

Die Bedienung der Lenkung bei Ackerschleppern

Institut für landwirtschaftliche Arbeitswissenschaft und Landtechnik, Bad Kreuznach
und Max Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund

A. Aufgaben und Anforderungen an die Lenkung

Jeder gewünschte Wechsel und jede Korrektur der Fahrtrichtung muß beim Schlepper ebenso wie bei anderen Fahrzeugen — ausgenommen Schienen- und Seilfahrzeuge, die passiv geführt werden — vom Fahrer direkt vorgenommen werden können. Die hierzu dienende Lenkung hat beim Schlepper wegen der notwendigen Geländegängigkeit und wegen der Verwendung als Träger von Geräten besondere Anforderungen zu erfüllen. Außer diesen von der Wirkungsseite der Lenkung gestellten Forderungen sind diejenigen zu berücksichtigen, die die Bedienungsseite betreffen. Wird das nicht getan, so ist leicht eine übermäßige körperliche und nervliche Belastung des Fahrers die Folge. Die Ausführung der Lenkung muß daher den arbeitsphysiologischen Voraussetzungen des Menschen angepaßt sein.

I. Von der *Wirkungsseite* betrachtet, hat die Lenkung folgende Aufgaben:

1. Steuerung des Schleppers allein oder in Verbindung mit Anhängern.
 - a) Das Fahrzeug muß sich in eine bestimmte Richtung hineinlenken lassen.
 - b) Es muß in der gewünschten Fahrtrichtung gehalten werden können.
 - c) Der Schlepper muß sich wieder aus einer Richtung herauslenken lassen.
2. Steuerung am Schlepper angebaute Geräte.
 - a) Steuerung des Gerätes allein durch den Schlepperfahrer. Hierbei kann es sich handeln um
 - a 1) Grobsteuerung (z. B. Kartoffelbearbeitungsgerät, Anbaugrubber und -eggen)
 - a 2) Feinsteuerung (z. B. Rübenhackgerät bei Anbau zwischen den Achsen oder Frontanbau).
 - b) Steuerung unter Mithilfe einer zweiten Person. Hierbei fällt dem Schlepperfahrer im allgemeinen die Grobsteuerung zu, während die Hilfskraft die Feinsteuerung vom Gerät aus übernimmt (z. B. Rübenhackgerät bei Heckanbau).

II. Von der *Bedienungsseite* gesehen, muß die Lenkung auf folgende arbeitsphysiologische Gegebenheiten abgestimmt sein:

1. Maßverhältnisse des „Normal-Menschen“, besonders dessen Armlänge.
2. Berücksichtigung der Körpergrößen, die von den Durchschnittsmaßen des „Normal-Menschen“ abweichen.
3. Arbeitsphysiologisch günstigste Haltung von Oberkörper und Arm für Lenkradbedienung.
4. Bewegungsgrößen in den Gelenken und Bewegungsgeschwindigkeit.
5. Für den „Normal-Menschen“ zulässige Betätigungskräfte, die auch bei längerer Bedienung nicht zu vorzeitiger Ermüdung führen.
6. Reaktionsgeschwindigkeiten.
7. Empfinden für Betätigungsweg und -kraft.

B. Steuerungssysteme

Es soll zunächst die Wirkungsseite der Lenkung, also die bisher gebräuchlichen technischen Mittel zur Durchführung von Lenkmanövern, betrachtet werden, soweit sie einen Einfluß auf die Bedienung von seiten des Menschen haben. Später

werden dann die Bedienungsverhältnisse näher untersucht und die ermittelten Optimalwerte mit den bei Schleppern gefundenen verglichen.

Im Schlepperbau werden zwei Systeme zur Ausführung von Steuerbewegungen angewandt: Entweder werden die Fahrwerke oder ganze Teile des Schleppers oder sogar der ganze Schlepper direkt eingeschlagen. Es handelt sich hierbei um Achsschenkel, Knick- oder Sterzensteuerung. Oder aber — bei dem zweiten Prinzip — man bremst die Fahrwerke einseitig ab und erzielt so indirekt durch die Differentialwirkung einen Lenkeinschlag. Hierzu rechnen die Lenkung bei Kettenfahrzeugen und die Einzelrad- oder Lenkbremse bei Rad-schleppern¹⁾.

Trotz Anwendung beider Systeme in der Landwirtschaft sind sie doch nicht in gleicher Weise für alle anfallenden Arbeiten geeignet. Die ausschließliche Lenkbremmung etwa eines Raupenschleppers gestattet wegen des nicht vorhandenen genügend feinen Fahrgefühles nicht, eine Feinsteuerung mit einem angebauten Gerät durchzuführen. (Auf die Bedeutung der Lagen- und Kraftempfindung bei der Lenkung wird später näher eingegangen.) Andererseits erlauben ausschließliche Achsschenkel- oder Knicksteuerungen kein, die Sterzensteuerung nur ein bedingtes Umwenden des Fahrzeuges auf der Stelle. Es werden daher in der Praxis bäuerliche Schlepper wegen der vielseitigen Verwendung meist mit einer Kombination aus je einer Ausführung der beiden genannten Lenk-systeme ausgerüstet.

Zwei verschiedene Lenksysteme machen jedoch meist auch zwei — wenn nicht mehr — Bedienteile notwendig. So haben Einachsschlepper neben der Sterzenlenkung noch zwei Handgriffe für die Lenkbremsen, Zweiachsschlepper neben dem Lenkrad für die Achsschenkel lenkung noch zwei Fußhebel für die Lenkbremsen. Diese Tatsache ist für eine Vereinfachung der Schlepperbedienung hinderlich, erfordert größere Aufmerksamkeit und häufig größere körperliche Anstrengung, so daß die nervliche und energetische Belastung des Fahrers erhöht wird und Unfallgefahren durch Betätigung zum falschen Zeitpunkt oder Verwechslung der Bedienteile hervorgerufen werden.

Es sollte daher angestrebt werden, die auf der Wirkungsseite verschiedenen Lenksysteme eines Fahrzeuges auf der Bedienungsseite zu einem Betätigungsteil zu vereinigen. (Im Kraftfahrzeugbau gibt es ja schon viele Beispiele der Arbeits-erleichterung durch Wegfall von Bedienteilen z. B. Schaltautomatik für Getriebe, hydraulische Fußgangschaltung bei Fortfall der Kupplung oder Geschwindigkeitsregulation mit nur einem Hebel bei Elektro- und Hydraulikfahrzeugen.)

Für die Lenkung selbst sind solche Beispiele bisher noch selten anzutreffen. Man findet sie etwa bei kombinierten Rad- und Ketten-Militärfahrzeugen oder bei den Schleppern, bei denen Vorderrad- und Bremslenkung gemeinsam vom Lenkrad aus betätigt werden können. Abbildung 1 zeigt als Beispiel eine Bremsvorrichtung, die mit einem Pedal sowohl beide Hinterräder zugleich, als auch — durch Vorwahl bei vollem Lenkeinschlag vom Lenkstockhebel aus über ein Gestänge G und Hebel H nach Lösen des Sperriegels — jedes Hinterrad einzeln

¹⁾ Eine weitere, bei Einachsschleppern angewandte Steuerungsart beruht auf der Ausschaltung einer Triebachshälfte. Dieses System hat aber zwei außerordentliche Nachteile — nämlich die direkte Abhängigkeit der Lenkgeschwindigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit des einen nach treibenden Rades und die sinnwidrige Wirkung bei Bergabfahrt —, so daß es aus arbeitsphysiologischen Gründen als Lenkung im öffentlichen Verkehr abzulehnen ist und daher in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet wird.

