

Studie über die Beanspruchungen und den Leistungsbedarf beim Schneiden im Förderkanal von Ladewagen

Von Hansmichel Köbsell, Göttingen¹⁾

Der Trennvorgang mittels ortsfester Messer im Förderkanal von Ladewagen unterscheidet sich grundlegend von den bislang bekannten Schneidvorrichtungen für Halmgut. Infolge der niedrigeren Beaufschlagung mit nachfolgender Verdichtungsarbeit werden die Fördererlemente hierbei besonderen Belastungen unterworfen. In umfangreichen Meßreihen wurden von seiten des Ladegutes die Art des Gutes, dessen Feuchtegehalt, der Durchsatz und die Verdichtung variiert. Parallel dazu wurden verschiedene Neigungswinkel, Anordnungen und Abstände der Messer untersucht. Nachdem bereits über erste Teilergebnisse berichtet werden konnte [4], wird hier eine zusammenfassende Darstellung des gesamten Versuchskomplexes vorgelegt.

Einleitung

Der verfahrenstechnische Wert von Schneideinrichtungen für Ladewagen ist heute allgemein anerkannt. Das Zerschneiden des Ladestranges im Förderkanal bringt auf jeden Fall eine erhebliche Erleichterung der Handarbeit beim Abladen mit sich und ist Voraussetzung für eine mechanische Dosierung bei der Beschickung von Stetigförderern.

Die allgemeine Aufgabenstellung, die zu der vorliegenden Arbeit geführt hat, fußt auf einer kritischen Betrachtung der Ladewagenentwicklung gegen Ende des Jahres 1965, als erstmalig eine breitere Anwendung von Schneidwerken zu beobachten war. Die Vielzahl konstruktiver Lösungen, neuer Patentanmeldungen und Gebrauchsmustereintragungen ließ erkennen, daß über die zusätzlich auftretenden Belastungen, wie über die funktionellen Eigenheiten der verschiedenen Schneidsysteme nicht immer begründete Vorstellungen vorlagen. Diese Vermutung wurde durch die damals verstärkt auftretenden Schäden an Antriebs- und Fördererlementen bestärkt.

Zu diesem Zeitpunkt lagen Ergebnisse über Schnittkräfte nur von konventionellen Systemen mit hohen Schnittgeschwindigkeiten und verhältnismäßig exakter Führung entlang einer Gegenschneide vor. Mit dem Auftreten analoger Tendenzen hinsichtlich der Trennkräfte war bei der Schneidförderung im Ladewagenkanal nicht zu rechnen. Offensichtlich fällt hier der Vorgang des Durchtrennens der Halme strenggenommen nicht unter die technologischen Begriffe Schneiden und Abscheren, wie sie u. a. von Königer [5] und Stoppel [14] geprägt wurden. Es konnte in mehreren Untersuchungen nachgewiesen werden, daß bereits eine geringe Klaffung zwischen Messer und Gegenschneide einen deutlich höheren Kraftbedarf zur Folge hat [2; 6; 11]. Beim Ladewagen ist diese Klaffung wesentlich größer, was auf einen andersartigen Trennvorgang wie auf einen höheren spezifischen Kraftbedarf hindeutet.

Schulz und Mitarbeiter [7 bis 10] berichteten als erste anhand zahlreicher Einsatzversuche über den Leistungsbedarf unterschiedlicher Schneid- und Fördersysteme von Ladewagen in Abhängigkeit von Ladegut und Durchsatz. Meßgeber war hierbei eine Torsionsmeßnabe im Zapfwellenstrang. Die an den einzelnen Schneid- und Fördererlementen auftretenden Kräfte wurden dabei nicht erfaßt. Ähnliche Versuche wurden auch in der Tschechoslowakei durchgeführt [3; 12; 13]. Ungeklärt blieb, inwieweit sich so unterschiedliche Arbeitsvorgänge, die hier

erstmalig in einem Aggregat, **Bild 1**, zusammengefaßt werden, wie Durchstechen und Trennen des Schwads, Beschleunigen, Verdichten und Durchschneiden des Förderbissens, die Endverdichtung und das Abstreifen unter dem Gegendruck einer Gutsäule, gegenseitig beeinflussen. Unter diesen Aspekten schien es nützlich, den Schneidvorgang im Förderkanal von Ladewagen mit Hilfe systematischer Untersuchungen näher zu analysieren, wobei vor allem der Einfluß des Neigungswinkels des Messers, der Gutsfeuchte und der Endverdichtung erfaßt werden sollte.

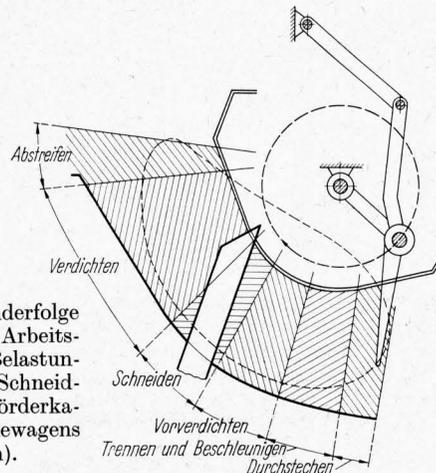


Bild 1. Aufeinanderfolge unterschiedlicher Arbeitsvorgänge und Belastungen bei der Schneidförderung im Förderkanal eines Ladewagens (schematisch).

Versuchsdurchführung

Um zu einer weitgehenden Ausschaltung von unvermeidlichen Bestandsunterschieden und konstruktiven Eigenheiten zu gelangen, war es nach ersten Einsatzmessungen erforderlich, die Versuche witterungsgeschützt in die Institutshalle zu verlegen, **Bild 2**, und auf das gebräuchlichste Fördersystem, nämlich die gesteuerte Förderschwinde, zu konzentrieren [1]. Als Schneideinrichtung wurden feststehende Messer, wie sie vorwiegend verwendet werden, gewählt. Die Messer waren 6 mm dick und hatten gerade Schneiden, die einen Watenwinkel von 17° aufwiesen. Bei den Versuchen erfolgte die Zuführung des portionsweise für jeweils 5 m Schwadlänge abgewogenen Gutes über ein 90 cm breites und 30 m langes Zuführband, dessen Geschwindigkeit stufenlos regelbar war. Beaufschlagt wurde jeweils nur eine Kanalbreite von 78 cm, um eine gleichmäßige Füllung des

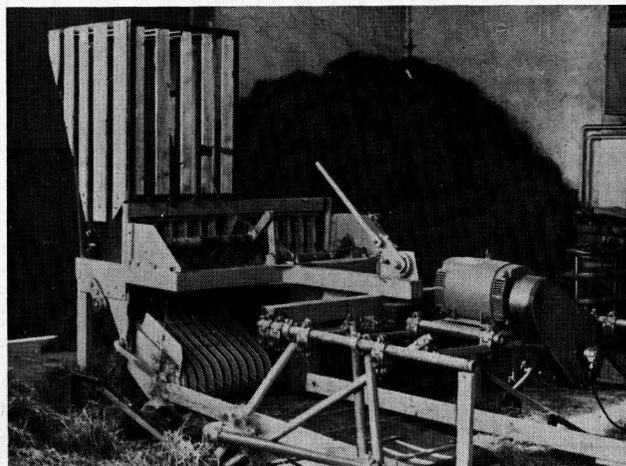


Bild 2. Die Versuchseinrichtung mit Zuführband, verstellbarer Antriebsbrücke und dem Förderaggregat mit aufgesetztem Stauraum.

¹⁾ Vorgetragen auf der VDI-Tagung Landtechnik in Braunschweig am 13. Oktober 1967.

Dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sei an dieser Stelle für die Förderung dieser Forschungsarbeit, den verschiedenen Herstellerfirmen für ihre Unterstützung bei den Versuchen gedankt.

Dr. agr. Hansmichel Köbsell ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Landmaschinen-Institut (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Franz Wieneke) der Universität Göttingen.

Kanalquerschnitts durch Einengen der leicht abfallenden Schwadflanken zu erreichen. Ein Stauraum mit abnehmbarer Rückwand gestattete entweder eine Durchsatzförderung oder die Simulierung praxisnaher Verdichtungen oberhalb des Förderkanals. Der Anschluß der Förderaggregate an die Antriebsbrücke war frei verstellbar, wodurch in jedem Fall eine gestreckte Gelenkwellenführung eingehalten werden konnte.

Gemessen wurden das Drehmoment M_t an der Antriebswelle, die vertikalen und horizontalen Biegemomente M_{bv} und M_{bh} an Förderzinken und das Drehmoment an einem Messerhalter. Meßgeber waren Dehnungsmeßstreifen in der üblichen Schaltung. Die Übertragung der Meßsignale auf einen Direktschreiber erfolgte nach bekannten Methoden. **Bild 3** zeigt die Auswertung eines typischen Meßschriebs (ohne das Drehmoment am Messerhalter).

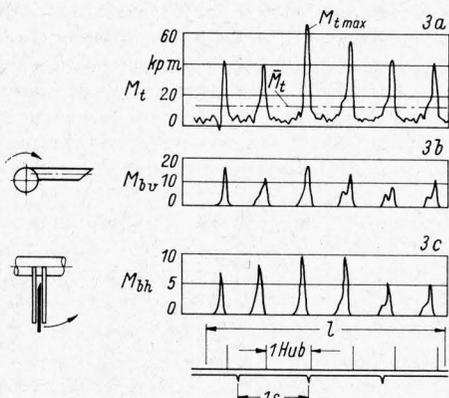


Bild 3. Ausschnitt einer Meßwertaufschreibung des Drehmoments M_t an der Hauptantriebswelle und der vertikalen und horizontalen Biegemomente M_{bv} und M_{bh} an einem Förderzinken.

