND FACHGEMEINSCHAFT LANDMASCHINEN IM VDMA

Heft 1

MÜNCHEN

11. JAHRGANG

Heinrich Dupuis:

Untersuchungen an mechanischen Lenkungen und Hilfskraftlenkungen bei einem 35-PS-Schlepper

Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach¹⁾

Bisherige Untersuchungen

Die Beanspruchung des Schlepperfahrers liegt bei einigen Arbeiten an oder sogar oberhalb der zumutbaren physiologischen Dauerleistungsgrenze. Das bedeutet, daß der Fahrer angemessene Pausen zwischen die Arbeiten einschieben muß, um die Beanspruchung auf längere Dauer ohne Schädigung auszuhalten. Durch eigene Untersuchungen [1] und solche von MORRIS [2] konnte nachgewiesen werden, daß die Versuchsfahrer bei Frontladerarbeit einen Netto-Energieverbrauch (über Grundumsatz) von 4,33 Kcal/min hatten, während als physiologische Dauerleistungsgrenze 4,0 Kcal/min gelten. Die gemessene Arbeitspulsfrequenz [AP/min] (über Ruhepuls) lag mit 36,2 AP/min ebenfalls bereits im Bereich der Dauerleistungsgrenze (30 bis 40 AP/min). Durch eine verbesserte Konstruktion des Schlepperführerstandes — angefangen von einem guten Sitz bis zur zweckmäßigen Anordnung von Hand- und Fußhebeln — ließ sich die Beanspruchung um 45% auf 20,1 AP/min vermindern [1].

Eine wichtige Rolle im Hinblick auf die körperliche Belastung des Fahrers spielen bei schweren Schleppern und solchen mit großer Vorderachslast die Anordnung des Lenkrades und die vom Fahrer aufzubringenden Lenkbetätigungskräfte. Die Winkelstellung des Lenkrades ist bei den weitaus meisten Schleppertypen in den letzten Jahren an die für den Fahrer günstigsten Verhältnisse [1; 3] — etwa 50—60° Winkel zwischen der Lenksäule und der Horizontalen — angepaßt worden. Dagegen werden die Lenkräder oft zu weit vor dem Sitz angeordnet. Welche Folgen das für die Schwingbeanspruchung des Fahrers und für die Kraftausübung am Lenkrad hat, wird im Abschnitt „Physiologisch richtige Lenkradanordnung“ untersucht.

In den letzten Jahren hat sich eine Tendenz vom leichteren zum schwereren Schlepper bemerkbar gemacht. Zugleich hat sich die Zahl der eingesetzten Frontlader stark vermehrt. Da Fahrer moderner Schlepper viele Funktionen zu verrichten haben und ihre Dauerleistungsfähigkeit physiologische Grenzen hat, gewinnen Bedienungs erleichterungen für die Lenkungen immer mehr an Bedeutung.

An schweren Kraftfahrzeugen, jedoch nicht an Schleppern, wurden verschiedene Lenkungen von BODE [4] untersucht. Aus Lenkkraftmessungen und gleichzeitigen Pulsmessungen ergaben sich dabei Richtwerte für zulässige Betätigungskräfte, die aber nur zum Teil auf die Arbeitsbedingungen des Schlepperfahrers übertragen werden können.

Hilfskraftlenkungen in ihren verschiedenen Ausführungsformen sind von DIETRICH [5] beschrieben worden, so daß die technischen Möglichkeiten hier nur dann diskutiert werden, wenn sie sich auf den Fahrer auswirken. In den USA haben sich hydraulische Lenkhilfen bei Schleppern in starkem Maße eingeführt. Manche Schlepperfirmen rüsten serienmäßig bereits 75% ihrer Schlepper mit "power steering" aus. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß die Arbeitserleichterung für die Farmer so fühlbar und wichtig ist, daß sie einen Mehrpreis von etwa 120 Dollar für die Hydro-

lenkung nicht scheuen. Durch eine Untersuchung der Purdue-University [6; 7] konnte das Ausmaß der Arbeitserleichterung bei verschiedenen Schleppern nachgewiesen werden. Die amerikanischen Schlepper sind jedoch teilweise in ganz anderer Bauweise (z. B. tricycle-Typ) konstruiert und werden oft unter anderen Bedingungen eingesetzt, so daß die Untersuchungsergebnisse nicht ohne weiteres auf die hiesigen Einsatzverhältnisse übertragen werden können.

Aufgabe der vorliegenden Untersuchung

In der Untersuchung sollten zwei mechanische Lenkungen und eine Hydrolenkung an demselben Schlepper unter genau festgelegten Einsatzbedingungen (Betonbahn) und bei verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten hinsichtlich der erforderlichen Lenkbetätigungskräfte miteinander verglichen werden. Durch Pulsfrequenzmessungen am Fahrer war bei den Schlepperarbeiten zu ermitteln, in welcher Größenordnung die körperliche Belastung liegt, und ob eine der Lenkungen gegenüber den anderen einen Vorteil bringt.

Die Höhe der Lenkbetätigungskräfte hängt außer von der Art der Lenkung in starkem Maße von der Vorderachskonstruktion, der Vorderachslast, der Lenkkinematik und der Fahrgeschwindigkeit ab. Deshalb sollte der Schlepper für die Betonbahnversuche mit zwei Geschwindigkeiten gefahren, mit zwei verschiedenen Vorderachsen ausgerüstet, die Vorderachse in drei Stufen unterschiedlich belastet und die Lenkkinematik gegenüber der Serienausführung abgeändert und gegebenenfalls verbessert werden.

Es sollte versucht werden, aus den Ergebnissen dieser Untersuchung die Verwendungsbereiche der verschiedenen Lenkungstypen bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen abzugrenzen. Unter Hinzuziehung anderer Untersuchungsergebnisse war die für den Schlepperfahrer optimale Lenkradanordnung und Lenkungsausführung zu ermitteln.

Methodik und Versuchsbedingungen

Um alle Versuchsbedingungen gleichhalten und die Versuche reproduzieren zu können, wurden die grundlegenden Versuche auf Betonbahn gefahren und in allen Fällen derselbe Schlepper verwendet. Weitere Versuche wurden bei landwirtschaftlichen Schlepperarbeiten durchgeführt.

¹⁾ Für die Untersuchungen stellte die Firma Rheinstahl-Hanomag AG einen Schlepper, die Firma Zahnradfabrik Friedrichshafen, Werk Schwäbisch-Gmünd (Direktor: Dipl.-Ing. GRAF VON SODEN) drei verschiedene Lenkungen und die Meßeinrichtung der Versuchsabteilung zur Verfügung. Für die Unterstützung der Versuchsarbeiten sei beiden Firmen an dieser Stelle Dank ausgesprochen. Die Versuchsplanung und -durchführung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Herrn A. BUNDSCHUH von der Firma Zahnradfabrik Friedrichshafen. Die Versuchsabteilung (Leiter: Dr. Ing. G. DIETRICH) derselben Firma führte den größten Teil der technischen Messungen und deren Auswertung unter Leitung von Herrn Ing. WEINBERGER aus. Weitere Messungen wurden mit der Institutsmeßeinrichtung unter Mitarbeit von Herrn Ing. H. A. BROICHER durchgeführt. Nur der Gemeinschaftsarbeit zwischen den verschiedenen Spezialisten ist der Erfolg der Untersuchung zuzusprechen. Es sei daher allen Mitarbeitern besonderer Dank gesagt.

1. Versuchsschlepper

a) Kenndaten des Fahrzeuges

Fahrzeugtyp: HANOMAG R 435 A — 35 PS
 Bereifung vorn: 6.00—20 AS-Front — 3-Profil (Metzeler)
 Reifendruck: ohne Frontlader 1,5 atü
 mit Frontlader 3,0 atü
 Bereifung hinten: 11—38 AS-Farmer (Continental)
 Reifendruck: mit und ohne Frontlader 0,8 atü

Über Vorderachslast und Betriebsgewicht des Versuchsschleppers gibt Tafel 1 Auskunft.

b) Eingebaute Vorderachsen

Die Kenndaten der am Versuchsschlepper eingebauten Vorderachsen sind in Tafel 2 zusammengestellt.

c) Eingebaute Lenkungen

In Tafel 3 sind die Kenndaten der in den Versuchsschlepper eingebauten, verschiedenen Lenkungen aufgeführt.