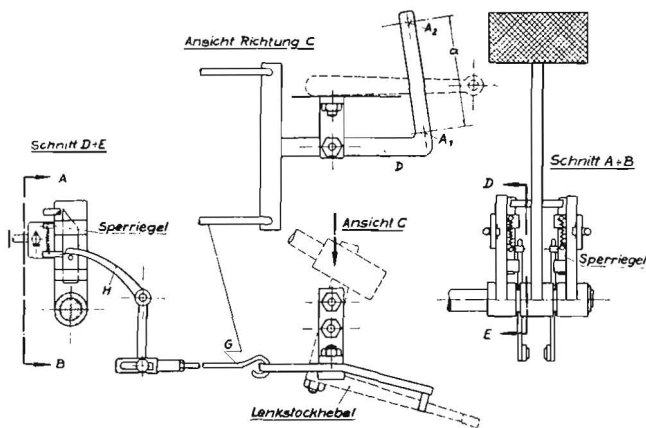


Abb. 1: Unfall sichere Vorrichtung zur Betriebs- und Lenkbremsung mit einem Pedal

abzubremsen gestattet. Diese Lösung ist unfall- und narrensicher und hat sich bei zwei Versuchsschleppern bewährt.

Es bestehen auch grundsätzlich keinerlei Bedenken gegen die Anwendung solcher Konstruktionen, da beide Lenksysteme die gleiche Aufgabe, nämlich die Ausführung von Steuerbewegungen, wenn auch verschiedener Größenordnung, haben. (Sollern die Einzelradbremsen — wie hier — ausschließlich der Lenkung dienen, muß jedoch für weitere Aufgaben eine Differentialsperre vorhanden sein, die für bestimmte Verhältnisse unentbehrlich ist.) [5].

Während die Achsschenkel- und Sterzenlenkung für Lenkeinschläge kleineren Ausmaßes besonders geeignet ist, bleibt der Lenkbremsung die Durchführung von größeren Lenkbewegungen (enge Fahrkreise) vorbehalten.

C. Steuerungsbewegungen beim Vierradschlepper

Entsprechend den zu Anfang genannten Aufgaben der Lenkung, kann man die Steuerungsbewegungen nach dem verfolgten Zweck in zwei Hauptgruppen — gegliedert nach der Bewegungsgröße — einteilen. (Es wird hierbei bereits von dem gebräuchlichsten Steuerungsbedienteil — dem Lenkrad — gesprochen):

I. Lenkradbewegungen für Korrekturlenken
Das Fahrzeug soll möglichst genau in einer bestimmten Richtung gehalten werden. Da dieses völlig exakt nicht möglich ist, wird eine ständige Korrektur notwendig. (Entspricht den Aufgaben I. 1. b für Schleppersteuerung und I. 2. a und b für Geräte-Grob- und Feinsteuerung.) Es handelt sich immer um kleine Lenkradbewegungen.

II. Lenkradbewegungen für gewollte Richtungsänderung

Hierbei kommt es darauf an, dem Schlepper eine ganz neue Fahrtrichtung zu geben, also etwa von der Straße abzubiegen oder am Vorgewende umzukehren. Die Lenkradbewegungen sind mittelgroß bis groß und gehen unter Umständen zum vollen Lenkansschlag.

In einer besonderen Versuchsreihe wurde die Größe der Steuerungsbewegungen unter dem Einfluß verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten untersucht. Wenn auch aus den Ergebnissen dieser Untersuchung noch kein eindeutiger Aufschluß über die aufgewandte Lenkarbeit (Produkt: $m \cdot kg$) erbracht werden kann, weil nur der Faktor Weg (m) ermittelt wurde, so können doch hieraus schon wesentliche Erkenntnisse über die notwendigen Körperbewegungen des Fahrers gewonnen werden.

Als Meßgerät diente ein über die Lenksäule gezogenes, am Lenkrad befestigtes Rohr zum Aufkleben eines Wachsdruckpapiers und ein am Schaltbrett befestigtes Schreibsystem, bei dem der Schreibstift mit Hilfe einer Spindel zur Lenksäule parallel verschoben werden kann (Abb. 2).

Die Daten der Lenkung des 28 PS starken Versuchsschleppers sind:

Drehbereich des Lenkrades vom linken bis rechten Anschlag	3 Umdr.
Radius des Lenkrades	210 mm
Umfang des Lenkrades	1320 mm
Winkel der Schlepperlängsachse mit dem inneren Vorderrad bei vollem Lenkeinschlag	39°
Winkel der Schlepperlängsachse mit dem äußeren Vorderrad bei vollem Lenkeinschlag	32°
Kleinster Fahrkreis (bei 4,01 km/Std.)	
äußerer Durchmesser	7,20 m
innerer Durchmesser	3,75 m

Von den Auswertungen der Diagramme sind in Abbildung 3 die Meßergebnisse von einigen landwirtschaftlichen Schlepperarbeiten dargestellt. Die Größe der Bewegungen ist von ein Viertel zu ein Viertel Lenkradumdrehung in Gruppen aufgeteilt. Jede Säule entspricht einer Gruppe. Da die Diagramme deutlich aufzeigten, daß es sich etwa unterhalb ein Drittel Lenkradumdrehung (LU) um Korrekturlenken, darüber jedoch um gewollte Richtungsänderung handelt, wird jeweils die zweite Säule ($\frac{1}{4}$ bis $\frac{3}{4}$ LU) entsprechend den verschiedenen Schraffuren der beiden Steuerungszwecke in der Mitte geteilt. Die Höhe der Säulen gibt die Häufigkeit der Bewegungen in der Stunde an, wobei unter einer Lenkradbewegung jede Änderung der Lenkradstellung bis zur nächsten Ruhstellung oder bis zum Wechsel der Drehrichtung verstanden wird.

Es ist weiterhin für jede Arbeit die durchschnittliche Größe des Lenkradbewegungswinkels in Form eines Sektors dargestellt. Die Summe aller Bewegungen am Lenkradumfang ist in m je Arbeitsstunde errechnet und als Linie angegeben.

Aus den in Abbildung 3 dargestellten Versuchsergebnissen lößt sich folgendes erkennen:

1. Arbeiten, bei denen die Schlepperlenkung zur Beibehaltung der Fahrtrichtung ständig korrigiert werden muß, erfordern viele kleine aber wenige große Lenkradbewegungen (Kartoffeln roden, Transportfahrten).
2. Arbeiten, bei denen häufig die Fahrtrichtung gewechselt wird (Frontladerarbeiten) erfordern dagegen relativ wenige kleine aber viele mittlere und große Lenkradbewegungen. Beim Heuladen können infolge des sehr langen Frontladers und der damit verbundenen Kippgefahr nicht ganz so große Lenkradeinschläge ausgeführt werden, wie das beim Mistladen im engen Hofraum notwendig ist. Im Mittel