Bild 3a. max. Antriebsmoment $M_{tmax} = 62$ kpm

mittl. Antriebsmoment $\bar{M}_t = 13$ kpm

Bild 3b. Spitzenwerte des vertikalen Biegemoments:

maximal $M_{bvmax} = 17$ kpm

i. M. $\bar{M}_{bv} = 12,8$ kpm

Bild 3c. Spitzenwerte des horizontalen Biegemoments:

maximal $M_{bhmax} = 9,2$ kpm

i. M. $\bar{M}_{bh} = 7,2$ kpm

Deutlich erkennbar sind die aufgrund der intermittierenden Förderung der Förderschwinde auftretenden steilen Momentenspitzen. Die Drehmomente an der Antriebswelle wurden integriert; die mittlere Höhe des Flächenintegrals entspricht dem mittleren Antriebsmoment M_t , woraus mit einfacher Umrechnung die mittlere Antriebsleistung N bestimmt werden kann. Im Gegensatz dazu wurde von den Biegemomenten nur das Mittel der Spitzenwerte bestimmt, weil infolge der kurzzeitigen Belastungsschübe ein Planimetrieren oder elektronisches Integrieren nicht durchführbar waren. Außerdem ist diese Auswertmethode für den Konstrukteur insofern zweckmäßiger, da er bei der Berechnung des erforderlichen Widerstandsmoments für die Förderzinken von den auftretenden Momentenspitzen ausgehen muß. Auf diesen unterschiedlichen Auswertungsmodus sei besonders hingewiesen.

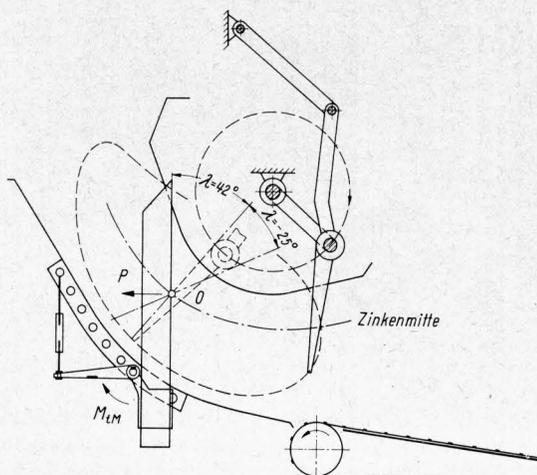


Bild 4. Einzelmesserverstellung des Versuchsförderaggregats E_D .

In den ersten Versuchsreihen sollten zunächst die beim Schneiden an einem Einzelmesser auftretenden Kräfte bestimmt werden. **Bild 4** zeigt die Versuchsanordnung. Das Messer ist einseitig in einer Tasche gehalten, die mittels eines Zapfens in einem Lochsegment gelagert ist. Sie wird über einen Biegehebel und eine in der Länge verstellbare Stütze in ihrer Lage fixiert. Durch Verändern der Stützweite und Umsetzen des Messerhalters in der Lochschiene konnte das Messer so verschwenkt werden, daß eine Änderung des Neigungswinkels λ der Schneide über einen Bereich von -25° bis $+42^\circ$ erreicht wurde. Der Neigungswinkel λ der Schneide ist definiert als der Winkel zwischen der Ebene der Förderzinkenoberflächen und der Ebene der Schneidkanten im Augenblick, wenn die Mitte der wirksamen Zinkenlänge die Schneidkanten in 0 passiert. Ist die Förderebene parallel zur Schneidkantenebene, dann ist $\lambda = 0$. Bei vorwärtsgestelltem Messer wurde der Neigungswinkel mit einem negativen Vorzeichen versehen. Gemessen wurde das an dem Messer wirkende Drehmoment M_{TM} um den Drehpunkt des Messerhalters. Zur Berechnung der senkrecht zur Schneidkante wirkenden Schnittkraft P wurde in erster Annäherung angenommen, daß diese in der Mitte der wirksamen Zinkenlänge angreift. Das wesentliche Merkmal dieser Messeranordnung besteht darin, daß sich in jeder Winkelstellung der definierte Schnittpunkt stets an demselben Punkt 0 im Kanal befindet. Dadurch wurden wechselnde Größen von Fördergeschwindigkeit, Kanalhöhe und Förderspalt bis auf ein vernachlässigbares Mindestmaß ausgeschlossen. In **Bild 5** ist die Ausführung des Messerhalters mit den Lochschienen, der Haltetasche mit dem Zapfen, dem Stützhebel, dem aus der Tasche herausragenden Messerende und den Meßstellen an den Biegehebeln zu erkennen.

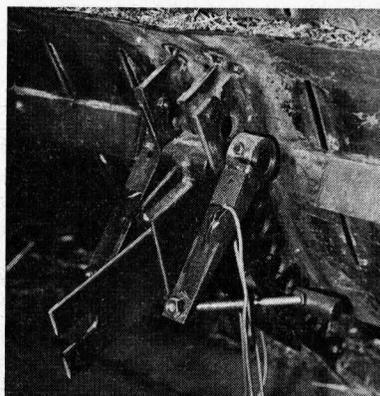


Bild 5. Verstellbarer Messerhalter mit Stützhebeln und Meßstellen.

Einfluß des Neigungswinkels der Messer

Bild 6 zeigt die Ergebnisse für einen Durchsatz von $2,4$ kg/s Welkgut mit einem Feuchtegehalt von 64% : die Schnittkräfte sind im Bereich des negativen Neigungswinkels, also bei vorwärtsgestelltem Messer, am höchsten und nehmen über die Nulllage hinweg bis etwa 35° stetig ab. Die Kurve für die vertikale Zinkenbiegung M_{bv} hat einen ähnlichen Verlauf²⁾. In **Bild 7** sind die Ergebnisse für einen Durchsatz von $0,8$ kg/s Wintergerstestroh aufgetragen. Hier tritt die Abhängigkeit der Schnittkräfte und der Zinkenbiegung vom Neigungswinkel noch deutlicher in Erscheinung. Nach dem Kurvenverlauf für Schnittkraft und Zinkenbiegung könnte man folgern, daß bei $\lambda = 42^\circ$ der optimale Neigungswinkel noch nicht erreicht worden ist. Dazu muß bemerkt werden, daß hier Mittelwerte wiedergegeben worden sind. Bei $\lambda = 42^\circ$ sind mitunter Kräfte aufgetreten, die mit denen im Bereich von $\lambda = 30$ bis 35° etwa übereinstimmen. Es ist anzunehmen, daß hier die Grenze des zulässigen Klemmwinkels erreicht wird. Darüber hinaus schiebt sich das Gut und damit auch der Kraftmittelpunkt mehr zur Messerspitze, wodurch das Drehmoment um den Drehpunkt des Messerhalters größer wird. Der geringe Energieaufwand mit zunehmendem Neigungswinkel λ bleibt auch mit steigendem Durchsatz bestehen, wie **Bild 8** zeigt. Bei allen drei Meßgrößen bleibt die anfängliche Differenz zwischen den einzelnen Winkelstellungen mit steigendem Durchsatz voll erhalten. Die Kurven verlaufen annähernd parallel.

²⁾ Das gemessene, vertikale Zinkenbiegemoment M_{bv} ist auf die durch die Mitte des Befestigungsrohres gelegte „Biegeebene“ bezogen, siehe Bild 20.

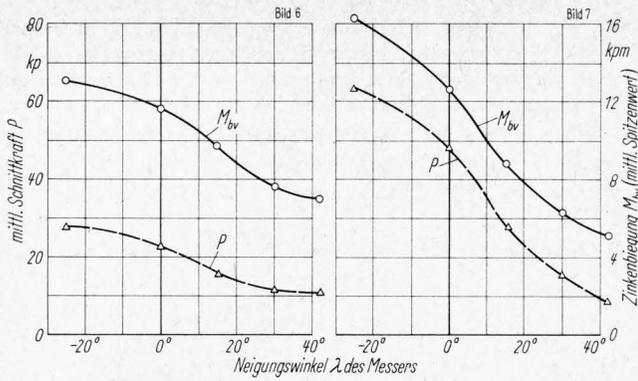


Bild 6 und 7. Schnittkraft P und vertikales Biegemoment am Förderzinken in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel λ bei der Einzelmesserausführung nach Bild 4 und 5 (Förderaggregat E_D).

Bild 6. Schnittgut: angewelktes Wiesengras
Feuchtegehalt $U = 64\%$
Durchsatz $2,4 \text{ kg/s}$

Bild 7. Schnittgut: Wintergerstenstroh
Feuchtegehalt $U = 12\%$
Durchsatz $0,8 \text{ kg/s}$

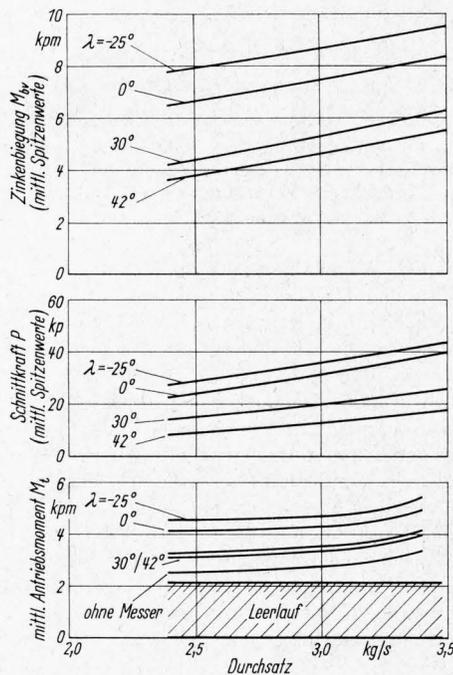


Bild 8. Antriebsmoment, Schnittkraft und Biegemoment am Förderzinken in Abhängigkeit vom Durchsatz bei verschiedenem Neigungswinkel des Messers (Einzelmesserausführung E_D).