Tafel 1: Vorderachslast und Betriebsgewichte des Versuchsschleppers

| Ausrüstung | Vorderachslast*) [kg] | Betriebsgewicht*) [kg] |
|---|-----------------------|------------------------|
| (A) Schlepper ohne Frontlader, aber mit Anbauteilen und Fahrer | 813 | 2400 |
| (B) Schlepper mit leerem Frontlader (Größe 3) und Fahrer . | 1214 | 2643 |
| (C) Schlepper mit beladenem Frontlader (Größe 3, 360 kg in der Schaufel) und Fahrer | 1800 | 2927 |

*) Nach Entwurf DIN 9803

Tafel 2: Kenndaten der Vorderachsen

| Achsbezeichnung | Einschlagwinkel am kurveninneren Rad | Nachlauf | Sturz | Spreizung |
|------------------------------|--------------------------------------|---|-------|-----------|
| (Ha) | 42° | (Ha ₁) 3,5° (Ha ₂) 0° (serienmäßig) | 2° | 0° |
| (Ba) (anderer Hersteller) | 42° | 0° | 3° | 7° |

Tafel 3: Kenndaten der Lenkungen

| Lenkungstyp | Übersetzungsverhältnis | Ausgenutzte Lenkradumdrehungen*) | | |
|--|---|----------------------------------|-------------|-----------|
| | | nach links | nach rechts | insgesamt |
| (Fi) ZF-Einfingerlenkung mit feststehendem Lenkfinger | 15,4 : 1 rechts 17,3 : 1 Mitte 11,5 : 1 links | 1,25 | 1,75 | 3,00 |
| (Ge) ZF-Gemmerlenkung mit beidseitig gelagerter Lenkwelle und Dreizahnrolle | 18,3 : 1 | 1,70 | 1,80 | 3,50 |
| (Hy) ZF-Spindel-Hydrolenkung in Blockkonstruktion ohne hydraulische Rückwirkung, Antrieb über Bosch-Zweikreispumpe . . . | 20 : 1 | 1,75 | 2,10 | 3,85 |

*) Gilt nur für Lenkachse (Ha). Es ist nicht immer exakt möglich, nach beiden Seiten gleiche Lenkradumdrehungen auszunutzen. Für die Fingerlenkung wurde in einem gesonderten Versuch dieser Ausgleich herbeigeführt (Versuchsreihe 5). Bei der Lenkachse Ba wurden verschiedene kinematische Änderungen vorgenommen, so daß die Lenkradumdrehungen in unterschiedlichem Maße ausgenutzt wurden

2. Fahrbahnbeschaffenheit und Fahrweise

Die Versuchsreihen 1 bis 6 wurden auf ebener, trockener Betonbahn durchgeführt. Der Schlepper wurde dabei von stets demselben Fahrer in Spiralen mit einer ungefähr konstanten Drehgeschwindigkeit von 0,3—0,4 U/s gefahren (Bild 1). Darüber hinaus wurden noch einige Versuche in der gleichen Weise auf gegrubbertem und geeegtem Boden gefahren (Bild 2).

3. Landwirtschaftliche Schlepperarbeiten

Zur Erfassung der Lenkbetätigungskräfte und der Fahrerbeanspruchung unter praktischen Verhältnissen wurden vier landwirtschaftliche Schlepperarbeiten von demselben Fahrer ausgeführt. Sowohl den Kraft- als auch den Pulsmessungen ging jeweils eine angemessene Einübungszeit voraus.

a) Grubbern am Seitenhang

Es wurde an einem Hang mit 25% Neigung auf abgeegtem Boden mit einem Dreipunkt-Anbaugrubber (Arbeitsbreite 1,50 m) bei etwa 6,5 km/h Fahrgeschwindigkeit in folgender Weise gearbeitet: Fahren in Schichtlinie — Wenden hangaufwärts — Fahren in Schichtlinie — Wenden hangabwärts. Bei den Pulsmessungen betrug die Feldlänge 200 m.

b) Pflügen in der Ebene

Ein oberflächlich gelockerter Acker wurde mit einem Dreipunkt-Anbaudrehpflug bei etwa 4 km/h Fahrgeschwindigkeit 20 cm



Bild 1: Lenkkraftmessungen in Spiralfahrten auf Betonbahn



Bild 2: Lenkkraftmessungen auf lockerem Ackerboden

tief in folgender Arbeitsweise gepflügt: Ziehen einer geraden Furche — Pflug ausheben und Einlenken nach rechts — Zurückstoßen und gleichzeitig Einlenken nach links — Vorwärtsfahren, neben der gezogenen Furche Pflug einsetzen und in Gegenrichtung neue Furche ziehen. Vorderrad läuft dabei in der alten Furche. Bei den Pulsmessungen betrug die Feldlänge 100 m.

c) Mistladen mit Frontlader

Aus einem Laufstall wurde Mist mit dem Frontlader auf einen Wagen (Bild 3) aufgeladen. Die Fahrbahn bestand zwar aus ebenem, festem, steinigem Boden, zeigte jedoch durch von der Gabel gefallenen Mist zum großen Teil eine glitschige Oberfläche. Für eine solche Arbeit konnten die Reibungs- und Rollwiderstandsverhältnisse daher als sehr günstig angesehen werden.

d) Erde aufladen auf Betonbahn

Eine weit größere Reibung der Vorderräder war beim Aufladen von Erde auf einen Wagen auf ebener, trockener, rauher Betonbahn

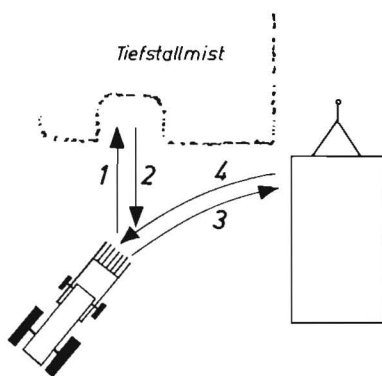


Bild 3: Arbeitsweise des Schleppers beim Aufladen von Tiefstallmist auf den Wagen

vorhanden (Bild 4). Die Arbeitsweise war jedoch die gleiche wie beim Laden von Stallmist.

4. Meßgeräte

a) Lenkungsmessungen

Es war erforderlich, folgende vier Meßgrößen auf elektronischem Wege zu erfassen:

Meßgröße I: Umfangskraft am Lenkrad P_u [kp]²)

Meßwertaufnehmer: Dehnmeßstreifen an einem Meßlenkrad 430 mm Durchmesser.

Meßgröße II: Drehmoment an der Lenkwelle $M_{d_{Lw}}$ [m · kp]²)

Meßwertaufnehmer: Dehnmeßstreifen an Lenkstockhebeln.

Meßgröße III: Öldruck p in der Hydraulikanlage [atü]

Meßwertaufnehmer: Druckmeßdose mit Dehnmeßstreifen am Eingang der Hydrolenkung

Meßgröße IV: Lenkradstellung (Abweichung von der Geradeausfahrtstellung in Anzahl Lenkradumdrehung)

Meßwertaufnehmer: Potentiometer an der Lenksäule beziehungsweise Potentiometer auf der Radschwenkachse [9] eines Vorderrades.

Die Meßwerte wurden, teilweise nach Durchlauf durch Meßverstärker, von einem Schleifenoszillographen der Firma ZF auf lichtempfindlichem Papier aufgezeichnet. Von den institutseigenen Meßgeräten wurden zwei Meßverstärker KWS II/S der Firma Hottinger-Meßtechnik Darmstadt und der vierkanalige Direktreiber Oszilloscript Ty PF 1000/4, System Schwarzer der Firma Philips verwendet.

b) Physiologische Messungen

Zur Ermittlung der menschlichen Beanspruchung bei der Lenkarbeit wurde die Methode der Pulsfrequenzmessung nach E. A. MÜLLER [10] angewandt. Eine am Ohr angebrachte Lichtquelle

²) Entsprechend den Empfehlungen des wissenschaftlichen Beirates des VDI [8] werden alle Kräfte mit der Dimension [kp] und alle Drehmomente mit der Dimension [m · kp] bezeichnet

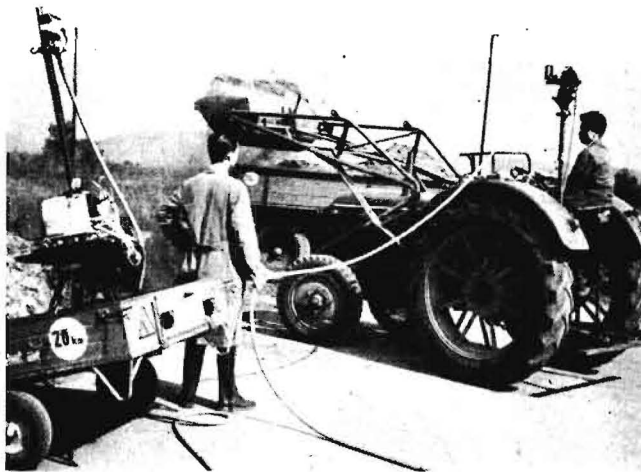


Bild 4: Lenkkraftmessungen beim Erdeladen

wirft Licht durch das Ohrläppchen auf eine Fotozelle. Die mit dem Blutstrompuls parallel gehenden Veränderungen der Lichtdurchlässigkeit des Ohrläppchens verursachen in der Fotozelle entsprechende Impulse, die über einen Verstärker ein Zählwerk ansprechen lassen.

Das Meßgerät, das im Institut von H. A. BROICHER entwickelt wurde, ist tragbar und dient gleichzeitig als Schreibpult (Bild 5). Die Ohrklammer mit der Fotozelle wird am Ohr des Fahrers befestigt und mit der Schutzkappe gegen Lichteinwirkung abgedeckt.

Die Versuche dauerten jeweils 20 bis 30 Minuten. Vor und nach dem Versuch wurde der Ruhepuls im Sitzen ermittelt (Bild 6).