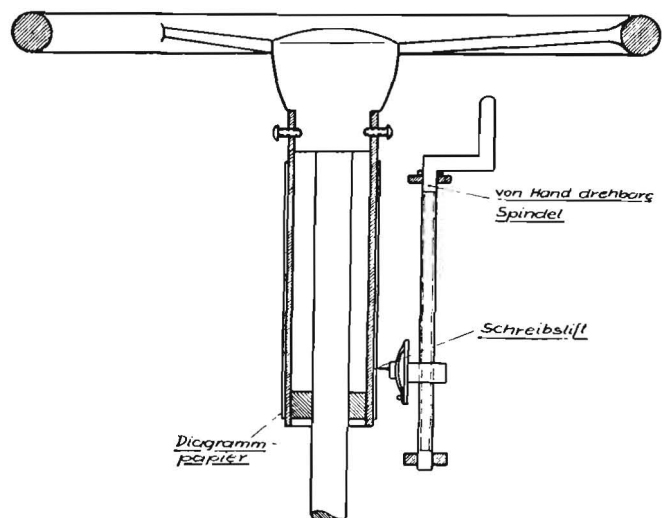


Abb. 2: Mechanische Einrichtung zum Messen der Bewegungen des Lenkrades am Steuer

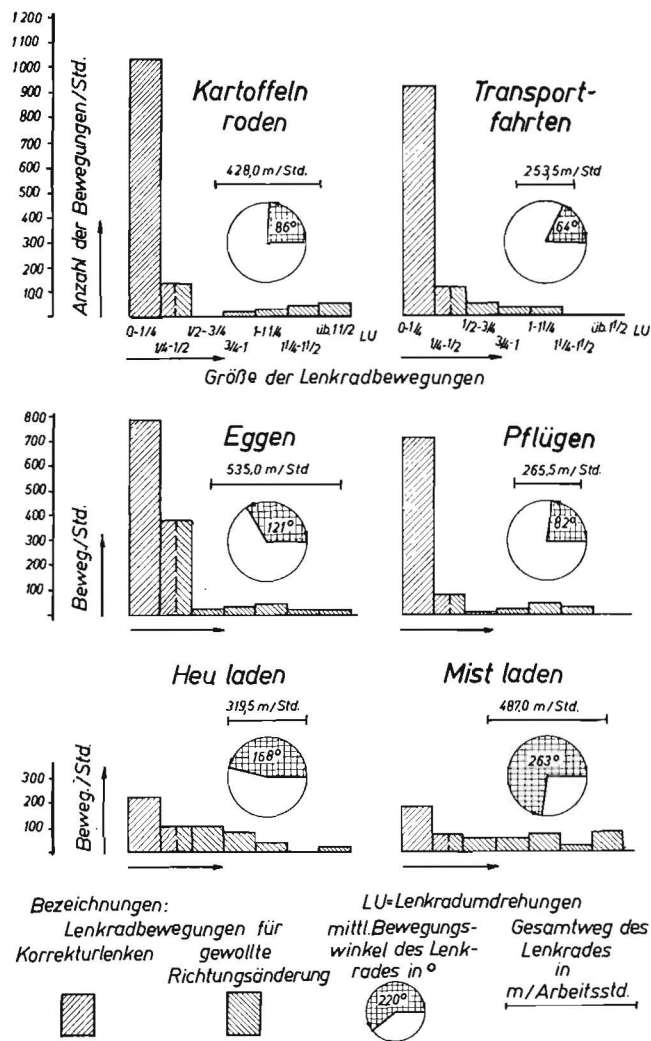


Abb. 3: Lenkradbewegungen, mittlerer Bewegungswinkel und Gesamtweg des Lenkrades bei verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten

betrug daher der Winkel der Lenkradbewegung beim Mistladen fast drei Viertel Lenkradumdrehung (Abb. 3).

3. Diejenigen Arbeiten, bei denen weder sehr oft die Fahrtrichtung geändert noch viel korrigiert werden muß (Eggen, Pflügen), stehen bezüglich Größe und Häufigkeit der Lenkradbewegungen in der Mitte der beiden genannten Extreme.

Gemessen an den Lenkwegen, müßte man annehmen, daß für Frantladerarbeiten und Eggen (auf gepflügtem Acker) viel, für Transportfahrten, Pflügen und Reihenarbeiten relativ wenig Steuerungsarbeit vom bedienenden Menschen geleistet zu werden braucht, falls auch die Lenkkräfte die gleichen Tendenzen zeigen.

D. Kräfte am Lenkrad beim Vierradschlepper

Die Größe der Lenkkräfte bei der Schlepperbedienung ist von zahlreichen Faktoren wie Lenkradgröße, Lenkgetriebeübersetzung, Größe des Lenkeinschlages, Vorderradgröße und Profilausbildung, Sturz und Nachlauf, Vorderachsbelastung, Fahrbahn- und Bodenbeschaffenheit, Fahrgeschwindigkeit, Antriebsart, Anhängung von Geräten (zentral oder außenmittig) und anderem abhängig. Es gilt also zu untersuchen, ob die unter verschiedenen Bedingungen im Schlepperbetrieb auftretenden Lenkbetätigungskräfte noch im Rahmen des für den Menschen Zulässigen liegen. Erst dann muß nach Möglichkeiten geforscht werden, auf welche Weise man die Belastung des Fahrers bei der Lenkradbedienung vermindern kann.

Die Messung der Lenkkräfte erfolgte mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen, die auf dem Biegestab der in Abbildung 4 dargestellten Apparatur aufgeklebt waren, die Registrierung

auf oszillographischem Wege. Gleichzeitig wurde eine Wegschreibung mit einem Potentiometer (mit nicht linearem Verlauf) als Geber und eine Zeitmarkenzeichnung über einen Zeitgeber vorgenommen. Während Abbildung 4 das Schema der gesamten Meßeinrichtung aufzeigt, kann aus Abbildung 5 die Anbringung der Gebervorrichtung am Lenkrad und aus Abbildung 6 die stoßfrei aufgehängte Registriervorrichtung erkannt werden.

Von den bei zahlreichen landwirtschaftlichen Arbeiten und den in Modellversuchen (zur Ermittlung des Einflusses eines Faktors) durchgeführten Messungen können hier nur wenige Ausschnitte der geschriebenen Oszillogramme (Abb. 7—11) wiedergegeben werden. (Eine Darstellung weiterer Versuchsergebnisse ist in der neuen Veröffentlichung über die Untersuchungen am Schlepperführerstand [1] zu finden.)

Die Wegkurve des Lenkrades der Straßenfahrt des Schleppers (Abb. 7) läßt erkennen, daß es sich um Geradeausfahrt mit nur geringen Einschlägen nach rechts oder links zur Korrektur der Fahrtrichtung handelt. Aus dem Kraftverlauf kann der ständige Wechsel von Rechts- und Linkskräften abgelesen werden. Da die Straße völlig eben war, kann gefolgert werden, daß der Fahrer, um das Empfinden für die Stellung der gelenkten Vorderräder zu behalten, mit laufendem Wechsel von Rechts- und Linksbewegungen und -betätigungs Kräften am Lenkrad reagiert. Die vorkommenden Kräfte übersteigen nicht den Wert von 3 kg.

Bei dem Diagramm der Abbildung 8 ist der Schlepper in scharfer Linkskurve — wie der Lenkweg zeigt — auf holprigem Pflaster gefahren. Die Kräfte wechseln stoßartig und steigen mit zunehmendem Lenkeinschlag bis zu Werten von 5 kg an. Unter ähnlichen Bedingungen entstand das Diagramm der Abbildung 9. Jedoch fuhr der Schlepper die enge Linkskurve mit belastetem Frontlader. Infolge der zusätzlichen Belastung der Vorderachse wird die Betätigung des Lenkrades wesentlich erschwert. Die Kraftkurve, die während des Einschlages in großen Schwankungen verläuft, erreicht Spitzenwerte von 13 kg. Da infolge der ständigen großen Lenkradbewegung bei Frontladerarbeiten (Abb. 3) Kräfte dieser Größe in schneller Wiederholung vorkommen, ist die körperliche Belastung des Fahrers für die Lenkradbedienung hier beachtlich.

