

Die Ermittlung des Leistungsbedarfs von Schlegelfeldhäckslern

Beitrag für einen betriebstechnischen Verfahrensvergleich der Halmfuttermgewinnung

Von **Hans Kühlbörn**, Braunschweig-Völkenrode

Die Analyse landwirtschaftlicher Produktionsverfahren ist ein wichtiger Bestandteil betriebstechnischer Forschung. Die Lösung dieser Aufgabe setzt die Kenntnis technischer Grunddaten voraus, die, soweit sie für die einzelnen Verfahren noch nicht vorliegen, erarbeitet werden müssen. In Feldversuchen wird der Leistungsbedarf der Schlegelfeldhäckslern an der Gelenkwelle unter dem Einfluß der verschiedenen Einflußfaktoren systematisch untersucht und dargestellt. Der Einfluß der Zugleistung auf den Gesamtleistungsbedarf wird an einem Zahlenbeispiel erörtert.

Inhalt

- 1 Versuchsdurchführung
- 2 Die untersuchten Maschinen
- 3 Bedeutung der Trockenmasse als Bezugsgröße
- 4 Messung des Leistungsbedarfs an der Zapfwelle
 - 4.1 Leistungsbedarf bei Leerlauf
 - 4.2 Einfluß der Gutfeuchte
 - 4.3 Einfluß der Gutart
 - 4.4 Einfluß der Trommelwellendrehzahl
 - 4.5 Einfluß der Arbeitsbreite und Maschinenbauart
- 5 Gesamtleistungsbedarf
- 6 Zusammenfassung
- 7 Schrifttum

Innerhalb der Halmfutterm- und -konservierung gibt es eine Vielzahl von Verfahren, die mit mehr oder weniger großem Aufwand und Erfolg in der Praxis angewendet werden. Um nun die wichtigsten Verfahren miteinander vergleichen zu können, müssen die technischen und ökonomischen Grundlagen bekannt sein. Die bereits vorliegenden Arbeiten über Exaktfeldhäckslern sollen durch Untersuchungen des Schlegelfeldhäckslers ergänzt werden, dessen universelle Einsatzmöglichkeiten ihn für viele Betriebe in der Halmfutterm-ernte interessant machen. Die Ermittlung des Leistungsbedarfs dieser Maschine bei der Feldarbeit in Abhängigkeit möglichst aller Einflußfaktoren, wie Gutart, Gutfeuchte, Drehzahl und Arbeitsbreite, ist Gegenstand der folgenden Untersuchung.

1 Versuchsdurchführung

In zahlreichen Feldversuchen wurden variiert: von seiten des zu bearbeitenden Gutes

- a) der Durchsatz,
- b) der Feuchte- bzw. Trockensubstanzgehalt und
- c) die Gutart,

von maschinenbedingten Einflüssen

- d) die Schlegelwellendrehzahl,
- e) die Arbeitsbreite und
- f) die Maschinenbauart.

Unterschiedliche Feuchtegehalte des Gutes bei der Aufnahme aus dem Schwad ließen sich leicht durch verschieden lange Trocknungszeiten erreichen, während die Bedeutung der Gutart durch die Verarbeitung verschiedener Halmgüter unter Berücksichtigung des Schnittzeitpunktes erfaßt wurde. Die Aufnahme des Gutes wurde bis 75% Feuchtegehalt aus stehendem Bestand, bei niedrigeren Werten, die ein Vortrocknen erfordern, aus dem Schwad vorgenommen. Die Änderung des Durchsatzes wurde bei der Aufnahme aus dem stehenden Bestand durch Verändern der Fahrgeschwindigkeit erzwungen, die sich in den Grenzen zwischen 0,5 und 2 m/s bewegte.