Schnittgut: angewelktes Wiesengras
Feuchtegehalt $U = 64\%$

Einfluß der Messerlage im Förderkanal

Diese Ergebnisse lassen bereits die Schlußfolgerung zu, daß zur Erreichung günstiger Schnittkräfte rückwärtsgestellte Messer mit einem mittleren Neigungswinkel von wenigstens 35° verwendet werden sollten. Neben dem mittleren Neigungswinkel von 35° ist aber auch die Lage des Messers im Kanal, genauer seine Zuordnung zur Förderbahnkurve, für den Energieaufwand mitbestimmend. Bei der Anordnung nach Bild 9 wurde das Messer um ein Festlager in den Kanal geschwenkt. Mit ungünstiger werdendem Neigungswinkel, der hier zur Unterscheidung von der Einzelmesserausführung mit λ' bezeichnet ist, nimmt außerdem der Überdeckungsbereich der Förderzinken und deren Fördergeschwindigkeit ab. Bei dieser Anordnung war es weiterhin möglich, den Einfluß der (theoretischen) Schnittlänge durch Verwendung mehrerer Messer zu untersuchen. Die einzelnen Messeranordnungen zeigt Bild 10. Bei der von Doppelzinken durchdrungenen und vorzugsweise benutzten Kanalhälfte E_D konnten 1, 2, 3 und 6 Messer in den vorher gezeigten vier Winkellagen sowie die Messerhalterung nach Bild 4 eingebaut werden. Bei Vergleichsversuchen mit Einzelzinken E_E lag die gleiche Messer-

teilung vor. Hier wurden zu Vergleichsmessungen aber nur bis zu drei Messer montiert. Bild 11 zeigt die Ergebnisse bei einem Durchsatz von 1 kg/s Heu. Es ist deutlich zu erkennen, daß der Anstieg der mittleren Spitzenhöhe des Biegemomentes am Förderzinken mit abnehmendem Neigungswinkel wesentlich steiler verläuft als bei der Einzelmesserausführung (Bild 7). Daraus kann man entnehmen, daß sich die ungünstige Lage im Kanal wenigstens genauso stark auswirkt wie der Einfluß des Neigungswinkels. Die Kurven der mittleren Antriebsleistung für die einzelnen Neigungswinkel laufen nach Bild 12 nicht parallel, sondern divergieren im Bereich der ungünstigen Neigungswinkel

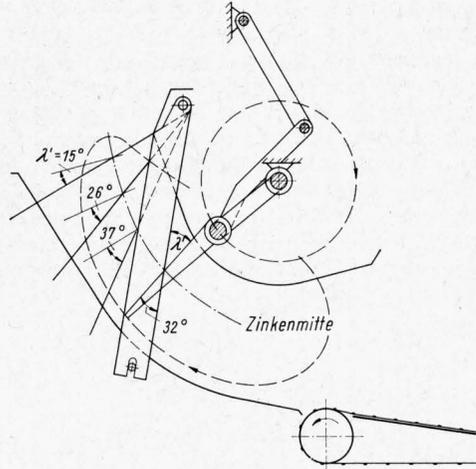


Bild 9. Lage der Messer im Förderkanal bei dem mit Doppelzinken ausgerüsteten Förderaggregat E_D (bei Einzelzinken des Aggregats E_E nur eine Einstellung der Messer $\lambda' = 37^\circ$).

Drehzahl der Antriebswelle $n = 90 \text{ U/min}$
(bei Zapfwelldrehzahl $n = 580 \text{ U/min}$)
mittl. Fördergeschwindigkeit $v = 2,5 \text{ m/s}$

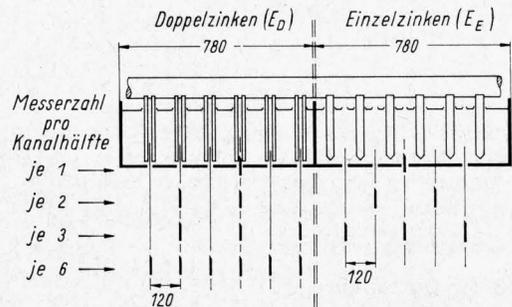


Bild 10. Anordnung der Förderzinken und Schneidmesser am Versuchs-Förderaggregat E_D und E_E .

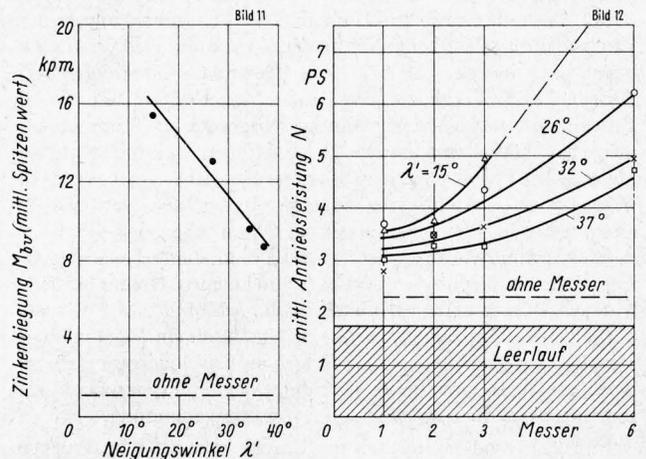


Bild 11 und 12. Biegemoment M_{bv} am Förderzinken in Abhängigkeit von der Messerstellung (Bild 11) und Antriebsleistung N in Abhängigkeit von der Messerzahl bei verschiedenem Neigungswinkel λ' (Bild 12).

Förderaggregat E_D mit Messeranordnung nach Bild 9.

Durchsatz 1 kg/s Heu
Feuchtegehalt $U = 16\%$

mit zunehmender Messerzahl recht erheblich. Für die ungünstige Messerlage $\lambda' = 15^\circ$ konnte bei Benutzung von 6 Messern kein gesichertes Ergebnis gewonnen werden, weil die Belastung derart anstieg, daß die Überlastungskupplung wiederholt ansprach. Ferner ist zu erkennen, daß bei der günstigen Messerlage von $\lambda' = 37^\circ$ der Leistungsbedarf bis zu einem Messerabstand von 25 cm, d. h. bei Verwendung von drei Messern, nur geringfügig ansteigt.

Bild 13 und 14 geben die Ergebnisse bei drei eingebauten Messern und einem steigenden Durchsatz an Heu wieder. Die Rangfolge der einzelnen Messerstellungen bleibt hier über den gesamten Durchsatzbereich in aller Deutlichkeit bestehen. Interessant ist, daß sowohl die Zinkenbiegung wie auch die Antriebsleistung bei Förderung ohne Schnitt (die gestrichelten Kurven „ohne Messer“) mit zunehmendem Durchsatz einen wesentlich stärkeren Anstieg zeigen als die Kurven für Förderung mit Schnitt. Dies läßt sich dahingehend erklären, daß bei Förderung ohne Schnitt mit zunehmender Bissenlänge die Verdichtungsarbeit im Kanal progressiv ansteigt. Bei der Förderung mit Schnitt muß dagegen bereits bei geringem Durchsatz vor den Schneiden eine erhebliche Verdichtungsarbeit aufgebracht werden, deren Zuwachs mit steigendem Durchsatz nicht mehr so stark in Erscheinung tritt.

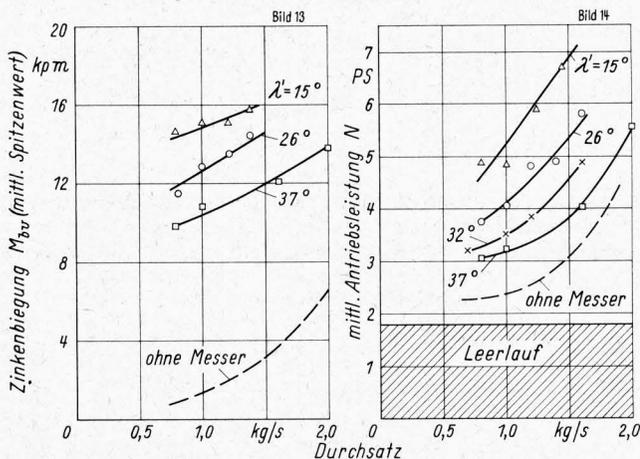


Bild 13 und 14. Biegemoment M_{bv} am Förderzinken (Bild 13) und Antriebsleistung N (Bild 14) in Abhängigkeit vom Durchsatz bei verschiedenen Messerstellungen (nach Bild 9).

Förderaggregat E_D mit drei eingebauten Messern
Feuchtegehalt des Heues $U = 16\%$

Einfluß der Gutfeuchte

Die weite Verbreitung des Ladewagens ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß mit ihm Halmgut der verschiedensten Feuchtegehalte mit gleicher Vorzüglichkeit geladen werden kann. Deshalb wurde im Verlauf dieser Untersuchungen dem Einfluß unterschiedlicher Gutfeuchte auch ein besonderes Gewicht beigemessen. Um bei diesen Messungen eine einheitliche Bezugs- und Vergleichsbasis aufrechtzuerhalten, wurde die Beschickung auf einen konstanten Durchsatz an Trockenmasse ausgelegt. Dabei wurden aus gleichmäßigen Beständen größere Mengen auf Vorrat gemäht und witterungssicher getrocknet. Bei Erreichung der wichtigsten Feuchtegehaltsstufen wurden dann entsprechende Portionen abgewogen und über das Band zugeführt. Damit wurde erreicht, daß die Zahl, die Art wie auch die Länge der zu fördernden und zu schneidenden Halme bei jeder Versuchsreihe annähernd gleich blieb. Auf praktische Einsatzverhältnisse übertragen, wurde das Gut in einem gleichmäßigen Bestand, bei gleichbleibendem Ertrag an Frischmasse jeweils mit derselben Aufsammelbreite und derselben Fahrgeschwindigkeit mit unterschiedlichem Trocknungsgrad aufgenommen.