Beim Grubbern und anderen Schlepperarbeiten auf gepflügtem, in Schollen liegendem Acker (Abb. 10) sind die Vorderräder laufenden stoßartigen Seitenkräften ausgesetzt, die sich

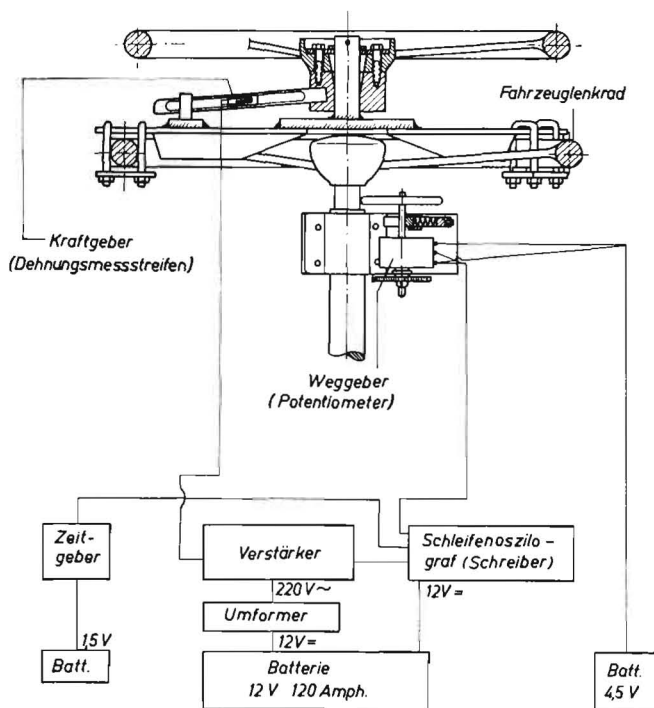


Abb. 4: Kraft-, Weg- und Zeitmeßeinrichtungen für Lenkradbedienung (mechanische Teile im Schnitt, elektrische Teile im Schema)

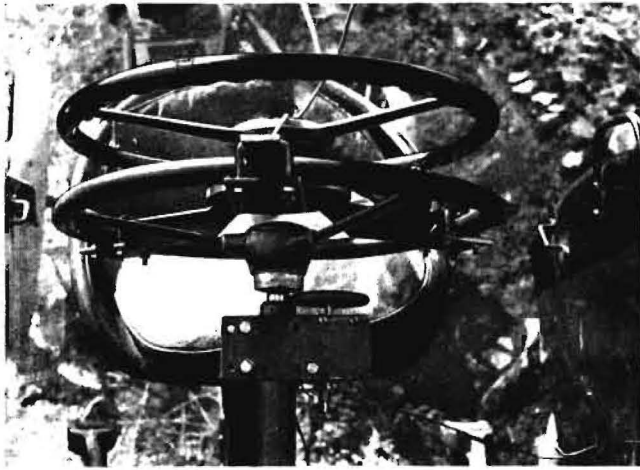


Abb. 5: Kraft- und Wegebervorrichtung am Lenkrad

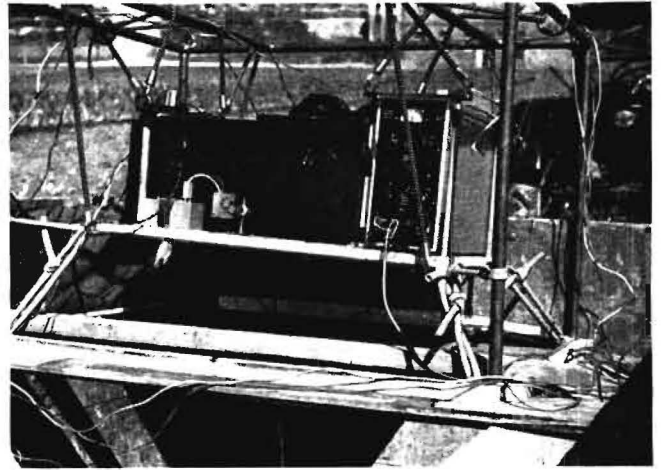


Abb. 6: Registriereinrichtung (Oszillograph) und Verstärker in stoßfreier Aufhängung

bis auf das Lenkrad auswirken. Es wechseln daher stärkere Links- und Rechtskräfte miteinander ab, obgleich die Fahrt- richtung — abgesehen vom Korrekturlenken — im großen ganzen beibehalten wurde.

Eine als Beispiel für ausgesprochene Korrektur-Lenkarbeit schon früher genannte Arbeit ist das Fahren in Reihenkulturen, hier das Hacken von Kartoffeln (Abb. 11). Da das Feld völlig horizontal und eben war, sind die auf der Wegkurve kaum erkenntlichen Lenkradkorrekturbewegungen auf das ständige „Fühlnehmen“ mit der Fahrbahn — in diesem Falle den Kartoffeldämmen — zurückzuführen. Auf Grund der guten Selbstführung der Lenkung durch Sturz und Nachlauf der Vorderräder halten sich die vom Fahrer aufzuwendenden Betätigungskräfte unterhalb 3 kg.

E. Arbeitsphysiologische Gesichtspunkte bei der Lenkradbedienung

Wie der Arbeitsphysiologe aus dem Verlauf der Kraftkurven erkennen kann, handelt es sich bei der Lenkarbeit um eine Mischung von „dynamischer“ und „statischer“ Arbeit der Muskeln [2]. Alle Lenkradbewegungen bedingen eine Bewegung des Ober- und Unterarmes und damit dynamische Muskelarbeit. Die Muskeln ändern laufend durch An- und Entspannung ihr Längen- und Breitenmaß und setzen dadurch ihrer Blut- und Sauerstoffversorgung kein Hindernis in den Weg. Ebenso ist jeder größere Wechsel der Betätigungskraft als dynamische Muskelarbeit aufzufassen, weil sich hierbei die Muskelspannung ändert.

Statische Arbeit der Muskeln ist dagegen dann vorhanden, wenn das Lenkrad ohne größere Bewegung mit bestimmter Kraft gehalten wird, wie es beim Durchfahren einer Kurve mit großer Geschwindigkeit, beim Gegensteuern gegen den Hang oder gegen die Pflugfurchenkante vorkommt. Hierbei werden die Muskeln über eine gewisse Zeit gleichmäßig angespannt und so die Blutgefäße komprimiert. Auf diese Weise wird die Blut- und Sauerstoffversorgung verschlechtert und die Milchsäureabfuhr behindert. Es kommt dann leicht zu Ermüdungserscheinungen. Der Arbeitsphysiologe trachtet daher immer danach, den Anteil statischer Muskelarbeit möglichst zu verringern.

Auch die Oberkörperhaltung des Schlepperfahrers, der keine Rückenabstützung hat, ist bei gleichmäßiger Geradeausfahrt eine ausgesprochene statische Muskelarbeit. Diese Haltung wird jedoch weitgehend von der Lage des Lenkrades beeinflusst. So muß es zu ermüdender Verdrehung des Oberkörpers führen, wenn der Lenkradmittelpunkt nicht direkt vor Sitzmitte liegt. Die Optimallage wird vor allem durch die günstigste Haltung der Arme bei Lenkradbedienung und deren Längenmaße bedingt.