Dipl.-Ing. Hans Kühlbörn ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Betriebstechnik (Direktor: Prof. Dr. agr. Sylvester Rosegger) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

Von den maschinenbezogenen Kenngrößen konnte durch Verändern der Drehzahl der Einfluß derselben auf die erforderliche Antriebsleistung ermittelt werden. Zwei verschieden breite Schneideinrichtungen ließen den Einfluß der Arbeitsbreite und die sich daraus ergebenden Konsequenzen erkennen. Schließlich zeigte der Einsatz zweier Bauarten mit gleichbreiten Schlegeltrommeln die Auswirkungen verschiedener Maschinentypen.

Die Antriebsleistung wurde durch Messung des Drehmomentes und der Drehzahl mit Hilfe einer Meßnabe ermittelt. Die von einem Schleifenzillographen aufgenommenen Meßschriebe wurden mit Hilfe einer elektronischen Auswerteinrichtung weiter verarbeitet, die ein verhältnismäßig schnelles Ausplanimetrieren der Momentenkurve ermöglicht. Der mittlere Durchsatz wurde durch Wägen der aufgefangenen Gutmenge sowie durch Messen der entsprechenden Zeit errechnet. Durch Berücksichtigung des jeweiligen Feuchtegehaltes konnten die Werte auch gleichzeitig auf den Trockenmassendurchsatz bezogen werden. Möglichst konstante Versuchsbedingungen wurden für alle Messungen angestrebt, um brauchbare Unterlagen für notwendige Vergleiche zu erhalten.

2 Die untersuchten Maschinen

Bei den eingesetzten Schlegelfeldhäckslern handelt es sich um die heute fast ausschließlich gebaute Standardform, deren rotierende Schlegeltrommel die gesamte Antriebsenergie der Zapfwelle aufnimmt im Gegensatz zu den Exaktfeldhäckslern, die

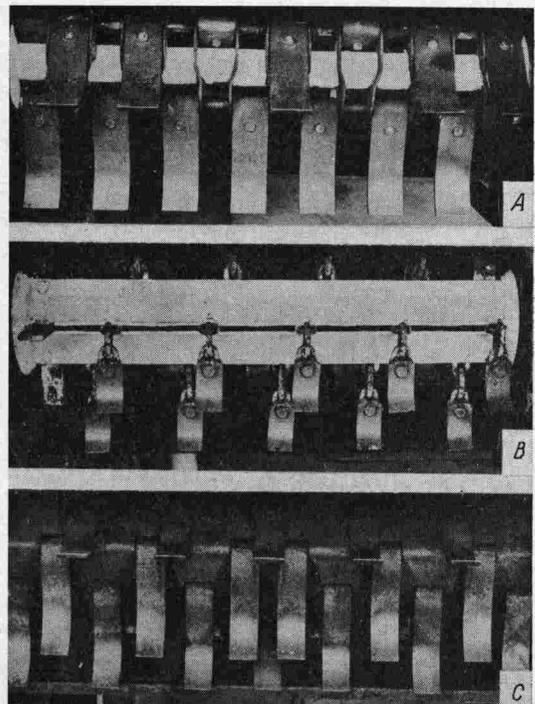


Bild 1. Anordnung und Ausführung der Schlegelmessers der untersuchten Feldhäckslern A, B und C.

Maschine	A	B	C
Schlegeltrommel			
Durchmesser mit Schlegeln	600	580	600
Schnittbreite	1100	1100	1400
Drehzahl n_{rot}	U/min	1700 ± 45	1900 ± 35
Schlegelbreite	mm	80	60
Schlegelanzahl		2 × 7	4 × 5
Gewicht der Maschine	kp	450	640
Anbauweise der Maschine		seitlich	Anhänger

außer der Messerwelle auch zum Antrieb des Aufsammlers, der Zuführschnecke sowie den oberen und unteren Einziehwalzen Leistung benötigen. Die Schlegelmesser sind so eingebaut und ausgeführt, daß sie in einem Arbeitsgang das Abschlagen und Fördern des Gutes übernehmen.