In **Bild 15** sind bei konstantem Durchsatz von 2,0 kg Trocken-substanz/s über dem Feuchtegehalt das mittlere Antriebsdrehmoment und der Durchsatz an Ladegut abgetragen, wie sie bei der Standmessung mit einem Ladewagen gemessen wurden. Der Verlauf der Belastungskurven ohne Messer, mit drei und mit sieben Messern zeigt keinerlei Abhängigkeit von der in den einzelnen Feuchtestufen durchgesetzten Masse (gestrichelte Kurve). Auffallend ist ferner, daß, ausgehend vom Frischgut mit etwa

80% Feuchtegehalt, alle Kurven zunächst abfallen, um etwa bei 60% Feuchtegehalt einen Wendepunkt aufzuweisen. Die beiden Kurven für die Förderung mit 3- und 7-Messerschnitten steigen dann in Richtung des Trockenbereiches parallel an, während die Kurve für die Förderung ohne Messer nur etwa bis 40% Feuchtegehalt ansteigt, um dann mit zunehmender Trocknung erneut abzufallen.

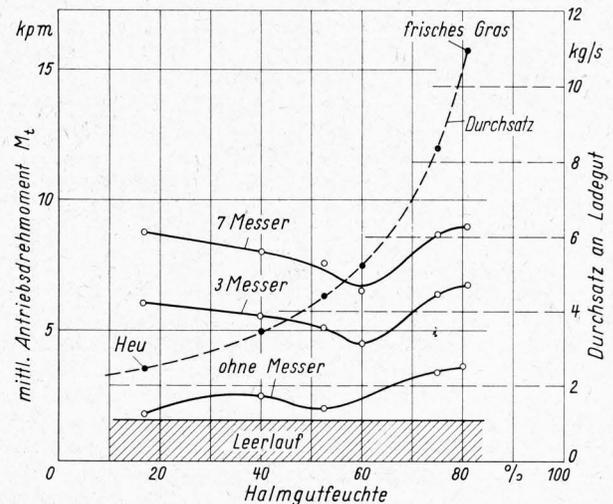


Bild 15. Einfluß der Halmgutfeuchte auf das mittlere Antriebsmoment M_t an der Zapfwelle ($n = 565$ U/min) bei einem konstanten Durchsatz von 2,0 kg/s Trockenmasse mit und ohne Schnitt im Förderkanal eines Ladewagens mit Doppelförderschwinde.

Von *Liljedahl* [6] sind eine Reihe von Messungen bekannt, mit denen die für den Exaktschnitt benötigte Abscherenergie bestimmt wurde. Er bringt darunter auch eine Darstellung über den Einfluß der Gutfeuchte auf den auf die Feuchtmasse bezogenen Energieaufwand, **Bild 16** (Kurve a). Bezieht man den Energieaufwand nicht wie *Liljedahl* auf die Feuchtmasse, sondern auf die Trockenmasse des geschnittenen Gutes, so erhält man durch Umrechnen aus der Kurve a die gestrichelte Kurve b. Dabei ergibt sich auch hier ein Wendepunkt bei etwa 60% Feuchte mit nachfolgendem Ansteigen bis etwa in den Bereich von $U = 40\%$. Mit zunehmender Trocknung fällt dann diese Kurve weiter ab. Da bei diesen Messungen ein vorgepreßter Strang zugeführt und der Vorgang des Durchtrennens ohne überlagernde Störgrößen untersucht wurde, bleibt festzustellen, ob und unter welchen Bedingungen Analogieschlüsse zulässig sind.

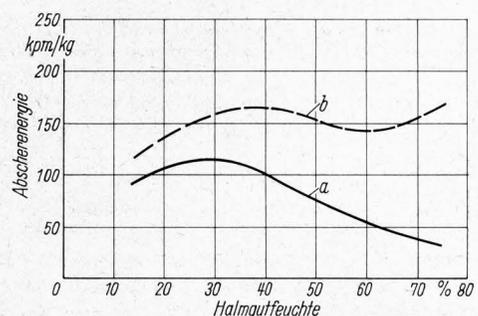


Bild 16. Abscherenergie für eine etwa 1 cm dicke und 20 cm breite Luzernematte in Abhängigkeit von der Gutfeuchte nach *Liljedahl* u. a. [6].

Walzendruck auf das Schnittgut etwa 2,7 kp/cm

- a Abscherenergie in kpm je kg abgeschnittenes feuchtes Gut bei einer Hacksellänge von 2,5 cm nach *Liljedahl*
- b auf die Trockenmasse des geschnittenen Gutes bezogene Abscherenergie, aus der Kurve a errechnet

Bild 17 zeigt nun Ergebnisse, die wiederum mit der Einzelmessernanordnung gewonnen wurden. Die Beschickung mit Kleegras war auf einen konstanten Durchsatz an Trockenmasse von 0,8 kg/s ausgelegt. Über dem Feuchtegehalt sind in Bild 17 die mittlere Schnittkraft und die vertikalen Biegemomente der Förderzinken aufgetragen. Für den günstigen Schnittwinkel

von $\lambda = 36^\circ$ ist für beide Lastfälle bereits eine gewisse Annäherung an die umgerechnete Kurve von *Liljedahl* zu erkennen. Bei dem ungünstigen Neigungswinkel von $\lambda = 0^\circ$ ist auch noch der typische Wendepunkt der Schnittkraft P bei einem Feuchtegehalt von etwa 60% zu erkennen, danach nimmt aber die Schnittkraft in Richtung auf höhere Gehalte an Trockenmasse zu.

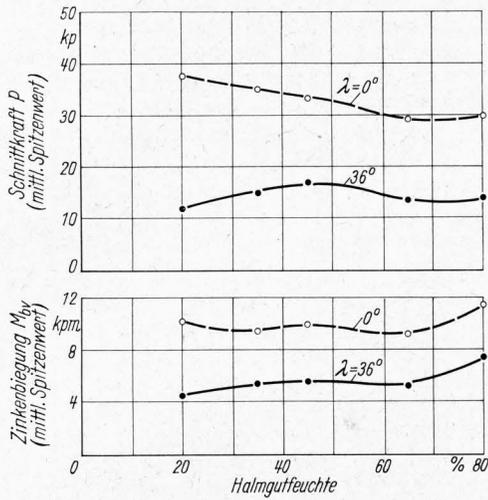


Bild 17. Schnittkraft P und Biegemoment M_{bv} in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Schnittgutes bei zwei verschiedenen Messerstellungen.

Förderaggregat E_D mit verstellbarem Einzelmesser
Neigungswinkel $\lambda = 0$ und 36°
Schnittgut: Kleegras
Durchsatz 0,8 kg Trockensubstanz/s = konst.

Auch bei den Meßreihen, deren Ergebnisse **Bild 18** zeigt, erfolgt die Beschickung mit einer konstanten Trockenmasse von 0,8 kg/s über den gesamten Feuchtebereich. Hier waren jetzt drei Messer mit der Winkellage $\lambda' = 37^\circ$ eingebaut. Bei diesem günstigen Neigungswinkel erhält man für die Zinkenbiegung und für das Antriebsmoment Kurvenzüge mit stark ausgeprägten Wendepunkten bei 65% und 45% Feuchtegehalt, die in ihrer Tendenz mit den umgerechneten Werten von *Liljedahl* nahezu übereinstimmen. Daraus kann man folgern, daß bei günstigem Neigungswinkel und funktionsgerechter Lage der Messer zu der Förderbahn der Zinken und bei einer relativ geringen Klaffung der Doppelzinken der Trennvorgang im Förderkanal den von *Liljedahl* gefundenen Gesetzmäßigkeiten recht nahe kommt.

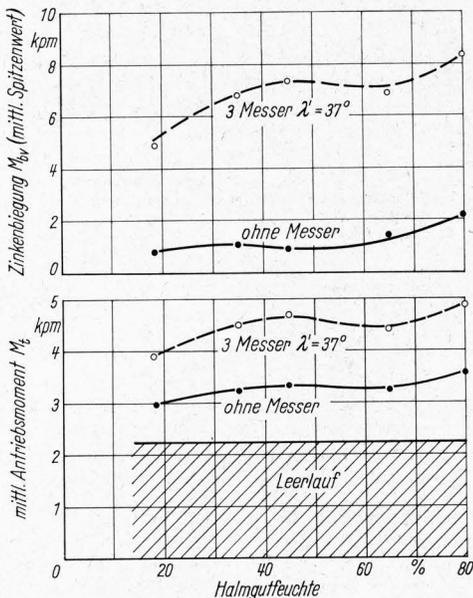


Bild 18. Antriebsmoment M_t und Biegemoment M_{bv} am Förderzinken in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Schnittgutes bei günstigem Neigungswinkel der Messer.

Förderaggregat E_D mit drei Messern
Neigungswinkel $\lambda' = 37^\circ$
Schnittgut: Kleegras
Durchsatz 0,8 kg Trockensubstanz/s = konst.