Weiterhin ist es nicht gleichgültig, in welchem Winkel das Lenkrad zum bedienenden Menschen angestellt ist, ob es horizontal, vertikal oder schräg liegt. Je nach der Winkelstellung ist die mögliche Drehgeschwindigkeit, die maximale Betätigungskraft und der Energieverbrauch für eine bestimmte Lenkarbeit verschieden. Auch die „physiologische Nulllage“ im Handgelenk — ein aktiv spannungsloser Zustand der Mus-

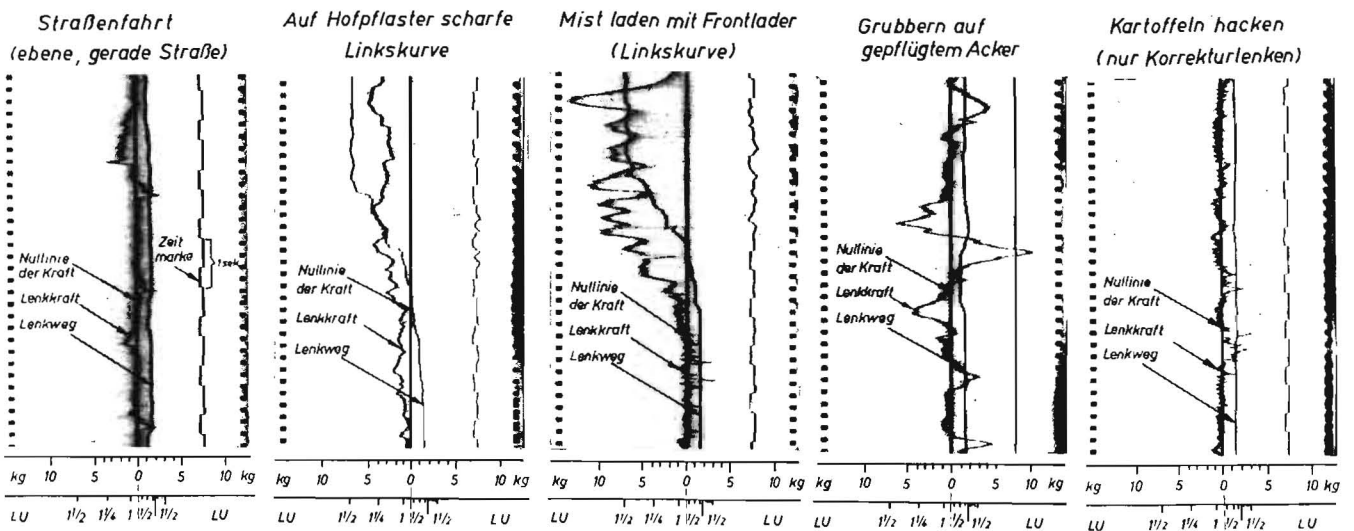


Abb. 7—11: Kraft-, Weg- und Zeitkurven bei der Schlepperlenkung unter verschiedenen Bedingungen

keln und Bänder bei der Handstellung — sind hierbei zu berücksichtigen.

Letztlich muß auch die Größe der Betätigungskraft den arbeitsphysiologischen Bedingungen angepaßt sein, um eine unnötig hohe Beanspruchung des Fahrers zu vermeiden.

F. Optimale Haltung von Oberkörper und Armen bei der Lenkradbedienung

Das Schlepperlenkrad wird bei der Arbeit ständig betätigt. Ihm muß daher in der Anordnung aller anderen Handbedienteilten gegenüber der Vorrang gegeben werden.

Aus schwingungstechnischen Gründen sollte der Oberkörper des Schlepperfahrers aufgerichtet sein [6]. Das Lenkrad darf daher nicht zu weit entfernt oder zu dicht am Fahrer liegen, so daß dieser den Oberkörper vor- oder zurückbeugen muß. Die Arme haben nach Schulte [4] in sitzender Körperhaltung dann die günstigste Arbeitslage, wenn der Oberarm nahezu senkrecht herabhängt und der Unterarm dabei nach vorn zeigt und leicht nach oben gerichtet ist. Der Winkel im Ellenbogengelenk beträgt dann knapp 90° . Wie durch Versuche festgestellt wurde, hat ein Winkel von 97° zwischen Ober- und Unterarm eine Mehrbelastung des Menschen um 4,0 Pulse/min, ein Winkel von 77° eine solche um 6,0 Pulse/min gegenüber einem Winkel von 87° bei gleicher zu leistender Lenkarbeit zur Folge.

Unter Berücksichtigung der Körpermaße, wie sie für den durchschnittlichen Normalmenschen von 1,70 m Größe zutreffen, ergibt sich eine optimale Körperhaltung und Lenkradanordnung zum Sitz, wie sie Abbildung 12 darstellt. Die bei 40 Schleppertypen durchgeführten Messungen zeigen, daß der Abstand zwischen Lenkradmitte und Sitzbeckenstütze bei vielen Schleppern weit größer ist als 500 mm, so daß die Armhaltung verschlechtert oder der Oberkörper vorgebeugt und mit ermüdender statischer Muskelarbeit gehalten werden muß. Um auch Personen, die kleiner oder größer als der „Normalmensch“ sind, eine nahezu gleich günstige Bedienung zu ermöglichen, müßte das Lenkrad für einen 1,85 m großen Menschen um 60 mm nach oben, für einen 1,55 m großen Menschen um 60 mm nach unten — jeweils in Richtung der im Winkel von 55° zur Horizontalen anstehenden Lenksäule — verstellt werden können, da ja für eine zweckmäßige Fußhebelbedienung schon eine Horizontalverstellung des Sitzes erfolgt. Sonst kommt es zu der im vorigen Absatz genannten größeren oder kleineren Anwinkelung im Ellenbogengelenk als knapp 90° , die die Bedienung erschwert. Solche Lenkradverstellungsmöglichkeiten sind bisher nur bei amerikanischen Schleppern bekannt.

G. Optimaler Anstellwinkel des Lenkrades

Zur Ermittlung des Einflusses der Winkelstellung des Lenkrades auf die Bedienung wurden Modellversuche auf einem Versuchsstand durchgeführt, der in Abbildung 13 gezeigt wird. Für die Messungen des Energieverbrauches des Fahrers, die während einer Versuchszeit von jeweils 5 Minuten Dauer nach der Respirationsmethode [3] erfolgten, hatten die Versuchspersonen durch Lenkradbetätigung die Bewegungen eines Zeigers mit einem Folgezeiger nachzusteuern. Da bei allen Versuchen die Bewegungen und Kräfte in gleicher Weise eingestellt waren, ergab sich stets dieselbe Lenkarbeit. Variiert wurde lediglich der Winkel der Lenksäule mit der Horizontalen und damit der Anstellwinkel des Lenkrades.

Zur Ermittlung der maximal vom Fahrer am Lenkrad aufzubringenden Kraft dienten Oldruckdosen und Manometer. Die zehn Versuchspersonen mußten — unterbrochen durch Ruhepausen — in vier Wiederholungen die Maximalkräfte der Arme am Lenkrad ausüben.