Bild 5: Pulsfrequenzmessungen am Fahrer beim Pflügen



Bild 6: Aufnahme des Ruhepulses in entspannter Sitzhaltung auf dem Schlepper

Versuche und Ergebnisse

Versuchsreihe 1

Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Lenkbetätigungskräfte

Schon die früheren Arbeiten [1] hatten gezeigt, daß mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit sich auch die Lenkbetätigungskräfte erhöhen. Diese Tatsache beruht auf dem Einfluß von Zentrifugalkräften. Bei den damaligen Versuchen wurden Kreise mit einem Radius von 6 m gefahren und nur Haltekkräfte gemessen. Es wurden die Lenkeinschläge nicht wesentlich verändert.

Um die Einlenkkräfte bei verschiedenen Lenkeinschlägen zu erfassen, wurden bei den neuen Versuchen auf Betonbahn mit dem Versuchsschlepper bei drei verschiedenen Vorderachsdrukken nach Tafel 1 in Ausrüstung mit der Vorderachse (Ha) bei 3,5° Nachlauf und mit den drei Lenkungstypen nach Tafel 3 Spiralen bei 5 km/h und 10 km/h Geschwindigkeit gefahren. Die aufgenommenen Meßwerte der Lenkbetätigungskraft sind in Kurven dargestellt und als Beispiel für die Vorderachslast 813 kg in Bild 7 wiedergegeben.

Es kann erkannt werden, daß die Lenkkraftkurven bei 10 km/h bei der Fingerlenkung und bei der Gemmerlenkung höher liegen als bei 5 km/h. Im Mittel aller Versuche beträgt die Lenkkraft-

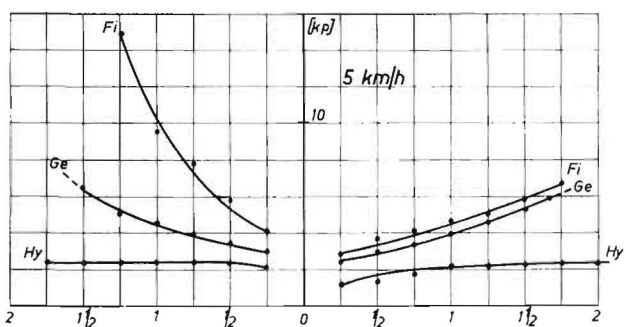
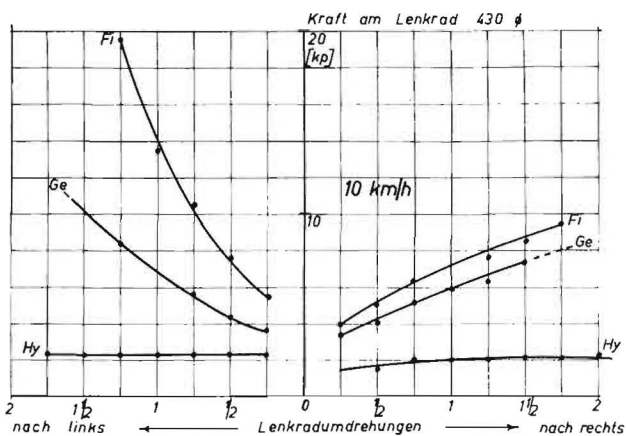


Bild 7: Lenkkräfte in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit Auf Beton ohne Frontlader; Vorderachslast 813 kg; Vorderachse (Ha); (Fi) = Fingerlenkung; (Ge) = Gemmerlenkung; (Hy) = Hydrolenkung

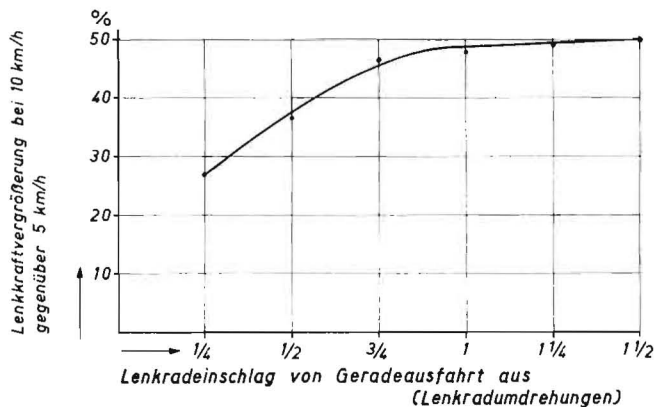


Bild 8: Lenkkraftvergrößerung mit zunehmender Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Lenkeinschlag

erhöhung bei 10 km/h gegenüber 5 km/h 42,6%. Die Fingerlenkung (43,3%) und die Gemmerlenkung (42,0%) zeigten im Ausmaß der prozentualen Lenkkrafterhöhung nur geringe Unterschiede. Bei der Hydrolenkung wird durch zunehmende Fahrgeschwindigkeit die Lenkbetätigungskraft nicht vergrößert, da über das Lenkrad nur der Öldruck gesteuert, die eigentliche Lenkarbeit jedoch von der Hydraulikpumpe verrichtet wird.

Die Auswertung der Lenkkraftkurven ergab weiterhin, daß die Lenkkraftvergrößerung durch höhere Fahrgeschwindigkeit bei vollem Lenkradeinschlag stärker ist als bei kleinen Lenkbewegungen. Diese Tatsache ist dem Fahrer gefühlsmäßig bekannt; sie wird durch eine Kurve im Bild 8 dargestellt.

Versuchsreihe 2

Einfluß verschiedener Vorderachslasten auf die Lenkbetätigungskräfte

Aus der Fahrpraxis ist bekannt, daß bei Erhöhung des Vorderachsdrukkes, beispielsweise bei Arbeiten mit Zwischenachseräten, Ladepritsche oder Frontlader, die Lenkkräfte steigen, bei Vorderachsentlastung, zum Beispiel durch Anhängegeräte, die Lenkkräfte sich vermindern, entsprechend den Reibungskräften zwischen Vorderrädern und Fahrbahn sowie in den Achsschenkel-lagerungen.

Dieser Einfluß wurde durch Spiralfahrten auf Betonbahn mit dem Versuchsschlepper in Ausrüstung mit der Vorderachse (Ha) bei 3,5° Nachlauf mit den drei Lenkungstypen bei 5 km/h und 10 km/h Fahrgeschwindigkeit und bei den drei Vorderachsdrukken nach Tafel 1 ermittelt.

Für die Einfingerlenkung und die Gemmerlenkung sind die Lenkkraftkurven bei 5 km/h Fahrgeschwindigkeit in den Bildern 9 und 10 dargestellt. Es kann daraus bei den Lenkungen eine Steigerung der Lenkbetätigungskräfte mit vergrößerter Vorderachslast entnommen werden. Bei der Vorderachslast von 1214 kg (B) beträgt die Lenkkrafterhöhung gegenüber 813 kg Vorderachslast (A) im Mittel 18%, bei der maximalen Vorderachslast 1800 kg (C) gegenüber 813 kg 86%. Es muß also bei beiden Lenkungen und bei beladenem Frontlader mit annähernd den doppelten Lenkkräften gegenüber unbelastetem Schlepper gerechnet werden.

Bei der Hydrolenkung zeigte sich keine Lenkkrafterhöhung, da die Lenkarbeit von der Hydraulikanlage ausgeführt wird. Die ermittelten Kurven bei den drei Vorderachslasten decken sich so gut, daß sie als Einzelkurven in einem Bild nicht wiedergegeben werden können.

Das Drehmoment an der Lenkwelle wurde bei allen Versuchen mitgemessen und ist für die Betonbahnversuche in Bild 11 dargestellt. Der Verlauf des Drehmomentes muß für alle Lenkungen gleich sein bis auf Abweichungen, die durch Veränderungen der Reibwerte und durch abweichende Drehgeschwindigkeit am Lenk-

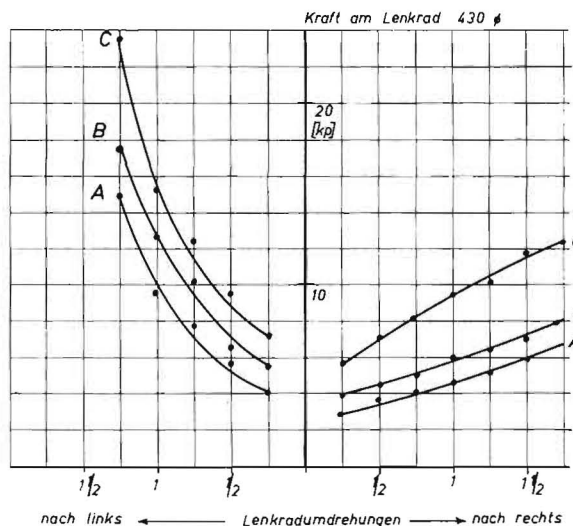


Bild 9: Lenkkräfte und Vorderachslast (ZF Einfingerlenkung) Fahrgeschwindigkeit 5 km/h; Betonbahn (A) ohne Frontlader Vorderachslast 813 kg; (B) Frontlader unbeladen Vorderachslast 1214 kg; (C) Frontlader beladen Vorderachslast 1800 kg

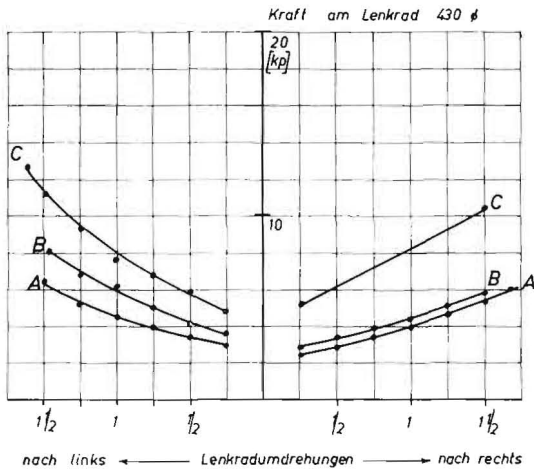


Bild 10: Lenkkräfte und Vorderachslast (ZF Gemmerlenkung)
 Fahrgeschwindigkeit 5 km/h; Betonbahn

- (A) ohne Frontlader Vorderachslast 813 kg;
- (B) Frontlader unbeladen Vorderachslast 1214 kg;
- (C) Frontlader beladen Vorderachslast 1800 kg

rad verursacht wurden. Die aus dem Diagramm ersichtlichen Streubänder sind auch nicht sehr groß.