Die Bauarten der Schlegelfeldhäcksler unterscheiden sich hinsichtlich der Breite der Schlegelwelle, der Anbringung der Maschine — Seitenbauweise oder Anhängemaschine — der Anordnung und Zahl der Schlegel sowie der Schlegelreihen und der Befestigung der Schlegelmesser an der Rotorwelle.

Da die Anordnung der Schlegel sowie die Ausbildung der Schlegelwelle für die Versuchsergebnisse von Bedeutung sein werden, soll deren Aufbau anhand von **Bild 1** kurz erläutert werden. Die Ausführung A besitzt insgesamt nur 14 Schlegelmesser, die in zwei Schlegelreihen untergebracht und um 180° versetzt angeordnet sind. Die Schlegel sitzen jeweils im Zwischenraum der vorhergehenden, so daß die gesamte Breite der Schneidvorrichtung während einer Umdrehung von den Schlegeln überstrichen wird. Bei Maschine B sind die Schlegel über einige Kettenglieder an der Schlegeltrommel befestigt. Außerdem sind hier nicht zwei, sondern vier Schlegelreihen verwirklicht, die zu großen Zwischenräumen zweier benachbarter Werkzeuge führen, jedoch auch hier die gesamte Schnittbreite überdecken. Schließlich sei noch auf die Lösung C hingewiesen, die ebenfalls vier Schlegelreihen besitzt, deren Schlegelzahl jedoch höher ist und somit einen geschlosseneren Eindruck hinterläßt.

3 Bedeutung der Trockenmasse als Bezugsgröße

Bei der Bergung von Halmfutter interessiert fütterungstechnisch vor allem die geborgene Trockenmasse. Der Feuchtegehalt des Halmgutes ist eine Zugabe, die den energetischen und finanziellen Aufwand für die Bergung und Bereitung des Halmfutters in erheblichem Maße ungünstig beeinflusst. Der Feuchtegehalt des Gutes beträgt im stehenden Bestand rund 80% der Gesamtmasse. Bei der Grünfutterbergung für die Direktverfütterung oder die Naßsilage muß dieser Feuchtigkeitsballast bei der Förderung bis hin zum Futtertrog mit einem hohen Energieaufwand mitbewältigt werden.

Bei anderen Bergungsverfahren wird dem geschnittenen Halmgut aus Konservierungsgründen ein Teil oder der gesamte Feuchtegehalt in verschiedenen Verfahren auf dem Felde durch Trocknung entzogen, wobei das vorgewelkte Gut entweder einsiliert oder unter Dach nachgetrocknet wird. Das geschnittene Gut wird in verschiedenen Verfahren auf dem Felde für die Trocknung gezettet, gewendet, geschwadet, mit verschiedenartigen Ladegeräten aufgenommen, gehäckselt und auf Wagen nach dem Hof gefahren und dort weiterbehandelt, bis es nach mehr oder weniger langer Lagerung zur Fütterung gelangt.

Diese sehr unterschiedlichen Verfahren der Futterbergung und -bereitung erfordern einen mehr oder weniger großen Arbeits- und Energieaufwand; ferner treten verschieden große Trockenmasse- bzw. Nährstoffverluste auf. Will man diese Verfahren unter betriebstechnischen Gesichtspunkten miteinander vergleichen, so muß man eine Bezugsgröße haben, die sowohl vom Ausgangs- als auch vom Endprodukt her, also von dem, was dem Tiermagen angeboten wird, von Bedeutung ist.

Es liegt daher nahe, den Arbeits- und Energieaufwand der verschiedenen Bergungsverfahren, unter anderem für die in dieser Arbeit untersuchten Schlegelfeldhäcksler, nicht wie üblich auf die Gesamtmasse des jeweils bearbeiteten Grüngutes zu beziehen, sondern auf den in diesem Grüngut enthaltenen (je nach den Bergungsverlusten mehr oder weniger konstanten) Trockenmassenanteil.