Einfluß des Ladestaus über dem Förderkanal

Alle bisher wiedergegebenen Ergebnisse bezogen sich ausschließlich auf reine Durchsatzmessungen, bei denen oberhalb des Förderkanals das Gut nicht angestaut wurde. Im praktischen Einsatz entstehen aber durch die zunehmende Gutaufhäufung oberhalb des Kanals zusätzlich Ladedrücke, die je nach Feuchtezustand, Ladehöhe oder angestrebter Verdichtung variieren können. In **Bild 19** ist der Verlauf des Antriebsmomentes beim Beladen eines Ladewagens stark schematisiert wiedergegeben. In etwa 9 Minuten waren rund 10 dz Heu geladen, wobei eine mittlere Dichte von etwa 50 kg/m^3 erreicht wurde. Nach anfänglichem Förderdurchsatz steigt das Antriebsmoment mit zunehmender Gutaufhäufung bzw. Verdichtung über dem Kanal so lange an, bis durch Einschalten des Kratzbodens des Ladewagens das Gut im Laderaum nach hinten geschoben wird. So ergibt sich ein etwa sägezahnartiges Profil der Momentenkurve. Die stärkste Verdichtung oberhalb des Förderkanals und damit das größte Drehmoment stellen sich in der Regel während der letzten Phase der Ausladung ein.

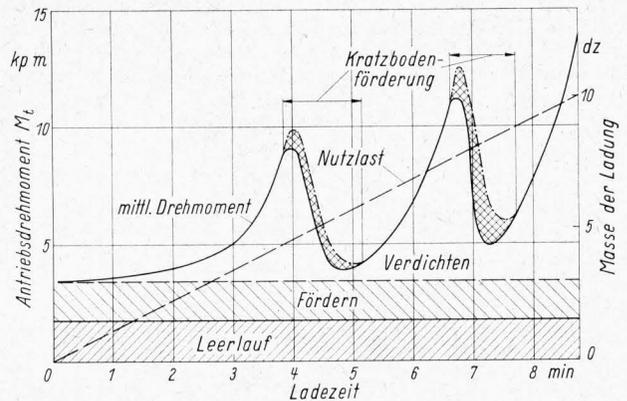


Bild 19. Drehmomentverlauf an der Zapfwelle eines Ladewagens ohne Schneideinrichtung beim Beladen.

Ladegut: 10 dz Heu
Feuchtegehalt $U = 16\%$
Durchsatz 2,0 kg/s (75 dz/h)
mittl. Verdichtung der Ladung $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$

Das progressive Anwachsen der Belastung mit zunehmender Verdichtung stellt sich besonders deutlich am vertikalen Biegemoment des Förderzinkens nach **Bild 20** dar. Der zunächst recht hohe Endwert der Verdichtung von 80 kg/m^3 hat durchaus seine praktische Berechtigung. Einsatzmessungen haben eindeutig gezeigt, daß bei einer mittleren Dichte der gesamten Heuladung von $\rho = 50 \text{ kg/m}^3$ direkt über dem Kanal Dichten von 65 bis 80 kg/m^3 erreicht werden.

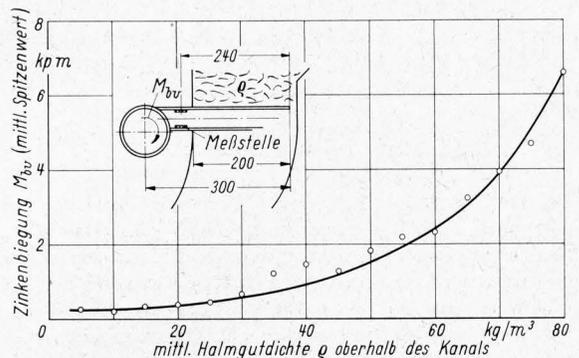


Bild 20. Mittleres vertikales Biegemoment am Förderzinken in Abhängigkeit von der Verdichtung oberhalb des Förderkanals.

Förderaggregat E_D ohne Messer
Ladegut: Heu
Feuchtegehalt $U = 14\%$
Durchsatz 1,0 kg/s (36 dz/h)

Weitere Messungen sollten nun die Frage klären, ob der Schneidleistungsbedarf mit zunehmender Verdichtung und in Abhängigkeit von der Gutfeuchte in jedem Fall voll als additive Größe in Erscheinung tritt. Um das Verhältnis von Schneidarbeit zur Verdichtungsarbeit zu demonstrieren, ist in **Bild 21** der

Momentenverlauf für die vertikale Zinkenbiegung bei einem Durchsatz von 0,8 kg/s Wintergerstenstroh in verschiedenen Verdichtungsstufen wiedergegeben. Der Meßausschlag zeigt einen deutlichen Doppelgipfel, wobei die erste Spitze dem Schneiden und die nachfolgende dem Verdichten zuzuordnen ist. Man erkennt, daß die Momentenspitze für das Schneiden über den gesamten Bereich annähernd konstant bleibt, während die zweite Spitze für das Verdichten, vor allem im höheren Verdichtungs-bereich sehr stark anwächst. Hier ist sie in der Endphase etwa doppelt so hoch wie die Schneidspitze, obwohl diese Messung mit einem ungünstigen mittleren Schnittwinkel $\lambda' = 26^\circ$ durchgeführt wurde. Die Verdichtungsarbeit dominiert hier also ganz eindeutig.

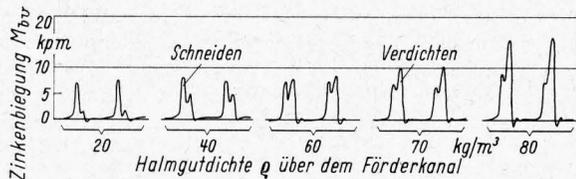


Bild 21. Biegemomente am Förderzinken beim Schneiden und Verdichten in Abhängigkeit von der Verdichtung des Ladegutes über dem Förderkanal.

Förderaggregat E_D mit Messer
Neigungswinkel $\lambda' = 26^\circ$
Ladegut: Wintergerstenstroh
Feuchtegehalt $U = 15\%$
konst. Durchsatz 0,8 kg/s

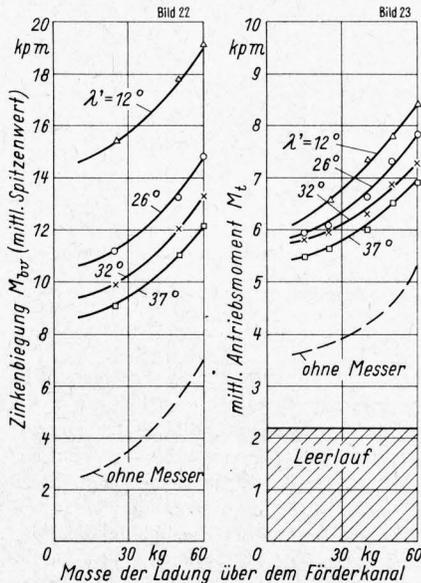


Bild 22 und 23. Zinkenbiegemoment und Antriebsmoment an der Antriebswelle in Abhängigkeit von der Ladehöhe bzw. der Masse über dem Förderkanal bei verschiedener Messerstellung.

Förderaggregat E_D mit drei Messern
Ladegut: Wiesengras
Feuchtegehalt $U = 64\%$
konst. Durchsatz 2,4 kg/s

Bei den Versuchsreihen, deren Ergebnisse **Bild 22 und 23** wiedergeben, wurde Welkgut mit 64% Feuchtegehalt bis zu einer Ladehöhe von etwa 1,4 m über dem Kanal des Versuchsaggregates angestaut. Bei dieser Stauhöhe betrug die Masse über dem Förderkanal der Versuchsausführung maximal 60 kg. Es waren wiederum drei Messer eingebaut. Die nun schon bekannte Rangfolge in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel und der Messerlage im Förderkanal tritt auch hier wieder deutlich in Erscheinung. Beim Antriebsmoment zeigen die Kurven der ungünstigen Neigungswinkel einen steileren Gradienten des Anstiegs als die günstigen Neigungswinkel. Auffallend ist der besonders steile Anstieg des vertikalen Biegemomentes am Förderzinken bei der Förderung „ohne Messer“, was auch in einer Verringerung der Differenz zwischen den Antriebsmomenten der Förderung mit und der ohne Schnitt zum Ausdruck kommt.

Diese Tendenz tritt noch stärker bei zunehmender Verdichtung von am Boden getrocknetem Heu nach **Bild 24 und 25** hervor. In

dem Bereich der Endverdichtung steigt die Zinkenbiegung „ohne Messer“ ganz besonders steil an. Das Antriebsmoment erreicht hier sogar praktisch den gleichen Höchstwert wie die Anordnung von drei Messern mit dem günstigen Neigungswinkel von $\lambda' = 37^\circ$. Daraus geht hervor, daß in der Phase der Endausladung mit Dürrgut bei günstiger Messeranordnung die Schneidarbeit keinen merklichen Zusatzbedarf an Antriebsleistung erfordert. Vielmehr wird durch die Vorzerkleinerung der innere Verdichtungswiderstand des Halmgutes so weit verringert, daß sich im Grenzfall die Schneidarbeit und die Einsparung an Verdichtungsarbeit etwa die Waage halten.

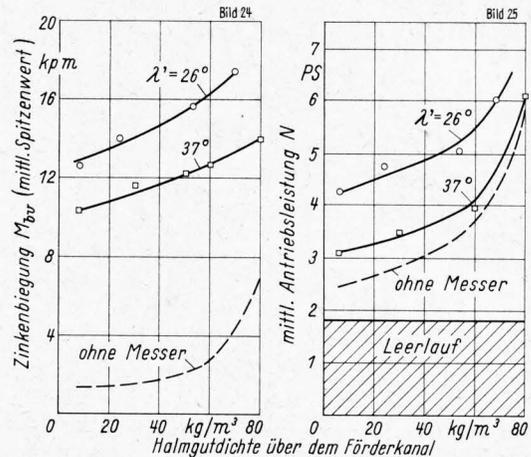


Bild 24 und 25. Zinkenbiegemoment und Antriebsleistung in Abhängigkeit von der Verdichtung über dem Förderkanal bei verschiedener Messerstellung.