Versuchsreihe 3

Einfluß der Art der Lenkung auf die Lenkbetätigungskräfte

Bereits die Versuchsreihen 1 und 2 (siehe Bilder 7, 9 und 10) ließen erhebliche Unterschiede der Betätigungskräfte bei verschiedenen Lenkungen unter gleichen Versuchsbedingungen erkennen. Diese Unterschiede sind in den ungleichen Wirkungsgraden der hier eingebauten Lenkungen begründet. (Fingerlenkung: Gleitreibung zwischen starrem Lenkfinger und Schnecke; Gemmerlenkung: Wälzreibung zwischen Dreizahnrolle und Schnecke). Gegenüber der Fingerlenkung weist die Gemmerlenkung geringere Reibungskräfte auf und ist daher leichtgängiger. Bei der hier verwendeten Hydrolenkung nimmt die Lenkbetätigungs-kraft nur bis zu einem bestimmten Drehmoment an der Lenkwelle zu. Dann setzt die hydraulische Unterstützung ein. Der Pumpendruck steigt entsprechend an. Die Lenkbetätigungs-kraft bleibt aber konstant.

In Vergleichsversuchen wurden die drei Lenkungsarten nach Tafel 3 bei verschiedener Vorderachsbelastung (813 kg; 1214 kg; 1800 kg), zwei Fahrgeschwindigkeiten (5 und 10 km/h) und verändertem Lenkeinschlag (von 0° bis 42° Einschlagwinkel am kurveninneren Rad) auf Betonbahn untersucht. Aus den Lenkeinschlägen und Betätigungs-kräften wurde das Integral, also die Lenkarbeit für jede Lenkung ermittelt. Von jeweils sechs Versuchen wurde die durchschnittliche Lenkarbeit errechnet (Tafel 4).

Es läßt sich erkennen, daß gegenüber der Einfingerlenkung mit Hilfe der Gemmerlenkung die Lenkarbeit um 15%, mit Hilfe der Hydrolenkung sogar um 71% vermindert werden kann. Bei der Hydrolenkung wäre eine weitere Verminderung der Lenkarbeit durch Verringerung der ausgenutzten Lenkradumdrehungen auf 2,5 bei gleicher Betätigungs-kraft möglich. Dazu müßte der Lenkstockhebel verkürzt werden. Diese Verhältnisse sind in Tafel 4 ebenfalls errechnet (Hy').

Tafel 4: Durchschnittliche Lenkarbeit bei verschiedenen Lenkungen unter gleichen Einsatzbedingungen

| Art der Lenkung | ausgenutzte Lenkradumdrehungen | Lenkarbeit [mkp] |
|---|--------------------------------|------------------|
| (Fi) ZF Einfingerlenkung . . . | 3,00 | 41,5 |
| (Ge) ZF Gemmerlenkung . . . | 3,50 | 35,2 |
| (Hy) ZF Spindel-Hydrolenkung | 3,85 | 12,0 |
| (Hy') (ZF Spindel-Hydrolenkung) | (2,50) | (7,8) |

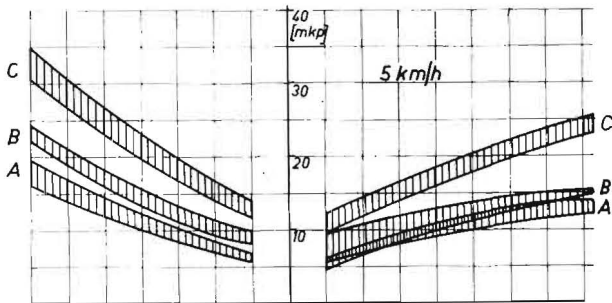
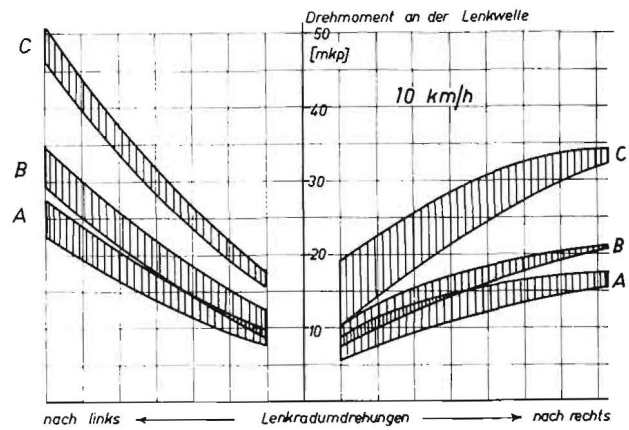


Bild 11: Drehmomente an der Lenkwelle
 Lenkachse (Ha) serienmäßig; Nachlauf 3,5°; Betonbahn
 Vorderachslasten: (A) = 813 kg; (B) = 1214 kg; (C) = 1800 kg

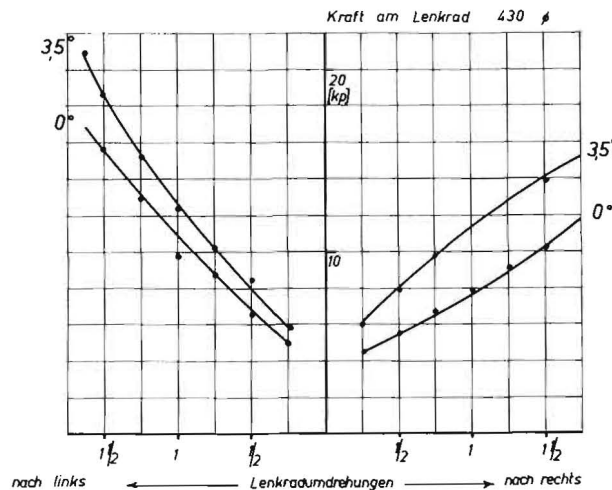


Bild 12: Lenkkräfte in Abhängigkeit vom Nachlauf
 Fahrgeschwindigkeit 10 km/h; Betonbahn; ZF Gemmerlenkung; Vorderachse (Ha); Vorderachslast 1800 kg

Versuchsreihe 4

Einfluß des Nachlaufes auf die Lenkbetätigungskräfte

Die Vorderachse des Versuchsschleppers war mit 3,5° Nachlauf eingebaut. Da der Schlepper in Serienausführung mit Nachlauf 0° eingestellt ist, wurde für einen Vergleichsversuch die Achse auf Nachlauf 0° geändert.

Mit beiden Achseinstellungen wurden Versuche auf Betonbahn bei 10 km/h Fahrgeschwindigkeit mit der Gemmerlenkung (Ge) gefahren. Die Kraftkurven sind in Bild 12 angegeben. Es läßt sich daraus erkennen, daß der Nachlauf von 3,5° eine größere Lenkbetätigungs-kraft zur Folge hat. Im Mittel der Meßwerte beträgt die Vergrößerung der Lenk-kraft 28%. Dieses Ergebnis kann mit dem Rückstellmoment erklärt werden. Eine Vergrößerung des Nachlaufes führt zu einer Vergrößerung des Hebelarmes, an dem die Rad-Seitenführungs-kräfte angreifen. Dadurch wird das Rückstellmoment vergrößert, das zum Einlenken überwunden werden muß.

Versuchsreihe 5

Einfluß der Lenkkinematik auf den Kräfteausgleich bei Links- und Rechtseinschlag

Es ist bekannt, daß die Lenkkinematik der Vorderachse auf die Größe und den Ausgleich der Lenkbetätigungskräfte nach rechts und links entscheidenden Einfluß hat. Neben der Forderung, daß die Betätigungskräfte eine physiologisch zulässige Grenze nicht überschreiten sollen, muß auch ein annähernd gleicher Kraftverlauf bei Rechts- und Linkseinschlag gefordert werden. Die Vorderachse (Ha) zeigte, insbesondere bei Verwendung der Einfingerlenkung, bei Linkseinschlag höhere Kräfte als bei Rechtseinschlag, wie aus den Bildern 7, 9, 10 und 12 zu ersehen ist. Die gleiche Tendenz konnte bei der Vorderachse (Ba) in serienmäßiger Ausführung erkannt werden.