Der Leistungsbedarf der Schlegelfeldhäcksler wurde daher in den nachstehenden Diagrammen mit einer Ausnahme auf den Durchsatz an Trockenmasse bezogen.

4 Messung des Leistungsbedarfes an der Zapfwelle

4.1 Leistungsbedarf bei Leerlauf

Das unterschiedliche Leerlaufverhalten zweier Schlegelfeldhäcksler beim Anfahren und Auslaufen der Schlegelwelle zeigt **Bild 2**. Der Drehmomentverlauf läßt sich dabei in drei Bereiche unterteilen: Sehr große Drehmomente treten beim Beschleunigen der Drehmassen beim Anfahren auf, die bis zum zehnfachen Betrag der im stationären Betrieb üblichen Werte gehen. Diesem Anfahrvorgang schließt sich nach einer gewissen Zeit der stationäre Leerlaufbereich an. Ein unterschiedliches Verhalten zeigt die Endphase nach dem Abschalten der Zapfwelle; während die Maschine C einen sehr kleinen positiven Drehmomentenverlauf zeigt, treten bei der Maschine A negative Werte auf. Dieser Unterschied ist auf den in C eingebauten Freilauf zurückzuführen, der vielfach in Arbeitsmaschinen mit größeren Schwungmassen eingebaut wird, um unerwünschten Rückwirkungen dieser Schwungmassen auf die Antriebsmaschine vorzubeugen. Die Größe der Beschleunigungsspitze ist von den anzutreibenden Schwungmassen abhängig. Maschine C hat aufgrund der größeren Massen ein höheres Beschleunigungsmoment zur Folge als Maschine A.

Die Leerlaufleistung an der Zapfwelle, die der Schlegelfeldhäcksler ohne Zuführung von Erntegut benötigt, setzt sich aus den in den Übertragungsteilen auftretenden Verlusten und der für den entstehenden Förderluftstrom notwendigen Energie zusammen. Die Abhängigkeit der Leerlaufleistung von der Drehzahl der Schlegelwelle ist in **Bild 3** wiedergegeben. Da die Arbeitsweise der Schlegeltrommel der eines Gebläses sehr nahekommt,