Für die Feststellung der maximalen Drehgeschwindigkeit hatte jede Versuchsperson eine Minute lang das Lenkrad so schnell wie möglich zu drehen, während an der Lenksäule die Drehzahl gemessen wurde.

Die Ergebnisse dieser grundsätzlichen Untersuchungen sind in Form von Kurven in Abbildung 14 zusammengefaßt. Der Verlauf der Kurve der maximalen Drehgeschwindigkeit zeigt

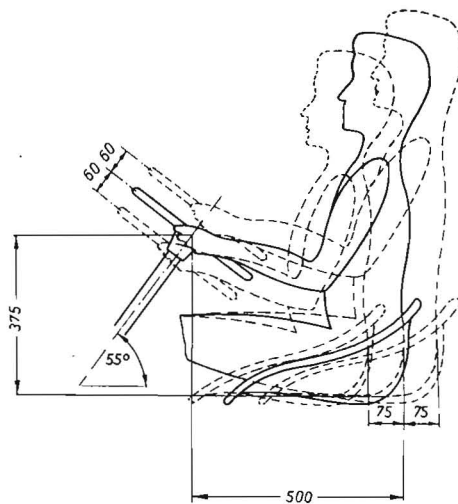


Abb. 12: Optimale Körperhaltung und Lenkradanordnung beim Normalmenschen von 1,70 m Körpergröße, einer kleineren Person von 1,55 m und einer größeren von 1,85 m Körpergröße

von dem vertikal liegenden Lenkrad bis zu dem horizontal liegenden einen Abfall von etwa 100 auf 50 U/min, um dann wieder leicht anzusteigen. Für die Lenkung von Schleppern müssen Drehgeschwindigkeiten von 50 U/min arbeitstechnisch noch als völlig ausreichend angesehen werden. Von dieser Seite betrachtet, besteht also keine Notwendigkeit, die Lenksäule flacher zu legen. Es kommt bei der Schlepperlenkung vielmehr auf die Möglichkeit der Ausübung größerer Kräfte an, die bei landwirtschaftlichen Arbeiten oft erforderlich sind.

Der Kraftverlauf geht im großen ganzen umgekehrt wie die Drehgeschwindigkeit, das heißt, bei einem Winkel der Lenksäule mit der Horizontalen von 0° können die geringsten, bei 105° die höchsten Kräfte ausgeübt werden. (Die 105° Neigung der Lenksäule wurde deshalb noch mit untersucht, weil solche oder ähnliche Stellungen bei der Rückwärtsfahrt mit „Zweiwegeschleppern“ vorkommen.) Gleichzeitig sinkt beim Übergang von 0 bis 60° Lenksäulenwinkel der Energieverbrauch (Arbeits-Kilokalorien/min) des Fahrers für die gleiche Lenkarbeit und ist bei etwa 50 bis 60° am niedrigsten. Das ist auch der Bereich, in dem der größte Anstieg der Maximalkraftkurve erfolgt.

Wenn in diesem Bereich der Energieverbrauch, die Arbeitsschwere also, am geringsten, die mögliche Betätigungskraft relativ hoch, andererseits aber die Drehgeschwindigkeit noch nicht zu niedrig ist, kann man mit Berechtigung von einem „Optimalbereich“ sprechen.

Das wird dadurch noch bestärkt, daß die Lage der Hand zum Unterarm bei dieser Lenkradstellung der „physiologischen Nulllage entspricht“. Das bedeutet, daß weder eine zu starke



Abb. 13: Versuchsstand zur Ermittlung der optimalen Winkelstellung des Lenkrades

Beugung noch eine zu starke Streckung im Handgelenk erfolgt. Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß bei einem Winkel der Lenksäule zur Horizontalen von 50 bis 60° diese die Beinbewegung nicht behindert, andererseits noch genügend Bewegungsraum zwischen Oberschenkel und Lenkrad besteht. Wie die Auswertung der statistischen Untersuchungen bei Schleppern zeigt (Abb. 15), befinden sich bei 43,3 % der vermessenen Schlepper die Lenkräder in diesem Optimalbereich (50 bis 60°). Weitere 40,6 % der Schlepper haben Stellungen der Lenksäulen von 40 bis 49° und von 62—63°, liegen also in der Nähe des Optimalbereiches. Extrem ungünstig sind die Lenkradstellungen bei den restlichen 16,1 % der Schlepper.

H. Physiologisch zulässige Betätigungskräfte

Die Kräfte für die Lenkrodbedienung dürfen nicht zu groß sein, damit der Fahrer alle Bewegungen leicht ausführen kann und sich dabei nicht übermäßig anstrengen muß. Andererseits dürfen die Kräfte auch nicht zu klein werden, damit der Bediener das notwendige Fahrgefühl nicht verliert. Der Erfolg der Lenkradbetätigung durch den Fahrer ist bei Genauigkeits- und Feinstuerung — insbesondere in Verbindung mit Anbaugeräten — nämlich keineswegs allein von den Sichtverhältnissen abhängig, sondern ebenso von dem Empfinden für ausgeübte Kraft und Bewegung. Will man beispielsweise daran denken, die sehr schwergängige Lenkung etwa eines Frontladerschleppers oder eines Großschleppers mit einer elektrischen oder hydraulischen Anlage auszurüsten, so darf man als Steuerorgane nicht solche (einfache hydraulische Schaltschieber oder elektrische Drehwiderstände) verwenden, die die Bedienungskraft auf nahezu 0 kg vermindern. In solchen Fällen darf die elektrische oder hydraulische Servokraft wirklich nur eine Hilfskraft sein, die die großen und mittleren Betätigungskraftspitzen beseitigt, jedoch dem Fahrer das Gefühl der ausgeübten Kraft nicht nimmt.

Zur Angabe der maximal zulässigen Betätigungskraft am Lenkrad muß noch einmal auf Abbildung 15 hingewiesen werden. Die in dem Optimalbereich der Lenkradankordnung noch möglichen maximalen Betätigungskräfte liegen zwischen 39 und 45 kg. Man rechnet damit, daß von einer erreichten Maximalkraft 25 % bis höchstens 33 % als Normalkraft angesehen werden dürfen. Das entspräche Werten von etwa 10 bis 15 kg. Da die in Abbildung 15 angegebenen Zahlen Mittelwerte von bestimmten Versuchspersonen sind, muß jedoch mit solchen Schlüssen sehr vorsichtig verfahren werden. Es ist ja so, daß eine schwächere als dem Durchschnittswert entsprechende Person diese Maximalkräfte nicht erreichen kann und bei Ausübung der genannten entsprechende Normalkräfte übermäßig beansprucht wird. Auf Grund längerer Messungen und Erfahrungen der Arbeitsphysiologen muß als äußerste zulässige Betätigungskraft im Normalfall 15 kg angesehen werden.

Dieses trifft aber immer nur dann zu, wenn das Lenkrad hinsichtlich Entfernung und Höhe zum Fahrer und Winkelstellung wirklich „optimal“ angeordnet ist. Beträgt zum Beispiel der Winkel der Lenksäule mit der Horizontalen nur 30°, so darf entsprechend dem Maximalkraftwert (30,5 kg) die zulässige Normalkraft nur etwa 7,5 bis 10 kg (25 bis 33 %) betragen. Die früher genannten Lenkkräftmessungen lassen erkennen, daß bei einigen Arbeiten die Lenkbetätigungskräfte dem maximal zulässigen Wert nahekommen.