Es war daher die Aufgabe, den Lenkkräftausgleich herbeizuführen. Das ist im allgemeinen durch eine Angleichung der Lenkradumdrehungen nach rechts und links möglich, wobei unter Umständen Kompromisse geschlossen werden müssen. Bei beiden Achsen waren serienmäßig die Lenkeinschläge unausgeglichen, da nach links $1\frac{1}{4}$, nach rechts $1\frac{3}{4}$ Lenkradumdrehungen ausgenutzt wurden. In beiden Fällen konnte eine Änderung der Radlenkhebelstellung Verbesserungen bringen (Bild 13).

Als Winkel φ wird der Winkel zwischen Vorderachse und Radlenkhebel bezeichnet. Die Radlenkhebel wurden bei beiden Achsen bei gleicher Stellung des Lenkstockhebels (Lenkschubstange wurde also verlängert) nach vorn verstellt, so daß sich der Winkel φ bei der Achse (Ba) von $-8,5^\circ$ auf $+15^\circ$, bei der Achse (Ha) von $\pm 0^\circ$ auf $+10,5^\circ$ änderte. Die Folge davon war, daß die ausnutzbaren Lenkeinschläge rechts sich um $\frac{1}{4}$ Lenkradumdrehung verkleinerten, links um den gleichen Betrag vergrößerten. Dem entsprechend wurden rechts die Kräfte erhöht und links vermindert, so daß ein annähernder Lenkkräftausgleich erreicht werden konnte.

Versuchsreihe 6

Einfluß verschiedener Vorderachskonstruktionen auf die Lenkbetätigungskräfte

Die Eigenschaften einer Lenkachse werden durch die konstruktiven Winkel des Nachlaufes, Sturzes und der Spreizung und durch die Reibungswerte der Radschwenkachsen bestimmt. Gute

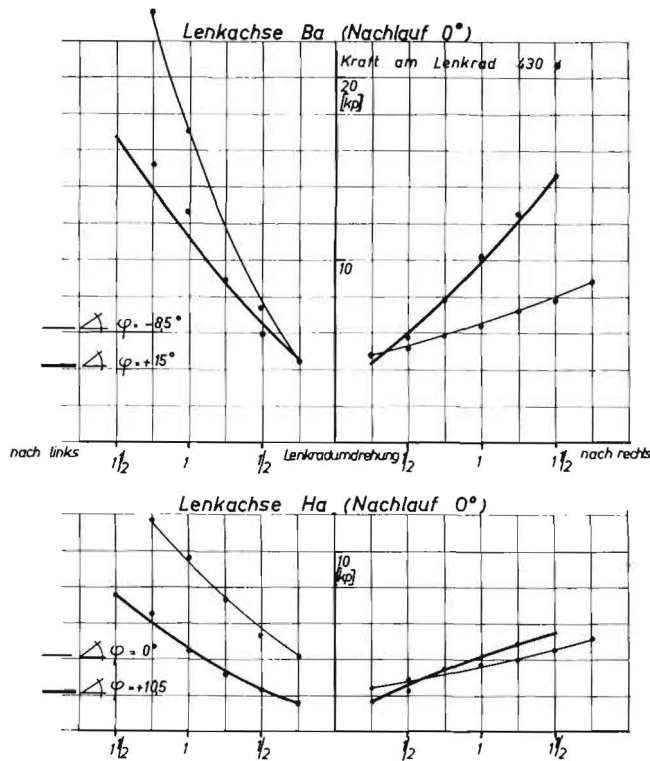


Bild 13: Lenkkräftangleichung durch Kinematik-Änderung
 Fahrgeschwindigkeit 5 km/h; Betonbahn; ZL Einfingerlenkung; Vorderachslast 813 kg

Spurhaltung und jedes Vermeiden von Flattern sind wichtige Forderungen, die auch bei einem langsamen Fahrzeug wie dem Schlepper nicht vernachlässigt werden dürfen.

Die Vorderachskonstruktion hat aber auch einen großen Einfluß auf die Höhe der Betätigungskräfte. Das kann an den beiden Achsen (Ha) und (Ba) demonstriert werden, die in ihrer Lenkkinematik optimal eingestellt und mit gleichem Nachlauf ($\pm 0^\circ$) unter auch sonst gleichen Versuchsbedingungen gegenübergestellt wurden. Nachdem der Kraft- und Bewegungsausgleich bei Links- und Rechtseinschlag fast völlig erreicht war, ergaben sich, wie aus Bild 13 erkannt werden kann, beachtliche Unterschiede der Betätigungskräfte bei beiden Lenkachsen. Die größten Kräfte betragen bei der Achse (Ha) nach links 7,5 kp; nach rechts 5,5 kp; bei der Achse (Ba) nach links 16,7 kp; nach rechts 14,6 kp. Im Mittel aller Messungen konnten die Lenkbetätigungskräfte für die Achse (Ha) um 59% gegenüber der Achse (Ba) vermindert werden.

Die hohen Lenkbetätigungskräfte sind vermutlich auf die größere Reibung in den Radschwenkachsen zurückzuführen. Außerdem erfordert die größere Spreizung (7° bei Achse (Ba) gegenüber 0° bei Achse (Ha)) bei fast gleichem Sturz eine wesentlich größere Hubarbeit, vorausgesetzt, daß ein Lenkrollhalbmesser vorhanden ist.

Versuchsreihe 7

Lenkkräftmessungen auf Ackerboden

In gleicher Weise wie auf Betonbahn wurden Spiralfahrten mit dem Versuchsschlepper (Vorderachsdruk 813 kg) gefahren. Bei 5 km/h Fahrgeschwindigkeit hinterließ das kurveninnere Rad eine etwa 5 cm tiefe Spur, bei 10 km/h eine solche von 12 cm Tiefe, wenn die Räder voll eingeschlagen waren.

Hierbei zeigte sich wie schon bei früheren Versuchen [1], daß mit zunehmendem Lenkeinschlag die Lenkkräfte zunächst steigen bis zu etwa $\frac{3}{4}$ bis 1 Lenkradumdrehung (entsprechend etwa 30° Radeinschlag am kurveninneren Vorderrad), um bei noch stärkerem Einschlag schließlich wieder geringer zu werden. Dieser Vorgang muß mit dem Schieben der Vorderräder auf dem lockeren Boden erklärt werden. Es findet ein Übergang von Haftreibung zu Gleitreibung statt. Über diese schon bekannte Tatsache hinaus konnten aus den Versuchen keine weiteren Erkenntnisse gewonnen werden.

Versuchsreihe 8

Fahrerbeanspruchung bei verschiedenen landwirtschaftlichen Schlepperarbeiten

Die Versuche auf Betonbahn haben wichtige Erkenntnisse über verschiedene Einflußgrößen gebracht. Sie können jedoch keine Aussagen über die Beanspruchung des Schlepperfahrers bei landwirtschaftlichen Arbeiten machen.

Es wurden daher die vier, weiter vorn beschriebenen Schlepperarbeiten genau wie in der Praxis durchgeführt und dabei Lenkkräfte und die Gesamtbeanspruchung des Fahrers ermittelt. Im Bild 14 sind die mittleren Arbeitspulsfrequenzen als Maß der

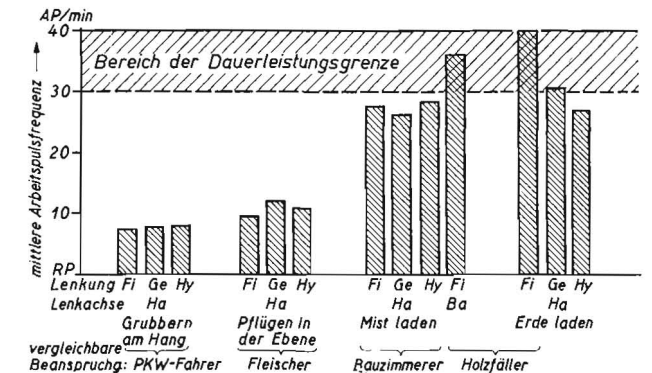


Bild 14: Fahrerbeanspruchung bei verschiedenen Schlepperarbeiten und verschiedenen Lenkungen
 Lenkung: (Fi) = Fingerlenkung; (Ge) = Gemmerlenkung; (Hy) = Hydrolenkung

Fahrerbeanspruchung angegeben, die in jeweils zwei Versuchen von je 20 bis 30 Minuten Dauer festgestellt wurden. Die Beanspruchung des Fahrers wurde mit der bei anderen Berufen verglichen.

Die Lenkbetätigungskräfte erreichten bei den mechanischen Lenkungen beim Grubbern am Seitenhang maximale Werte von etwa 10 kp, beim Pflügen in der Furche solche von etwa 4 kp, beim Umwenden des Schleppers mit Pflug etwa 11 kp und beim Erdeladen auf Betonbahn etwa 15 kp. Bei der Hydrolenkung wurden in keinem Falle Kräfte von 3,3 kp überschritten. Verständlicherweise gab es einen größeren Streubereich der Meßwerte, da die Versuchsbedingungen bei den Schlepperarbeiten nicht exakt gleichgehalten werden konnten.