Förderaggregat E_D mit 3 Messern
Ladegut: Heu
Feuchtegehalt $U = 18\%$
Konst. Durchsatz 1,0 kg/s

Die Abhängigkeit von der Gutkonstante einerseits und der Messerzahl andererseits zeigen **Bild 26 und 27**, wo alle Messer in dem günstigen Winkel von $\lambda' = 37^\circ$ angeordnet sind. Bei der Verwendung von drei Messern wird bei einem Durchsatz von 0,8 kg/s Wintergerstenstroh soviel an Verdichtungsarbeit eingespart, daß sich die Leistungsbedarfskurven mit und ohne Schnitt im Bereich von 60 bis 70 kg/m³ bereits überschneiden und mit noch stärker werdender Verdichtung (die allerdings im praktischen Einsatz nur noch selten auftritt) die Förderung mit Schnitt sogar mit einem geringeren Leistungsbedarf auskommen kann.

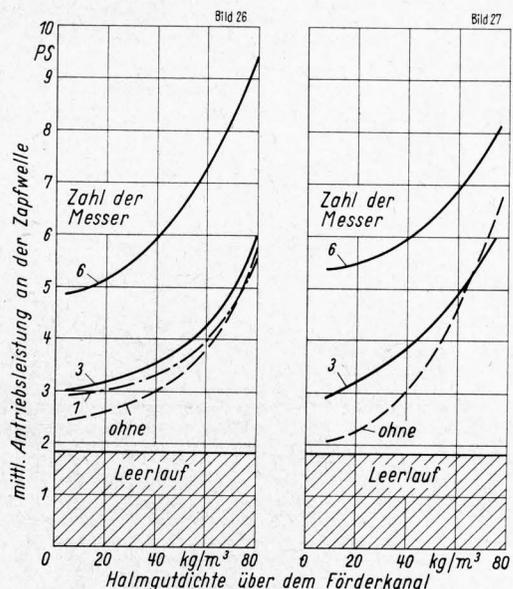


Bild 26 und 27. Antriebsleistung in Abhängigkeit von der Verdichtung über dem Förderkanal bei verschiedener Messerzahl mit günstiger Neigung.

Förderaggregat E_D mit 1, 3 bzw. 6 Messern
Neigungswinkel $\lambda' = 37^\circ$
Ladegut: Bild 26. Heu bei 1 kg/s Durchsatz
Bild 27. Wintergerstenstroh bei 0,8 kg/s Durchsatz

Bei sechs Messern liegt der Leistungsbedarf deutlich höher. Beim Durchsatz von 1 kg/s Heu, Bild 26, ist zu erkennen, daß in der Phase der Endverdichtung die Kurven ohne Messer, mit einem und mit drei Messern so dicht ineinander laufen, daß eine eindeutige Trennung nicht mehr möglich ist. Auch hier ist beim Übergang auf sechs Messer ein wesentlich höherer Leistungsbedarf zu verzeichnen.

Die festgestellten günstigen Tendenzen gelten somit nur für Schnittlängen über 25 cm und optimale Messeranordnung. Stellt man unter Einhaltung dieser Voraussetzungen diejenigen Meßpunkte, die dem Belastungsfall der Endphase des Beladens eines gebräuchlichen Ladewagens (Ladefläche $4,5 \times 2,2$ m, zulässige Nutzlast 2,5 t) entsprechen, zusammen, so erhält man für das Versuchsaggregat E_D nach Bild 28 einen charakteristischen Verlauf des Antriebsdrehmomentes in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Ladegutes. Auch hier wurde wieder von der

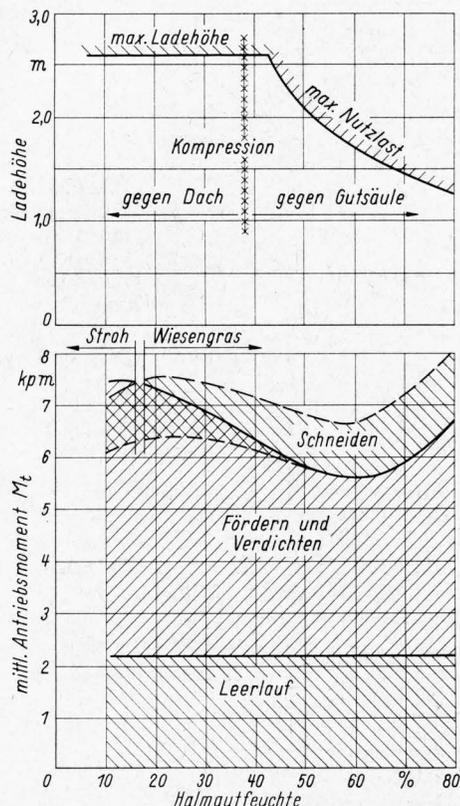


Bild 28. Antriebsmoment bei Förderung ohne Schnitt und bei Förderung mit 3 Messern in günstiger Anordnung in Abhängigkeit von der Halmgutfeuchte während der letzten Phase des Beladens.

Förderaggregat E_D mit 3 Messern
Neigungswinkel $\lambda' = 37^\circ$
konstanter Durchsatz $\triangleq 0,8$ kg Trockensubstanz/s

Anordnung mit drei Messern in dem günstigen Neigungswinkel von $\lambda' = 37^\circ$ und einem konstanten Durchsatz von 0,8 kg Trockenmasse pro Sekunde ausgegangen. Der Bereich bis herab zu 16% Feuchte gilt für Wiesengras, der Bereich darunter für Mährescherstroh. Im Feuchtegehaltsbereich $U = 85-35\%$ war der Stauraum nach oben offen, wobei die aus der Dimensionenrelation (Stauraum/Ladewagen) errechnete Staumenge über dem Versuchskanal 60 kg betrug. Im Bereich höheren Trockensubstanzgehaltes war der Stauraum geschlossen und es wurde verdichtet: Heu bei $U = 23\%$ auf 90 kg/m^3 , bei $U = 18\%$ auf 75 kg/m^3 und Stroh auf 50 kg/m^3 . Analog zum Ladevorgang in der Praxis erfolgte also im feuchten Bereich die Kompression gegen die Gutsäule, während bei dem Dürrgut die Kompression vorwiegend durch die als Widerlager wirkende obere Abdeckung zustande kommt.

Betrachtet man nun in der unteren Darstellung in der das mittlere Antriebsmoment aufgetragen ist, zunächst die Kurve für das Ausladen mit ungeschnittenem Ladegut (ausgezogene Kurve), so fällt das Antriebsmoment vom Frischgut bis zum Welkgutbereich bei etwa 60% Feuchtegehalt ab, um von dort

ständig wieder anzusteigen und im Bereich des lagertrockenen Halmgutes seinen höchsten Wert zu erreichen.

Die Grenzkurve für die Förderung mit Schnitt bewegt sich im Bereich hoher Gutfeuchte zunächst etwa parallel zum Antriebsmoment bei Förderung ohne Schnitt. Vom Welkgutbereich an nähern sich diese beiden Kurven in immer stärkerem Maße einander, bis sie sich schließlich im Bereiche hohen Trockensubstanzgehaltes kreuzen. Trägt man nun von der oberen Grenzkurve für die Förderung ohne Schnitt den ermittelten Bedarf für das Schneiden nach unten ab, so unterschneidet die untere Linie dieses Belastungsbandes etwa im Welkgutbereich die Grenzkurve für ungeschnittene Förderung. Die gekreuzt schraffierte Fläche stellt mithin ein Maß für die aufgrund der erfolgten Vorzerkleinerung eingesparte Verdichtungsarbeit dar.

Einfluß einer versetzten Anordnung der Messer

Bei der üblichen parallelen Messeranordnung, bei der alle Schneiden auf einer Ebene liegen, muß die Vorverdichtung und Schneidarbeit über die gesamte Kanalbreite schlagartig erfolgen. Es liegt nun nahe, durch ein Auflösen der Schneidebene, z. B. durch versetzte Messeranordnung, einen Abbau der Momentenspitzen und u. U. eine Verringerung des Leistungsbedarfes zu erzielen. Bild 29 zeigt eine Versuchsanordnung mit versetzten Messern, die durch unterschiedliches Verschwenken der einzelnen Messer um ihren oberen Anlenkpunkt erreicht wurde. Dabei mußte allerdings für ein Messer eine ungünstige Winkelstellung von $\lambda' = 26^\circ$ in Kauf genommen werden. Die Meßschriebsauschnitte mit Auswertung in Bild 30 stammen von einer vergleichsweisen Messung mit drei eingebauten Messern beim Durchsatz von 1,2 kg/s Kleeheu. Beim oberen Schrieb waren die drei Messer versetzt angeordnet, während die Schneiden der drei Messer im

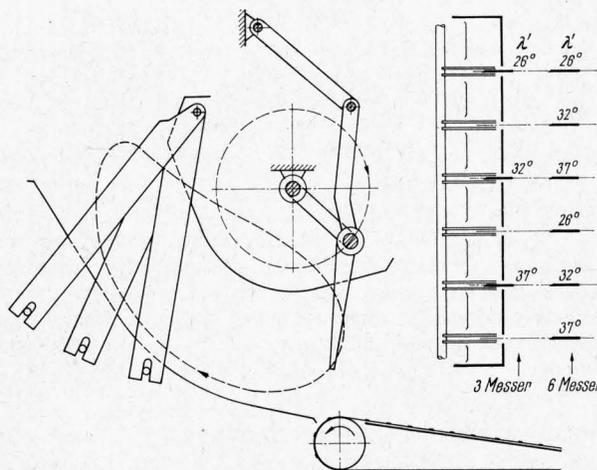


Bild 29. Versetzte Messeranordnung beim Förderaggregat E_D .