Im allgemeinen sind die bei den gebräuchlichen Schlepperlenkungen notwendigen Kräfte noch angemessen. Sofern jedoch die physiologische Leistungsgrenze des Menschen bei der Lenkradbedienung überschritten werden sollte, wie das bei Hang- und Frontladerarbeit mit größeren Schleppern möglich ist, ist die Anwendung eines technischen Hilfsmittels in Form einer Servowirkung als arbeitserleichternd anzusehen und daher zu begrüßen.

I. Zusammenfassung

Die der Schlepperlenkung gestellten Aufgaben, die bei modernen Schleppern auch die Gerätesteuerung einschließen, können vom bedienenden Menschen nur dann unter Vermeidung einer übermäßigen Anstrengung erfüllt werden, wenn

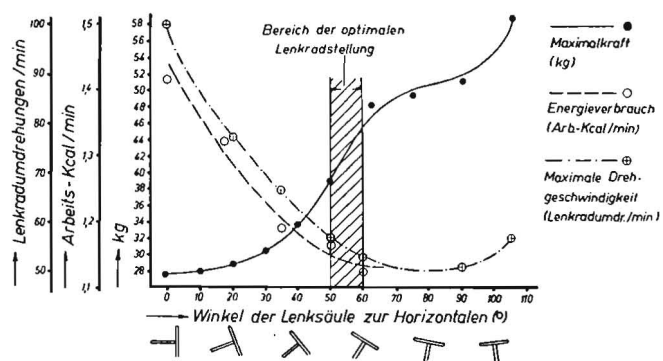


Abb. 14: Einfluß der Lenkradstellung auf Maximalkraft, Energieverbrauch und maximale Drehgeschwindigkeit des Menschen

die Konstruktion der Lenksysteme auf die arbeitsphysiologischen Gegebenheiten des Menschen abgestimmt ist. Sind zwei Lenksysteme an einem Schlepper notwendig, so sollte deren Betätigung durch ein Bedienteil möglich sein, um die Unfallgefahr zu vermindern und die Bedienung zu vereinfachen. Höhe und Entfernung des Lenkrades zum sitzenden Fahrer müssen den anatomischen Verhältnissen und der günstigsten Armhaltung angepaßt sein. Die Neigung des Lenkrades bestimmt die Schwere der Lenkarbeit, die Größe der auszuübenden Kraft, die Bequemlichkeit der Haltung der Hand und den Bewegungsraum für die Beine. Daher ist auch die Lenkradzuordnung eng mit der Grenze der zulässigen Betätigungskraft verbunden. Diese darf bei günstiger Anordnung des Lenkrades für den mittelkräftigen Menschen den Wert von 15 kg keinesfalls überschreiten. Während bei den meisten landwirtschaftlichen Arbeiten die Lenkradbetätigung den Menschen im allgemeinen nicht übermäßig beansprucht, treten bei anderen Arbeiten, etwa bei der Frontladerarbeit, infolge der Größe der Lenkwege und Lenkkräfte größere körperliche Belastungen auf. Wird die Steuerung durch Servoeinrichtungen (Hydraulik) unterstützt, so muß beachtet werden, daß die Betätigungskräfte nicht zu gering werden, sondern für den Fahrer fühlbar bleiben. Denn die Exaktheit der Lenkarbeit ist nicht allein sichtabhängig, sondern wird ebenfalls vom Empfinden für Bewegung und Kraft beeinflusst.

Schrifttum:

- [1] H. Dupuis, R. Preuschen, B. Schulte: Zweckmäßige Gestaltung des Schlepperführerstandes, Heft 20 der Schriftenreihe „Londarbeit und Technik“, Bad Kreuznach, 1955
- [2] G. Lehmann: Praktische Arbeitsphysiologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1953
- [3] E. A. Müller, H. Franz: Energieverbrauchsmessungen bei beruflicher Arbeit mit einer verbesserten Respirationsgasuhr, Arbeitsphysiologie 14/1952
- [4] B. Schulte: Arbeitserleichterung durch Anpassung der Maschine an den Menschen, Carl Hanser Verlag, München 1952
- [5] K. Seuser: Allradantrieb, Lenkbremse und Differentialsperrung beim Schlepperflügen am Hang, Landtechnische Forschung 1/1955
- [6] M. Haack: Über die günstigste Gestaltung der Schleppersitzfederung bei luftbereiften Ackerschleppern mit starrer Hinterachse, Landtechnische Forschung 1/1953

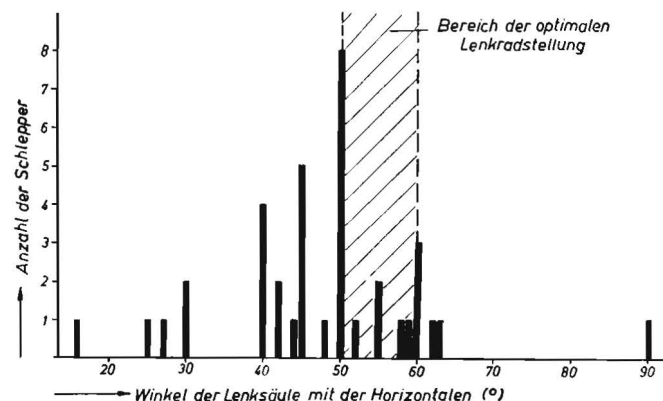


Abb. 15: Winkel der Lenksäule mit der Horizontalen bei 37 Schleppern

Résumé:

Dr. H. Dupuis: „Die Bedienung der Lenkung bei Ackerschleppern.“

Verfasser untersucht die Lenkung von Zweiachsschleppern auf die Beachtung der arbeitsphysiologischen Voraussetzungen des bedienenden Menschen. So müssen beispielsweise Höhe und Entfernung des Lenkrades wie dessen Neigung dem „Normal-Menschen“ entsprechen, um Überbeanspruchung zu vermeiden. Die Neigung des Lenkrades bestimmt ebenfalls die Schwere der Lenkarbeit. Daher ist auch die zweckmäßige Lenkranordnung so zu bemessen, daß die Betätigungskraft den Wert von 15 kg nicht überschreitet. Hydraulische Lenkerleichterungen dürfen die Betätigungskräfte nicht zu gering werden lassen, weil dem Schlepperlenker dadurch das Empfinden für Bewegung und Kraft genommen wird, das aber vorhanden sein muß, soll das Lenken exakt und sicher erfolgen.

Dr. H. Dupuis: „The Steering of Agricultural Tractors.“

The author investigates the steering of four-wheeled tractors from the angle of the physiological demands made upon the operator. Hence, such factors as the height, distance and rake of the steering wheel must be made to suit the normal „man in the street“ so that abnormal strain upon the operator may be avoided. The rake of the steering wheel also determines the degree of labour required for steering the tractor. Hence, the steering mechanism should be so proportioned that the power required to operate it does not exceed 15 kg. Hydraulic auxiliary steering gears must not permit the energy required for operation to be too low, otherwise the operator will lose the sensitivity and delicacy of touch necessary for safe and accurate operation of a tractor.

Dr. H. Dupuis: «La manoeuvre de la direction des tracteurs agricoles.»