Das wirkt sich auch auf die Pulsfrequenzmessungen aus, deren Ergebnisse gewisse Schwankungen zeigen, die auf die Versuchsbedingungen und die physiologische Kondition des Fahrers zurückgeführt werden müssen. Beim Grubbern, Pflügen und Laden von Mist lassen sich keine signifikanten Unterschiede der körperlichen Beanspruchung in Abhängigkeit von der Art der Lenkung nachweisen. Für das Grubbern und Pflügen ist das erklärlich, da die Lenkbetätigungskräfte relativ niedrig sind und die Gesamtbelastung zu einem großen Teil von der Betätigung weiterer Bedienteile und von der Schwingungsbeanspruchung bestimmt wird. Beim Mistaufladen mit Frontlader müßte man einen größeren Einfluß der Lenkbetätigungskräfte erwarten. Aber hier lagen die Lenkkräfte wegen der geringen Reibungswerte zwischen Vorderreifen und Fahrbahn auf Grund der teilweise sehr schmierigen Fahrbahn relativ niedrig (etwa 9 kp). Außer diesen Versuchen mit der Achse (Ha) wurde ein weiterer Versuch beim Mistladen mit der Achse (Ba) und der ZF Einfingerlenkung gefahren. Gegenüber der Achse (Ha) zeigte sich eine Erhöhung des Arbeitspulses um 8,5 AP/min. Mit dieser Achse, die nach Versuchsreihe 6 wesentlich schwergängiger ist, wird der Fahrer bereits einer unzulässigen Belastung ausgesetzt.

Noch stärker war die Beanspruchung beim Aufladen von Erde auf Betonbahn wegen der starken Reibungskräfte zwischen Vorderrädern und Fahrbahn. Bei Einbau der Fingerlenkung hatte der Fahrer eine Arbeitspulsfrequenz von 40 AP/min, mit der Gemmerlenkung 30,5 AP/min und mit der Hydrolenkung 27,0 AP/min. Somit konnte die Gemmerlenkung und noch stärker die Hydrolenkung eine beachtliche Arbeiterleichterung bringen.

Diskussion der Untersuchungsergebnisse und Folgerungen

Es sollte unter anderem untersucht werden, unter welchen Bedingungen leichtgängigere Lenkungen vorgezogen werden müssen, um eine Überforderung des Fahrers zu vermeiden. Die Messungen der Versuchsreihe 8 haben gezeigt, daß bei Ackerarbeiten (Grubbern und Pflügen) die Beanspruchung des Fahrers unter dem Bereich der Dauerleistungsgrenze (30 bis 40 AP/min) liegt. Bei den Ladearbeiten, bei denen große Lenkeinschläge vorgenommen werden und die Vorderachse stark belastet wird, ist jedoch trotz der an sich schon hohen Beanspruchung durch die Vielzahl der notwendigen Bedienungsgriffe ein starker Einfluß durch die Eigenschaften der Lenkachse und durch die Lenkungsart erkennbar. Gegenüber früher bei anderen Versuchspersonen ermittelten Werten [1] ist die Pulsfrequenz unseres Versuchsfahrers relativ niedrig. Der Leistungspulsindex (LPI) von 1,91 weist bei unserem Fahrer auch darauf hin, daß er auf Grund seines kräftigen Körperbaues und gesunden Herzens zur Ausübung schwerer Arbeiten besonders befähigt ist. Körperliche Schwerarbeiten führen bei ihm zu einem verhältnismäßig geringen Pulsanstieg. Es muß daher damit gerechnet werden, daß Fahrer mit schwächerer Konstitution bei Frontladerarbeit in noch größerem Maße überlastet werden als unsere Versuchsperson.

Es können für die Schlepperausrüstung folgende Empfehlungen gegeben werden:

1. Die schon auf Grund früherer Untersuchungen [1] gestellte Forderung, daß im Betonbahnversuch bei vollem Lenkeinschlag die Umfangskräfte am Lenkrad 15 kp³⁾ nicht überschreiten dürfen, wird durch diese Arbeit bestätigt. Die für schwere Straßen-

³⁾ Dieser Wert gilt jedoch nur bei physiologisch richtiger Lenkradanordnung (siehe Kapitel „Physiologisch richtige Lenkradanordnung“)

fahrzeuge als vorläufig vorgeschlagene Endmaximalkraft von 25 kp [4] ist für den Schlepperfahrer wegen anderer zusätzlicher Belastungen als zu hoch anzusehen.

2. Für Dreischarschlepper (30—40 PS), die vorwiegend Acker- und Transportarbeiten bei einer Vorderachslast von nicht mehr als 1200 kg ausführen, genügen mechanische Lenkungen, sofern die bei Betonbahnversuchen ermittelten Maximalkräfte bei Endanschlag 15 kp nicht überschreiten. Die Kräfte sind auf 3,0 ausgenutzte Lenkradumdrehungen bezogen. Auf leichtgängige Konstruktion der Lenkachse ist großer Wert zu legen. Reibungsarme Lenkungen sind bei Schleppern in dieser Gewichtsklasse zu bevorzugen.

3. Werden Schlepper mit 30—40 PS Motorleistung häufig mit Front- oder Zwischenachsgeräten ausgerüstet oder viel zu Ladearbeiten mit dem Frontlader verwendet, bei denen die Vorderachslast 1200 kg überschreitet, so ist eine hydraulische Lenkhilfe vorzuziehen, da der bei diesen Arbeiten stark beanspruchte Fahrer durch die Hydrolenkung entlastet werden kann. Die zweckmäßige Konstruktion der Lenkachse hat bei schweren Arbeiten besondere Bedeutung.

4. Die Lenkeinschläge nach rechts und links und die entsprechenden Betätigungskräfte sind möglichst weitgehend durch richtige Lenkkinematik anzugleichen.

5. Für Schlepper, insbesondere solche mit Frontlader, erscheint es nicht zweckmäßig, die Hydrolenkung so auszuführen, daß die Kraft am Lenkradumfang mit zunehmendem Lenkeinschlag ansteigt. Dies würde dazu führen, daß die Kraft bei vollem Kurvenanschlag relativ hoch würde, wenn der Anstieg so eingestellt wird, daß er deutlich spürbar ist. Dies führt aber — vor allem bei Frontladerbetrieb — sicherlich zu einer nicht unerheblichen Mehrbelastung des Fahrers. Andererseits sind die Fahrgeschwindigkeiten so gering, daß es nicht nötig erscheint, den Anstieg spürbar werden zu lassen, wie dies für Straßenfahrzeuge zweckmäßig ist.

6. Nach Beendigung des Lenkeinschlages sollen die Vorderräder sich sowohl bei mechanischen als auch bei Hilfskraftlenkungen selbsttätig wieder in die Geradeausfahrtstellung zurückstellen.

7. Bei Ausfall der Hilfskraftlenkung muß sich der Schlepper — wenn auch mit erhöhtem Kraftaufwand — mechanisch von Hand weiterlenken lassen.

8. Fahrbahnstöße sollten weder bei mechanischen noch bei Hilfskraftlenkungen bis zum Lenkrad übertragen, sondern durch die Lenkung gedämpft werden.

Physiologisch richtige Lenkradanordnung

Über die Lenkradanordnung und deren Einfluß auf den Fahrer sind eigene Untersuchungen [1; 3] durchgeführt und auch von TOPE [11] Forderungen aufgestellt worden. Es nützt nämlich die Erfüllung von Forderungen hinsichtlich maximaler Kräfte am Lenkrad nichts, wenn der Fahrer infolge einer ungünstigen Körperhaltung nicht in der Lage ist, diese Kräfte aufzubringen.

1. Winkeleinstellung des Lenkrades

Die maximale Umfangskraft von 15 kp am Lenkrad bei vollem Lenkeinschlag, die empfohlen wurde, kann mittelkräftigen

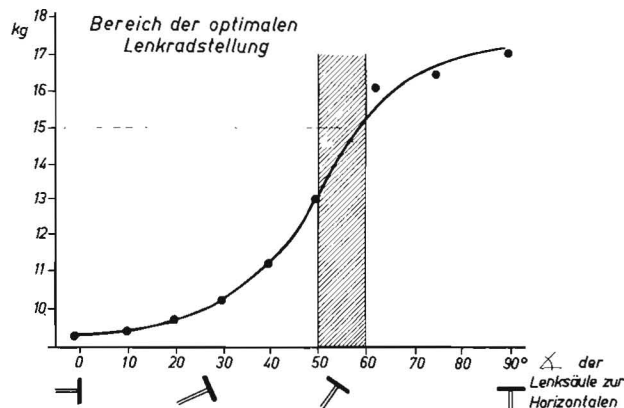


Bild 15: Zulässige Betätigungskräfte bei verschiedener Lenkradstellung

Fahrern nur bei einer Winkelstellung des Lenkrades zugemutet werden, die einem Winkel von etwa 50 bis 60° zwischen der Lenksäule und der Horizontalen entspricht.

Die zulässigen Betätigungskräfte bei verschiedener Winkelstellung des Lenkrades nach Bild 15 ergeben sich aus den Untersuchungen (Bild 14 in [3]), wobei unterstellt ist, daß die normal zulässige Betätigungskraft $\frac{1}{3}$ der maximalen Kraft entspricht, die der Mensch aufbringen kann. Wie bereits anfangs erwähnt, wird der Winkel von 50 bis 60° zwischen Lenksäule und der Horizontalen bei den meisten Schleppern heute konstruktiv verwirklicht.