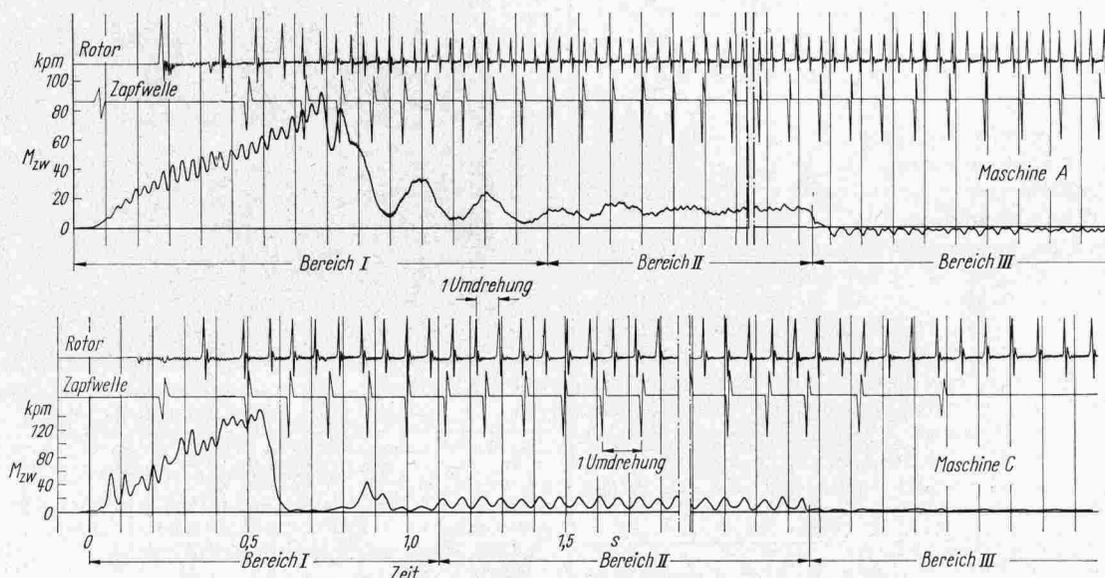


Bild 2. Zeitlicher Drehmomentverlauf in der Zapfwelle zweier Schlegelfeldhäcksler beim Anfahren, im stationären Betrieb und beim Auslaufen im Leerlauf.

Maschine A ohne Freilauf der Rotorwelle

Maschine C mit Freilauf der Rotorwelle

ist auch mit einer ähnlichen Charakteristik zu rechnen. Durch die Auftragung im doppelt logarithmischen Netz ergibt sich eine Gerade mit der Steigung von über 2:1; das bedeutet, daß die Leistung mit der zweiten bis dritten Potenz der Drehzahl ansteigt. Ganz ähnliche Ergebnisse wurden von *Vornkahl* [1] festgestellt.

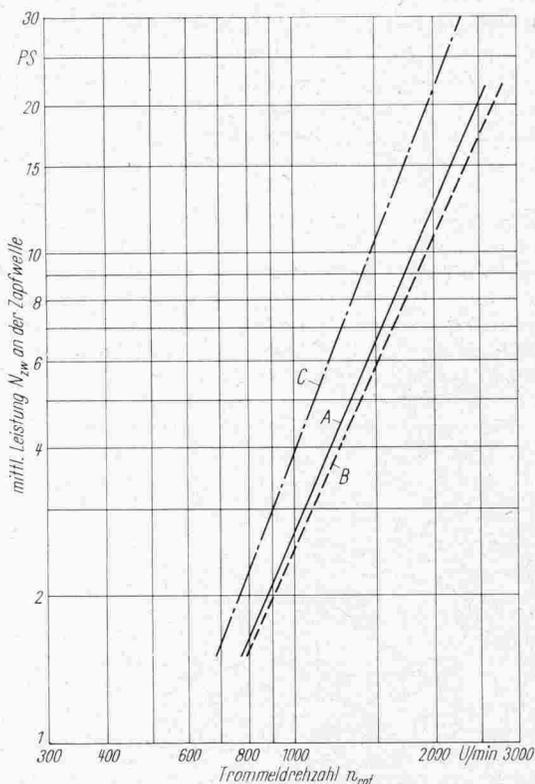


Bild 3. Leerlaufleistung der untersuchten Schlegelfeldhäcksler in Abhängigkeit von der Trommeldrehzahl.

Die Zuordnung der einzelnen Kennlinien hängt eng mit der Anordnung der Schlegelmesser auf der Schlegelwelle zusammen (Bild 1). Die geschlossenere Schlegelreihenanzordnung von A und C hat einen wesentlich größeren Förderluftstrom zur Folge, der durch den damit verbundenen, höheren Widerstand auch mehr Antriebsleistung erfordert. Ausführung B dagegen ist mit kleinflächigen Schlegelmessern ausgerüstet, die über Kettenlieder an der Rotorwelle befestigt sind und somit viel Raum zwischen den einzelnen Werkzeugen freilassen. Wenn Maschine A trotz einer wesentlich höheren Luftförderwirkung nur wenig mehr Energie benötigt als Ausführung B, so läßt dies die Vermutung zu, daß bei der Ausführung B aufgrund der gewählten Werkzeugausbildung und -anbringung kräftezehrende Luftwirbel entstehen. Ferner kann eine ungünstigere Ausbildung des Förderkanals der Grund sein. Die möglichen Ursachen können hier nur angedeutet werden, da die Frage nach dem unterschiedlichen Verhalten der Trommeln erst durch eingehende, strömungstechnische Untersuchungen sicher beantwortet werden kann.