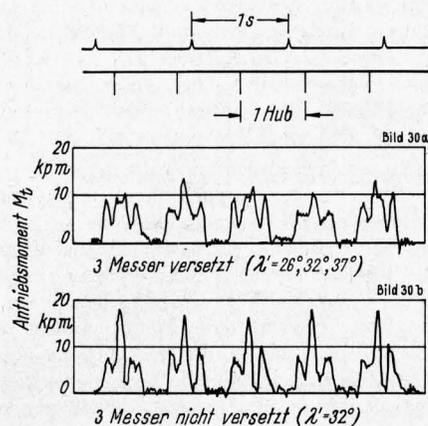


Bild 30. Vergleich des Verlaufes des Antriebsmomentes von parallel gestellten und versetzt angeordneten Messern.

Ladegut: Kleeheu Feuchtegehalt $U = 20\%$ Durchsatz 1,2 kg/s
Verhältnis des mittleren zum maximalen Antriebsmoment:

$$\text{Bild 30a. } \frac{\bar{M}_t}{M_{t\max}} = \frac{5,0}{13,7} = \frac{1}{2,7} \quad (3 \text{ Messer versetzt})$$

$$\text{Bild 30b. } \frac{\bar{M}_t}{M_{t\max}} = \frac{4,9}{18,3} = \frac{1}{3,8} \quad (3 \text{ Messer nicht versetzt})$$

unteren Diagramm in üblicher Weise in einer Ebene lagen. Vergleicht man die mittleren Drehmomente miteinander, so erkennt man, daß das Versetzen der Messer einen leichten Mehrbedarf zur Folge hatte, was wohl in erster Linie auf den ungünstigen Neigungswinkel von $\lambda' = 26^\circ$ zurückzuführen ist. Auffallend ist jedoch der deutliche Abbau der Momentenspitzen und die ausgeglichene Beanspruchung der Fördererlemente, die sich durch das Versetzen der Messer erreichen lassen. Ob eine Staffelung der Messer mit paralleler Schneidebene zu ähnlichen Ergebnissen führt, konnte nicht überprüft werden, weil die Ausgestaltung des Versuchsaggregates eine solche Anordnung nicht zuließ.

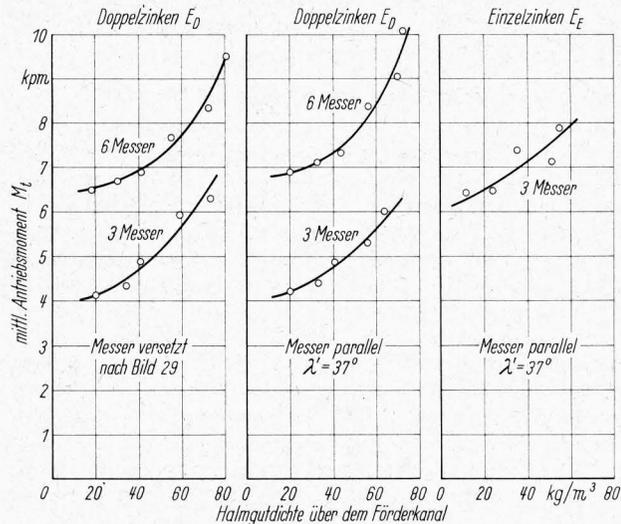


Bild 31. Vergleich des mittleren Antriebsmomentes in Abhängigkeit von der Halmgutdichte bei verschiedener Messeranordnung (versetzt bzw. parallel) und Förderzinkenausführung (Förderaggregat E_D bzw. E_E , s. Bild 10).

Ladegut: Wintergerstestroh
Durchsatz 0,8 kg/s

Ein weiterer Vergleichsversuch zeigt, daß vor allem mit zunehmender Messerzahl die versetzte Anordnung gegenüber parallel gestellten Messern praktisch kein höheres mittleres Antriebsmoment beansprucht, **Bild 31**. Ein deutlich höheres Antriebsmoment wird jedoch erforderlich, wenn bei Verwendung von Einzelförderzinken der Schneidspalt, mithin die lichte Weite zwischen zwei Zinken, von 12 mm auf 86 mm anwächst (vgl. Förderaggregat E_D und E_E in Bild 10).

Einfluß verschiedener Schneidsysteme

Diese Tendenz geht auch aus der Gegenüberstellung in **Bild 32** hervor. Ein kombiniertes, aus feststehenden Messern und rotierenden Schneidscheiben bestehendes Schneidsystem weist sogar ein noch höheres Antriebsmoment auf. Für diesen Mehrbedarf sind weniger die zusätzlichen Antriebe für die Schneidscheiben als vielmehr die weite Zinkenstellung, ein ungünstiger mittlerer Neigungswinkel und eine ungenügende Abstimmung von Schneidebene und Zinkenbahn verantwortlich, **Bild 33**.

Die senkrecht zur Arbeitsrichtung nach der Seite gerichteten Biegebeanspruchungen der Doppelzinken sind normalerweise erheblich geringer als die vertikale Biegung. Allerdings tritt dieser Spreizeffekt, in **Bild 34**, mit positivem horizontalen Biegemoment bezeichnet, bei ungünstiger Messerstellung verstärkt auf. Während bei der vertikalen Biegung das Verhältnis der maximalen Spitzenmomente zum mittleren Spitzenmoment nur selten das Verhältnis 2:1 überstieg, wurden bezüglich der horizontalen Zinkenbiegung schlagartig auftretende Momentenspitzen (Spreizeffekt) festgestellt, die das Vierfache des mittleren Spitzenmoments sogar überschreiten konnten. Diese Spitzenbeanspruchungen dürften durch plötzliches Einziehen und Einklemmen von Halmgut im Schneidspalt hervorgerufen worden sein. An den der Kanalseitenwand benachbarten Zinken trat gelegentlich eine negativ gerichtete horizontale Biegung $-M_{bh}$ auf, deren Höchstwerte sogar das Siebenfache des mittleren Spitzenmoments der Spreizung $+M_{bh}$ erreichten. Die Ursachen hierfür dürfte in einem Einklemmen und Verdichten eines Gutpolsters

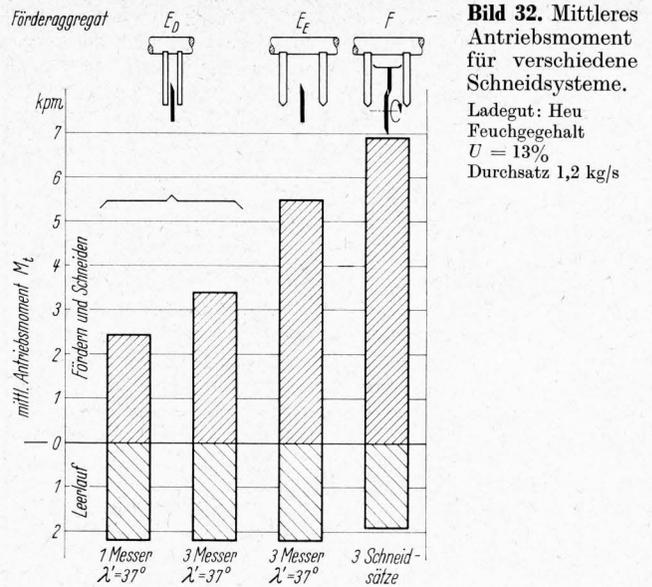


Bild 32. Mittleres Antriebsmoment für verschiedene Schneidsysteme.
Ladegut: Heu
Feuchgehalt $U = 13\%$
Durchsatz 1,2 kg/s

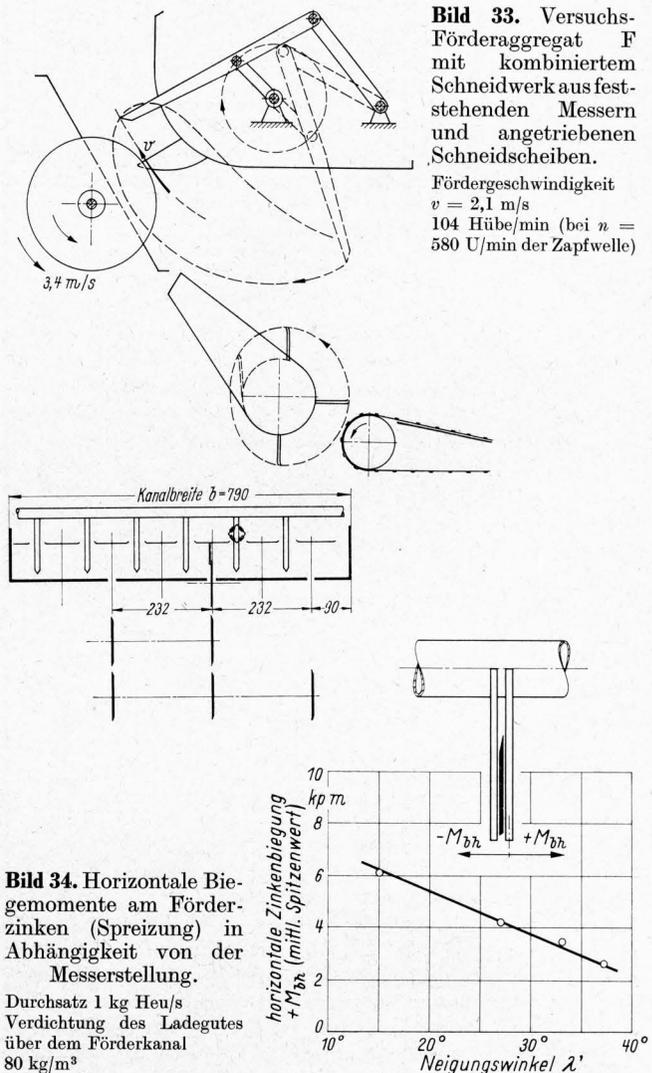


Bild 33. Versuchs-Förderaggregat F mit kombiniertem Schneidwerk aus feststehenden Messern und angetriebenen Schneidscheiben.
Fördergeschwindigkeit $v = 2,1$ m/s
104 Hübe/min (bei $n = 580$ U/min der Zapfwelle)

zwischen Zinken und Kanalseitenwand zu sehen sein. Es gelang nicht, diese Klemmvorgänge erfolgreich zu simulieren. Damit war es auch nicht möglich, ihre gesetzmäßige Abhängigkeit von Gutfeuchte und Durchsatzhöhe zu erfassen.