2. Abstand des Lenkrades vom Sitz

Der Abstand des Lenkrades vom Sitz hat insofern Einfluß auf die Bedienung, als der Ellenbogenwinkel zwischen Ober- und Unterarm und auch die Haltung des Oberkörpers sich diesem Abstand anpassen müssen. Für eine mittlere Körpergröße von 1,70 m war ein horizontaler Abstand von 500 mm zwischen Lenkradmitte und Beckenstütze empfohlen worden [1].

Diese Lenkranordnung hatte sich bei den Versuchen als physiologisch günstigste erwiesen, da der Fahrer dann bei aufrechter Oberkörperhaltung und seitlichem Anfassen des Lenkrades mit einem Winkel von etwa 90° zwischen Ober- und Unterarm arbeitet. Durch englische Untersuchungen [12 ÷ 14] wird diese Feststellung bestätigt. Danach können für Handradbedienung bei einer Anwinkelung des Unterarmes um 90° die größten Kräfte ausgeübt werden, während die Kräfte bei Streckung des Unterarmes bis 150° stark abnehmen.

Auch die Fahrpraxis beweist diese Erkenntnis: Der PKW-Fahrer stellt sich bei Stadtfahrten die Rückenlehne nach vorn, um zu der 90°-Anwinkelung zu kommen. Auf diese Weise kann er größere Kräfte aufbringen und außerdem schneller reagieren.

Trotzdem ist der oben angegebene Lenkradabstand zum Sitz von der Schlepperindustrie nicht verwirklicht worden. Der Grund hierfür mag darin liegen, daß das häufige Auf- und Absteigen des Schlepperfahrers hierdurch erschwert wird. Ein in Schlepperlängsachse schnell verstellbarer Sitz, der erst nach dem Aufsteigen in die richtige Stellung gebracht und vor dem Absteigen erst zurückgeschoben wird, könnte hier zwar Abhilfe schaffen. Da mit solchen Sitzen jedoch in nächster Zeit nicht zu rechnen ist, sollte ein Kompromiß zugunsten des bequemeren Auf- und Absteigens eingegangen werden. Das erscheint auch deshalb berechtigt, weil wir heute mit einer durchschnittlichen Körpergröße des ausgewachsenen Mannes von etwa 1,75 m rechnen müssen, während

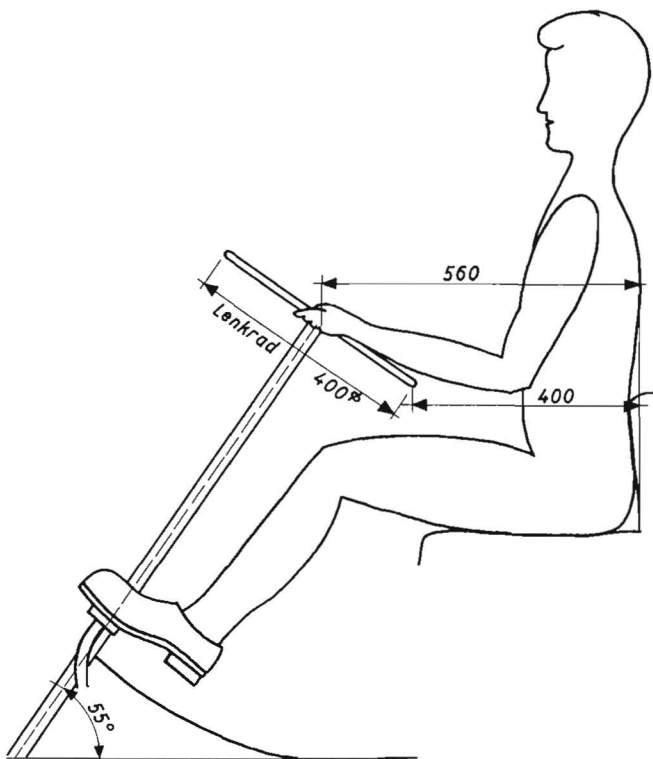


Bild 16: Zweckmäßige Lenkradzuordnung zum Sitz

in den früheren Arbeiten mit 1,70 m gerechnet wurde. Der um 5 cm größere Fahrer hat auch entsprechend längere Arme. Unterschiedliche Körpergrößen müssen durch Sitzlagenverstellung ausgeglichen werden. Bei einer Entfernung der Lenkradmitte von der Beckenstütze von 560 mm ergibt sich eine Armhaltung wie in Bild 16 dargestellt. Der Ellenbogenwinkel beträgt dann 97°, wobei noch eine ausreichende Kraftabgabe erwartet werden kann. Diese Lenkranordnung entspricht etwa auch amerikanischen Untersuchungen bei Lastwagen [15], bei denen als optimale Entfernung der Lenkradunterkante von der Beckenstütze 380 mm angegeben wird. Eine größere Entfernung des Lenkrades vom Sitz als nach Bild 16 kann nicht empfohlen werden, da der Fahrer dann nur geringere Armkräfte aufbringen und weniger schnell reagieren kann und außerdem zu einer vorgebeugten Oberkörperhaltung gezwungen wird, wodurch sich die Bandscheibenbeanspruchung vergrößert.

Zusammenfassung

Durch frühere Untersuchungen war bekannt, daß einige landwirtschaftliche Schlepperarbeiten zu einer Überbeanspruchung des Fahrers führen können. Vor allem steigen die Lenkbetätigungskräfte mit erhöhter Vorderachslast, beispielsweise bei Frontladerarbeiten, und zunehmender Eindringtiefe im Boden an. Im Schlepperabsatz der letzten Jahre zeigt sich eine Tendenz zum schweren Schlepper. Zugleich hat sich die Zahl der eingesetzten Frontlader stark vermehrt. In der Untersuchung wurden daher verschiedene Lenkungen unter genau festgelegten Einsatzbedingungen (Betonbahn) und bei verschiedenen Schlepperarbeiten miteinander verglichen. Dabei wurden mit elektronischen Meßgeräten die Lenkbetätigungskräfte, die Drehmomente an der Lenkwelle und die Lenkeinschläge gleichzeitig erfaßt. Ebenso wurden Pulsfrequenzmessungen am Fahrer zur Ermittlung der Gesamtbeanspruchung angestellt.

Im einzelnen wurden an demselben Schlepper in verschiedenen Versuchsreihen der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit, der Vorderachslast, der Lenkungsart (zwei verschiedene mechanische Lenkungen und eine Hilfskraftlenkung), des Nachlaufes der Vorderachse, der Vorderachskonstruktion und der Lenkinematik untersucht. Eine Vorderachse konnte dabei auf ihre optimalen Werte eingestellt werden. Bei den Messungen der Gesamtbelastung zeigte sich, daß es bei allen landwirtschaftlichen Schlepperarbeiten möglich ist, durch konstruktive Maßnahmen und Verwendung geeigneter Lenkungen die Betätigungskräfte im physiologisch zulässigen Bereich zu halten. Für die Schlepperausrüstung konnten Empfehlungen gegeben werden.

Da die Größe der vom Fahrer aufzubringenden Lenkbetätigungskräfte auch von dessen Körperhaltung zum Lenkrad abhängt, wurde die zweckmäßige Lenkranordnung unter Verwendung früherer Arbeiten untersucht und dafür ebenfalls Empfehlungen gegeben.

Schrifttum

- [1] DUPUIS, H., R. PREUSCHEN und B. SCHULTE: Zweckmäßige Gestaltung des Schlepperführerstandes. Landarbeit und Technik, H. 20, Bad Kreuznach 1955
- [2] MORRIS, W. H. M.: The metabolic cost of tractor driving, using a front-mounted loader. Paper of Purdue Farm Cardiac Project Purdue University, Lafayette 1957
- [3] DUPUIS, H.: Die Bedienung der Lenkung bei Ackerschleppern. Landtechnische Forschung 6 (1956), S. 15—21
- [4] BODE, O., und G. BODE: Untersuchungen an mechanischen Lenkungen und Hilfskraftlenkungen schwerer Kraftfahrzeuge. (Deutsche Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik, H. 115). VDI-Verlag, Düsseldorf 1958
- [5] DIETRICH, G.: Servolenkungen für Kraftfahrzeuge. Konstruktion 8 (1956), S. 142—150
- [6] GLUCK, R.: Human force requirements für steering wheeled agricultural tractors. Thesis in Agricultural Engineering Purdue University, Lafayette 1956
- [7] LILJEDAHL, J. B., R. GLUCK und M. SCHROEDER: Tractor steering forces. Paper presented at the winter meeting of American Society of Agricultural Engineers, Dec. 17, 1957, Chicago/USA
- [8] FLUGLER, E.: Einheiten und Einheitensysteme. Bericht über die Empfehlungen des wissenschaftlichen Beirates des VDI. VDI-Zeitschrift 100 (1958), S. 1100—1102
- [9] DIN 9603 Ackerschlepper: Allgemeine Begriffe, Festlegung und Erläuterung. (Normen-Entwurf April 1960) Beuth-Vertrieb Köln
- [10] MÜLLER, E. A. und J. J. REEH: Die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz bei beruflicher Arbeit. Arbeitsphysiologie 14 (1950), S. 137—147
- [11] TOPE, O.: Arbeitspsychologische und arbeitsphysiologische Forderungen an Kraftfahrzeuge. Der Städtetag 7 (1954), S. 1—6
- [12] PROVINS, K. A.: Effect of limb position on the forces exerted about the elbow and shoulder joints on the two sides simultaneously. Journal of Applied Physiology 7 (1955), S. 387—398

- [13] PROVINS, K. A. and N. SALTER: Maximum torque exerted about the elbow joint. *Journal of applied Physiology* 7 (1955), S. 393—398
- [14] SALTER, N. and H. D. DARCS: The effect of the degree of elbow flexion on the maximum torques developed in pronation and supination of the right hand. *Journal of Anatomy* 86 (1952), S. 197—202
- [15] McFAHRLAND, R. A., A. DAMON and H. W. STOUPT: The application of human body size data to vehicular design. *Special Publ. 142. Society of Automotive Engineers, New York/USA, Nov. 1955*

Résumé

Heinrich Dupuis: «Investigations on Mechanical and Powered Steering Mechanism, for Agricultural Tractors.»