Bild 4 bis 7. Leistungsbedarf an der Gelenkwelle der Maschinen A und B in Abhängigkeit vom Gesamtdurchsatz Q verschieden feuchten Grüngutes bzw. von dem Durchsatzanteil Q_{tr} an Trockenmasse. Ausführung der Maschinen und Drehzahlen siehe Bild 1.

Der Unterschied der erforderlichen Leerlaufleistung zwischen schmaler und breiter Maschine kann bei großen Drehzahlen beträchtlich sein und ist auf die größere Luftförderung zurückzuführen. In dieser Tatsache verbirgt sich auch der später auftretende, größere Leistungsbedarf der breiteren Maschine gegenüber der schmaleren bei gleichem Durchsatz.

4.2 Einfluß der Gutfeuchte

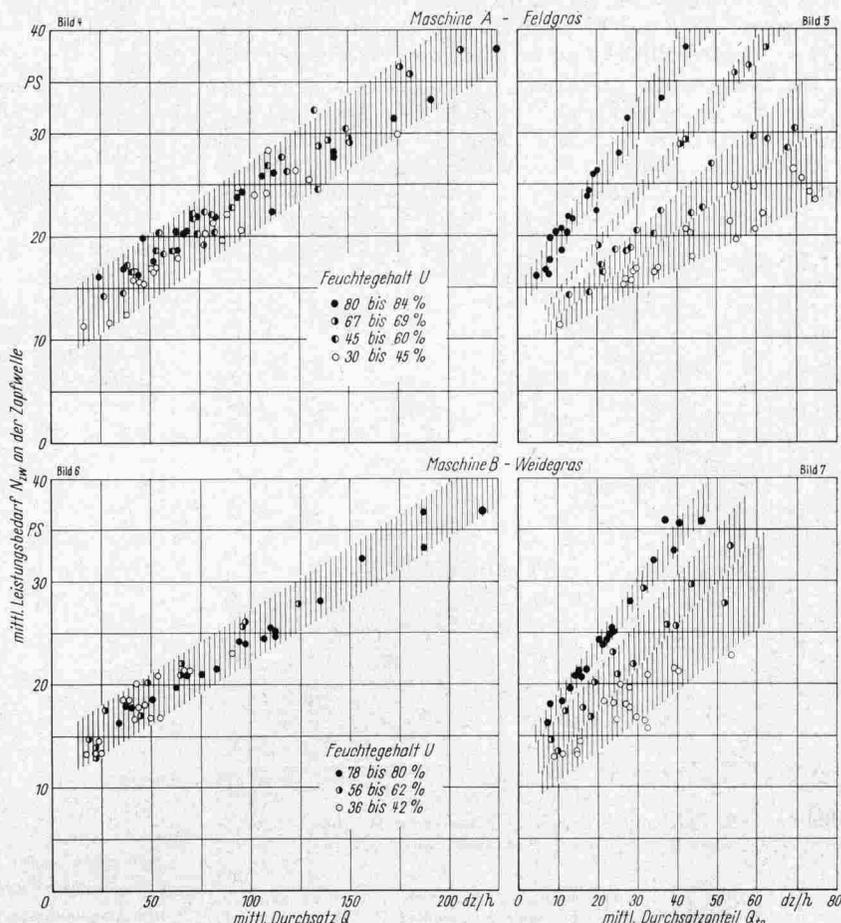
In **Bild 4** sind die Werte des mittleren Leistungsbedarfes an der Zapfwelle der Maschine A bei der Aufnahme von Feldgras in Abhängigkeit vom Durchsatz bei unterschiedlichen Gutfeuchten zusammengetragen. Bei hohem Feuchtegehalt $U = 80$ bis 84% wurde das Gut aus dem stehenden Bestand, bei niedrigem Feuchtegehalt $U \leq 69\%$ wurde das Gut im mehr oder weniger vorgewelkten Zustand aus dem Schwad aufgenommen. Trotz des sehr unterschiedlichen Feuchtegehaltes des Gutes liegt der Leistungsbedarf in einem engen Streubereich, was unter den vorliegenden Versuchsbedingungen darauf schließen läßt, daß die Leistungsaufnahme in erster Linie von der geförderten Masse und nicht von den Eigenschaften des Gutes, wie Biegefestigkeit, Rohfasergehalt und anderem, abhängt.