Einfluß der Messerschärfe

Daß durch Stumpfwerden der Schneiden die horizontale Biegung (Spreizung) stärker zunimmt als die vertikale Biegung, geht aus **Bild 35** hervor. Das mit „stumpf“ gekennzeichnete Messer

war vor dem Vergleichsversuch in ein Förderaggregat eingebaut, mit dem 24 Wagen Mährescherstroh geladen worden waren. Durch die Aufnahme kleiner fester Bodenklumpen war die Schneide über ihre gesamte Länge in unterschiedlicher Stärke schartig geworden. Deshalb war es nicht möglich, einen mittleren Schneidenradius zur Charakterisierung der Stumpfheit auszumessen. Die Verdoppelung der Drehmomentspitzen an der Antriebswelle, Bild 35, bei nur einem Messer im Förderkanal, weist nachdrücklich auf den großen Einfluß des Schneidenzustandes bezüglich des Energiebedarfs hin.

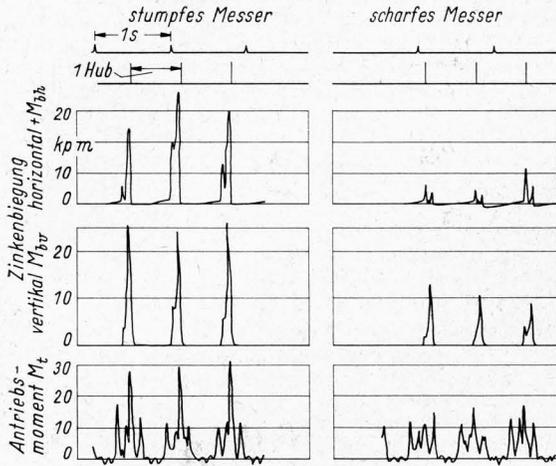


Bild 35. Einfluß der Messerschärfe auf das horizontale und vertikale Biegemoment am Förderzinken und auf das Antriebsmoment.

Förderaggregat E_D mit einem Messer
Neigungswinkel $\lambda' = 32^\circ$
Durchsatz 1 kg Heu/s

Ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung von Schneidwerken stellt der technologische Wirkungsgrad, d. h. das Verhältnis von Energieaufwand zur erreichten Halmverkürzung, dar. Der Rahmen der dargelegten Versuchsdurchführung ließ eine erschöpfende Untersuchung dieses Aufgabenkomplexes nicht zu. Die nach **Bild 36** festgestellte Verteilung der Halmlängen mag eine Vorstellung von dem mit Doppelförderzinken erreichbaren Wirkungsgrad der Zerkleinerung geben.

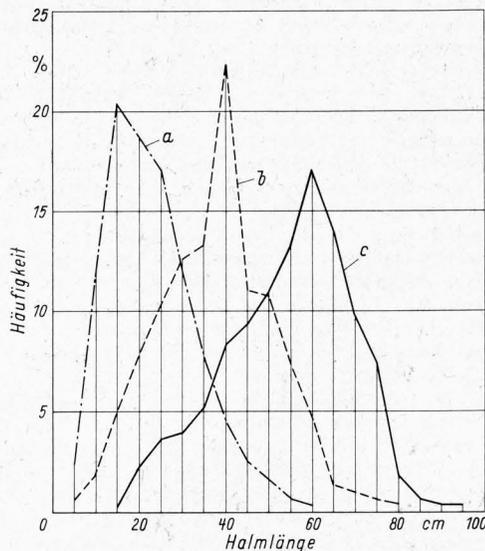


Bild 36. Halmlängenverteilung von Heu beim Fördern ohne Messer und mit 3 und 6 Messern bei Versuchsaggregat E_D .
Neigungswinkel $\lambda' = 37^\circ$

Kurve	Anzahl der Messer	theoretische Schnittlänge	arithmetisches Mittel
		(Messersabstand)	der Halmlänge
		cm	cm
a	6	12,5	23,1
b	3	25,0	37,3
c	0	(ungeschnitten)	55,1

Zusammenfassung

Um zu vergleichbaren und aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen, wurden Messungen über den Energieaufwand beim Schneiden im Förderkanal von Ladewagen an einem Versuchsaggregat vorgenommen, an welchem die Messeranordnung mehrfach variiert werden konnte. Halmgut unterschiedlicher Art und Feuchte wurde mit steigendem Durchsatz zugeführt. Weiterhin konnten Ladedrücke simuliert werden, wie sie in der Endphase der Beladung im praktischen Einsatz auftreten.

Der geringste Energieaufwand für die Trennarbeit wurde bei Neigungswinkeln von 35° bis 40° festgestellt. Ferner wirkte sich eine möglichst vollständige Überdeckung der Schneiden durch die Förderzinken und ein enger Schneidspalt auf den Energiebedarf günstig aus. Schließlich kann durch versetzte Messeranordnung die Höhe der Momentenspitzen im Hauptantrieb merkbar herabgesetzt werden.

Bei günstiger Messeranordnung und einem Messerabstand von etwa 25 cm wurde gegenüber einer Förderung ohne Schnitt bei feuchtem Gut in der Endphase der Beladung ein etwa um 40% höherer Energiebedarf festgestellt. Beim Dürrgut wird durch die erfolgte Vorzerkleinerung etwa soviel an Verdichtungsarbeit eingespart, daß für die Schneidarbeit kein nennenswerter Mehrbedarf an Antriebsleistung auftritt.

Die stärkste Dauerbeanspruchung der Förderzinken wirkt in Arbeitsrichtung. Durch gelegentliches Einklemmen von Gutpolstern hervorgerufene Querkräfte führen zu hohen, wenn auch kurzzeitigen Spitzenbeanspruchungen.

Im Förderkanal angeordnete bewegte Schneidsysteme können nur dann einen vergleichbaren Energiebedarf erreichen, wenn alle Haupteinflussfaktoren wie Neigungswinkel, Lage der Messer im Kanal und Schneidspalt zwischen den Förderzinken im günstigen Bereich gehalten werden.

Schrifttum

- [1] Dohne, E.: Bauarten der Ladewagen. In: Der Ladewagen. KTL-Ber. üb. Landtechn. 105. Wolfratshausen: H. Neureuter-Verl. 1967. S. 93/105.
- [2] Grimm, R. W. K.: Schneid- und Wurfvorgänge in Trommel-Feldhäckslern. Ber. üb. Landtechn. H. 86. Wolfratshausen: H. Neureuter-Verl. 1965. S. 63/64.
- [3] Köbsell, H.: Planziele und Probleme bei der Mechanisierung und Organisation von Großproduktionseinheiten in der ČSSR. Landtechn. 22 (1967) H. 20, S. 620/22, 624/26.
- [4] Köbsell, H.: Príspevek k rezným silám v dopravním kanálu sběracích vozu (Ein Beitrag über Schneidkräfte im Förderkanal von Ladewagen). Zemědělská technika 13 (1967) Nr. 11, S. 683/87, tschech.
- [5] Königer, R.: Versuch einer Theorie des Scherenschnittes von Halmen. Grndl. Landtechn. Heft 5 (1953) S. 96/97.
- [6] Liljedahl, J. B., G. L. Jackson, R. P. DeGraff und M. E. Schroeder: Measurement of shearing energy. Design variables affecting energy required to shear forage materials. Agric. Engng 42 (1961) Nr. 6, S. 298/301.
- [7] Schulz, H., R. Herppich und M. Wagner: Untersuchungen über den Leistungsbedarf von Ladewagen. Landtechn. Forsch. 16 (1966) H. 2, S. 33/40.
- [8] Schulz, H., und K.-H. Kromer: Untersuchungen an Schneidvorrichtungen im Ladewagen. Landtechn. Forsch. 17 (1967) H. 3, S. 61/68.
- [9] Schulz, H.: Konstruktion, Einsatzmöglichkeiten und Arbeitskettens des Ladewagens. Grndl. Landtechn. 17 (1967) Nr. 1, S. 23/28.
- [10] Schulz, H., R. Herppich und K.-H. Kromer: Untersuchungen über Funktion, Leistung und Leistungsbedarf von Förderorganen und Schneidwerken im Ladewagen. In: Der Ladewagen. KTL-Ber. üb. Landtechn. 105. Wolfratshausen: H. Neureuter-Verl. 1967. S. 148/80.
- [11] Schulz, K. H.: Über den Schneidvorgang an Grashalmen. Grndl. Landtechn. Heft 5 (1953) S. 103.
- [12] Sladký, V.: Vergleich der Häckslerarbeitsketten mit dem Einachsladewagen. Ref. a. d. Vortragstag. VUZT, Repry bei Prag 1967.
- [13] Sladký, V., und O. Syrový: Výsledky zhodnocení velkoobjemových návěsů se sběracím a nakládacím zařízením v podmínkách horských a svahovitých oblastí ČSSR. (Großraumsattelanhänger mit Aufnahme- und Ladevorrichtungen beim Einsatz am Hang). Zemědělská technika 13 (1967) Nr. 9, S. 543/58, tschech.
- [14] Stoppel, Th.: Zur Systematik der Technologie des Schneidens. Grndl. Landtechn. Heft 5 (1953) S. 120/34