Previous investigations have shown that in the case of certain operations with agricultural tractors the drivers are subject to undue stresses. Above all, the force required to steer tractors with increased weights on the front axle, e.g. during forward loading operations, increases greatly. Furthermore, the increase in the sinking of the front wheels in the soil due to the increased loading of the axle also increases the force required for steering. The tendency in the last few years has been in the direction of heavier tractors and the number of front loading tractors has also increased greatly. The present investigations were therefore conducted under precisely determined operating conditions (concrete surface) with various types of steering mechanism, and on varying operations. The force required to operate the steering mechanism, the torque at the steering shaft and the steering movements were simultaneously measured by electronic means. The pulse frequencies of the drivers were also measured in order to determine the total stress imposed.

The effect of the tractor speed over the ground, the front axle load, the type of steering mechanism (two manually operated and one powered mechanism), the follow-up motion of the rear axle, the design of the front axle and the kinematics of the steering mechanism were carefully investigated. The optimum values for a front axle could thereby be determined. The measurements of the total stress on the drivers showed that the power required for operating the steering mechanism could in all types of agricultural tractors be kept within physiologically endurable limits by proper design methods and the use of suitable steering mechanisms. Recommendations for the proper equipment of tractors were made.

Since the magnitude of the forces brought to bear on the steering mechanism depends on the posture of the driver at the steering wheel, favourable designs for the steering wheel were examined with reference to previous investigations. Suitable recommendations were also made in this case.

Heinrich Dupuis: «Recherches sur les directions mécaniques et les systèmes de conduite assistée.»

Les recherches entreprises précédemment ont montré que certains travaux agricoles effectués avec un tracteur, peuvent conduire au surmenage du conducteur. En particulier, les efforts exigés par la manoeuvre de la direction accroissent au fur et à mesure que la charge sur l'essieu avant augmente et que les roues s'enfoncent plus profondément dans le sol comme il est le cas par exemple lors du travail avec un chargeur frontal. Les chiffres de vente de tracteurs des dernières années montrent une tendance nette vers le tracteur lourd. Le nombre des chargeurs frontaux en service a augmenté en même temps. Pendant les recherches, on a essayé et comparé différents systèmes de direction dans des conditions d'utilisation exactement déterminées (piste bétonnée) et en exécutant des travaux déterminés. On a enregistré au moyen d'appareils de mesure électronique les efforts exigés par la manoeuvre de la direction, les couples sur l'arbre de direction et les angles de braquage. De plus, on a mesuré le pouls du conducteur afin de déterminer la hauteur totale des efforts exigés.

On a examiné, en particulier, au cours de plusieurs séries d'essais, en utilisant le même tracteur, l'influence de la vitesse d'avancement, de la charge sur l'essieu avant, du type de direction (deux directions mécaniques différents et une conduite assistée), de la chasse négative des roues avant, de la construction de l'essieu avant et de la cinématique de direction sur la fatigue du conducteur. On a pu régler un type d'essieu avant de façon à réaliser les conditions optimum. La mesure de la totalité des efforts a révélé qu'il est possible de maintenir pour tous les travaux agricoles les efforts de manoeuvre dans les limites admissibles physiologiquement en appliquant certaines mesures constructives et en utilisant des types de direction appropriés. De plus, on a pu en déduire certaines recommandations au sujet de l'équipement des tracteurs.

Etant donné que l'importance des efforts de manoeuvre de la direction exigés du conducteur dépend aussi de sa position par rapport au volant de direction, on a examiné la disposition la plus avantageuse du volant en se référant à des recherches précédentes dont on a pu tirer également certaines recommandations.

Heinrich Dupuis: «Investigaciones sobre conducciones mecánicas y conducciones por fuerza auxiliar.»

Por investigaciones anteriores se sabe que algunos trabajos agrícolas hechos con tractor pueden dar lugar a esfuerzos excesivos del conductor. En primer lugar el esfuerzo que requiere la conducción, aumenta a medida que suba el peso sobre el eje delantero, p.e. al ejecutar trabajos de carga frontal, y a medida que aumente la profundidad de la huella de las ruedas en el terreno. En los últimos años se ha podido apreciar una tendencia al empleo de tractores pesados, habiendo aumentado al mismo tiempo el empleo de vehículos de años se ha podido apreciar una tendencia al empleo de tractores pesados, habiendo aumentado al mismo tiempo el empleo de vehículos de carga frontal. En las investigaciones hechas se han comparado diferentes sistemas de conducción bajo condiciones exactamente estipuladas (vía de hormigón) con trabajos diferentes ejecutados con tractor, midiéndose al mismo tiempo los esfuerzos necesarios para accionar la conducción, los momentos de giro en el árbol de conducción y los ángulos de oblicuidad de las ruedas con instrumentos electrónicos. También se midió la aceleración del pulso del conductor para la determinación del esfuerzo total.

Se ha medido en detalle en diferentes series de ensayos con el mismo tractor la influencia que ejercen la velocidad de marcha, la carga que pesa sobre el eje delantero, el sistema de conducción (dos mecánicos diferentes y uno por fuerza auxiliar), la marcha en inercia del eje delantero y la cinemática de la conducción. Uno de los ejes delanteros podía ajustarse en sus valores óptimos. Midiéndose la carga total se ha podido apreciar que es posible reducir los esfuerzos necesarios para la conducción a valores fisiológicamente admisibles en todos los tractores agrícolas por procedimientos constructivos y con el empleo de sistemas de conducción adecuados. Pudieron sacarse recomendaciones para el equipo de los tractores.

Como el valor de los esfuerzos que tiene que hacer el conductor para accionar la conducción, depende también de la postura del mismo con referencia al volante, se ha investigado también la disposición más conveniente del volante, empleándose para ello trabajos anteriores, haciéndose también recomendaciones en este sentido.

Radial- und Axialgebläse in der Landwirtschaft

Als Ergänzung zum Beitrag „Die Anwendungsbereiche von Radial- und Axialgebläsen in der Landtechnik“ („Landtechnische Forschung“, Heft 6/1960, S. 163—165) gibt uns der Verfasser noch folgende Angaben über die benutzte Literatur:

- HLAWITSCHKA, E.: Theoretische Grundlagen und die praktische Durchführung der Belüftungsrechnung von Heu, Getreide und Hackfrüchten. *Deutsche Agrartechnik* 8 (1958), S. 203—209
- SEGLER, G.: Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. (RKTL-Schriften, H. 55), Berlin 1934
- SEGLER, G.: Konstruktion landwirtschaftlicher Fördergebläse. *Landtechnische Forschung* 1 (1951), S. 2—10
- SEGLER, G.: Gebläseauswahl für Heubelüftungsanlagen. *Landtechnik* 12 (1957), S. 599—604
- SEGLER, G.: Fortschritte in der Heubelüftungstechnik. *Landtechnik* 13 (1958), S. 590—595
- SEGLER, G., und K. KEUNEKE: Der heutige Stand der Gebläsetechnik. *Landtechnik* 14 (1959), S. 470—473
- SEGLER, G.: Technische Probleme der Belüftung von landwirtschaftlichen Ernteprodukten. In: *Vorträge der wissenschaftlichen Jahrestagung 1959 des Instituts für Landtechnik Potsdam-Bornim. (Tagungsberichte Nr. 22), Berlin 1959, S. 135—154*

Außerdem hat sich in der grafischen Darstellung (Bild 1) ein Fehler eingeschlichen. Wir geben deshalb heute das Bild 1 in der richtigen Darstellung noch einmal wieder:

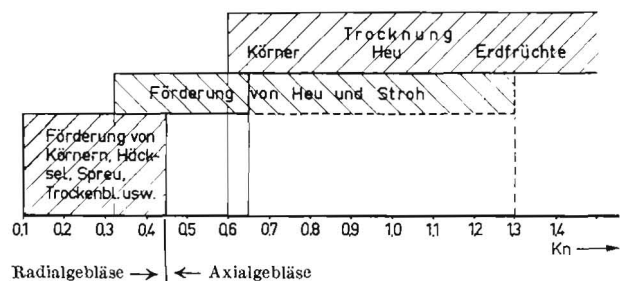


Bild 1: Anwendungsbereiche von Gebläsen in der Landwirtschaft