L'auteur examine du point de vue physiologique l'effort exigé du tractoriste par la conduite du tracteur. Il est tout d'abord indispensable que la hauteur et la distance du volant ainsi que son angle d'inclinaison correspondent à la taille de «l'homme normal» pour éviter un surmenage du tractoriste. L'inclinaison du volant détermine en outre l'effort nécessaire pour sa manoeuvre. La disposition du volant doit donc être prévue de telle sorte que sa manipulation n'exige pas plus de 15 kg d'effort. D'autre part, des systèmes hydrauliques visant à un allègement de la direction ne doivent pas réduire l'effort exigé par sa manoeuvre autant que le conducteur perd tout sentiment du mouvement et de l'effort qui est indispensable pour qu'il puisse conduire l'engin avec précision et sûreté.

Dr. H. Dupuis: «La manipulación del volante en los tractores agrícolas.»

El autor investiga la conducción de tractores de dos ejes en cuanto a la observación de las condiciones fisiológicas del trabajo en el hombre. Así por ejemplo la altura y la distancia del volante, así como la inclinación deben guardar relación con el «conductor normal», si quieren evitarse esfuerzos exagerados, porque también la inclinación del volante influye en el esfuerzo que requiere la conducción. Es pues conveniente que la disposición del volante sea tal que el esfuerzo de accionamiento no pase del valor de 15 kg. En las instalaciones de conducción hidráulica, en cambio, los esfuerzos en la conducción no deben bajar de un valor determinado, porque de otra forma el conductor perdería la facultad de apreciar el movimiento y el esfuerzo que necesita, si se quiere que la conducción sea exacta y segura.

Dipl.-Ing. M. Rist:

Der Einfluß von Klima und Luftanwärmung auf die Unterdachtrocknung von Heu¹⁾

Die örtlich und zeitlich oft unterschiedlichen Erfolge bei Heutrocknungsanlagen gleicher Bauart ließen es angezeigt erscheinen, zu untersuchen, welchen Einfluß die klimatischen Gegebenheiten auf den Trocknungserfolg haben und unter welchen klimatischen Bedingungen durch Vorwärmen der Frischluft um 4° C bis 6° C eine Steigerung der Trocknungsmöglichkeit ratsam oder notwendig erscheint. Die Untersuchungen hatten zum Ziel, die zu erwartenden klimatischen Verhältnisse schon bei der Bemessung und Beschickung von Heutrocknungsanlagen rechnermäßig mitzubedenken, um damit das Wetterrisiko auf ein Minimum zu reduzieren oder gar ganz zu eliminieren.

Versuchsordnung

Die Untersuchungen wurden an einer Belüftungsanlage mit Bodenrost, festen Wänden und einem Axialgebläse (System Braunschweig), an zwei Zentralrohr-Belüftungsanlagen (ähnlich dem System Babenhausen) mit Axialgebläse und an einer Zentralrohr-Entlüftungsanlage (System Hohenheim) mit Radialgebläse durchgeführt. Als Vorwärmaggregat standen zunächst zwei, später vier Schalenbrenner für leichtes Heizöl zur Verfügung. Die Temperatur und die relative Feuchtigkeit der Frisch- und Abluft wurde mit einem Aspirations-Psychrometer gemessen und mit täglich justierten Thermo-Hygrographen mit Pernix-Haarharfe und 24stündiger Umdrehung der Registriertrommel kontinuierlich aufgezeichnet. Die durch die Vorwärmung erzielte höhere Temperatur der Zuluft wurde mit Thermo-Elementen im Zuluftkanal gemessen. Zur Bestimmung des Wassergehaltes des Trocknungsgutes diente ein elektrischer Trockenschrank, eine Infrarot-Lampe und eine Feinwaage. Das zu trocknende Futter wurde, falls im Text nicht anders vermerkt, mit dem Feldhäcksler in vorgewelktem Zustand aufgeladen, vor dem Entladen gewogen und mit einem Fördergebläse in die verschiedenen Anlagen eingebracht.

Versuchsergebnisse

Das erste Ergebnis war für den Landwirt negativ, für die Aufgabenstellung jedoch positiv. Bei allen Belüftungsversuchen, bei denen sich der Trocknungsprozeß über mehr als zehn Tage hinzog, zeigte sich Schimmelbildung in den noch

nicht getrockneten Zonen. — Auch bei der Getreidetrocknung wird die Höchstdauer der Trocknungszeit mit zehn Tagen angegeben²⁾. Bei dem höheren Wassergehalt des zu trocknenden Heues gegenüber dem des Getreides scheint diese Frist von zehn Tagen eher zu lang als zu kurz zu sein.

Die Abhängigkeit der zulässigen Trocknungsdauer vom Wassergehalt des eingebrachten Heues und der Art, wie die Trocknungsanlage betrieben wird, müßte durch weitere genaue Untersuchungen festgestellt werden. Die durchgeführten Versuche sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Beim ersten Versuch wurde die Luft während 192 Stunden mit zwei Schalenbrennern erwärmt. Das waren meist Nachtstunden oder sonst für die Kaltbelüftung unbrauchbare Zeit. Damit ergab sich eine durchschnittliche Wasseraufnahme von 1,8 g H₂O/m³ Luft und eine durchschnittliche Belüftungszeit von 16 Stunden je Tag. Es ist einzusehen, daß mit dieser Trocknungsleistung das eingebrachte Wasser (6310 kg) nicht innerhalb von zehn Tagen zu verdunsten war.

Beim zweiten Versuch wurde unter Verwendung von vier Schalenbrennern bei täglich 24 stündiger Dauerbelüftung und -heizung Grünfutter getrocknet. Dieses wurde ungehäcksel mit einem Wassergehalt von 82 % von Hand in die Anlage eingebracht. Beim Durchgang durch dieses wasserhaltige Trocknungsgut sättigte sich die Luft fast vollständig. Dadurch und durch die Verwendung von vier Brennern kam die hohe Wasseraufnahme von 2,8 g/m³ zustande.

Der dritte Versuch kann nicht als vollständig gelungen bezeichnet werden. Einerseits herrschten ungünstige klimatische Bedingungen mit fast täglichen Regenschauern und entsprechend hohen Luftfeuchtigkeiten, andererseits arbeitete das provisorische Vorwärmaggregat infolge von Verfübungen mit einem erheblich geringeren Wirkungsgrad als im zweiten Versuch. Dank der Dauerheizung konnte die Trocknung doch noch rechtzeitig abgeschlossen werden, allerdings mit dem hohen Preis von 7,75 DM je dz verdunstetem Wasser. Infolge der eingetretenen Untertrocknung auf 14 % Endwassergehalt sind allerdings 21 % mehr Wasser verdampft worden als nötig gewesen wäre.

Der gute Trocknungserfolg von durchschnittlich 2,3 g/m³ im vierten Versuch hat folgenden Grund: Die Anlage steht in einem großen Scheunenraum mit einer Dachfläche von rund 520 m². Bei Sonnenschein wurde die ohnehin für die Trocknung günstige Luft unter dem dunklen Ziegeldach noch weiter erwärmt. Das Gebläse befand sich über dem Heustock. So saugte es die besonders trockene Luft unter der Dachfläche

¹⁾ In diesem Aufsatz wird über die Ergebnisse von Untersuchungen berichtet, die das KTL auf dem Hof von Dr. von Engelberg, Reute bei Radolfzell, durchführen ließ und deren Ziel es war, festzustellen, welche Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Heutrocknung vordringlich sind.

²⁾ Dr. H. L. Wenner: Die Voraussetzungen für die Lagerung und Trocknung von feucht geerntetem Getreide. Berichte über Landtechnik Heft 45, München-Wolfratshausen, 1955