Bezieht man die Leistungsaufnahme der Zapfwelle auf den Durchsatz an Trockenmasse, **Bild 5**, so fächert sich das Diagramm nach den verschiedenen Feuchtegehalten des Gutes auf. Um denselben Durchsatz an Trockenmasse zu verarbeiten, muß für das feuchtere Gut mehr Leistung aufgebracht werden als für trockenes. Dieser Mehrbedarf ist auf die Förderung der im Gut vorhandenen Feuchtigkeitsmenge zurückzuführen.

Bild 6 und 7 zeigen die entsprechenden Diagramme für Weidegras und die Maschine B. Man erkennt, daß die Leistungsaufnahme etwa dieselbe Größe und Abhängigkeit vom Durchsatz hat wie in **Bild 4** und **5**, daß also die Leistungsaufnahme der Tendenz nach unabhängig vom Gut und Maschinentyp (Daten der Maschinen A und B siehe **Bild 1**) ist.

4.3 Einfluß der Gutart

Ein weiterer von der Pflanze her bedingter Parameter für den Leistungsbedarf ist durch die technologischen Eigenschaften der



verschiedenen Schnittgutarten gegeben. Eine Elimination der Gutfeuchte kann durch Einhalten eines möglichst engen Feuchtegehaltsbereiches erreicht werden. Wegen der verschiedenen Gutarten, Witterungsverhältnisse und Schnittzeiten ist diese Forderung jedoch sehr schwer zu erfüllen, so daß Feuchtegehalte zwischen 70 und 88% bei der Auswertung zugelassen werden mußten. Die sich aus diesen weit gestreckten Grenzen ergebenden Folgerungen werden bei der Diskussion der Ergebnisse mitberücksichtigt. Wichtig war ferner, die Versuche bei etwa gleicher Trommeldrehzahl durchzuführen, weil auch diese Voraussetzung für eine vergleichende Betrachtung erfüllt sein muß.

Um den Zustand des Schnittgutes noch besser kennzeichnen zu können, wurde neben der Bestimmung des jeweiligen Feuchtegehaltes der Rohfaseranteil mitgemessen. Im Hinblick auf die Fragestellung entspricht dem Rohfaseranteil der Ligningehalt, der physikalisch bei der Schneidleistung von Bedeutung sein kann. Aus **Tafel 1** geht hervor, daß aufgrund des Rohfasergehaltes jedoch keine eindeutige Aussage gemacht werden kann. Die Werte liegen in einem engen Bereich und überschneiden sich teilweise, so daß ein großer Einfluß auf den Leistungsbedarf nicht zu erwarten ist.

Tafel 1. Feuchte- und Rohfasergehalt der bei den Versuchen verarbeiteten Halmgüter.

Gutart	Feuchtegehalt U	Rohfasergehalt
	%	(auf Trockensubstanz bezogen) %
Feldgras	80—85	22—26
Klee—Gerste	80—82	22—27
Wiesengras	70—74	24—27
Erbsen-Wicken-Gemenge	84—88	25—29
Weidegras	74—81	25—31

Die unter diesen Bedingungen ermittelten Versuchsergebnisse werden in **Bild 8 und 9** wiedergegeben. Alle Meßwerte liegen in einem verhältnismäßig schmalen Bereich. Berücksichtigt man noch die oben erwähnte Streuung des Feuchtegehaltes, was besonders bei den hohen Feuchtegehalten bedeutsam ist, so läßt sich eine weitere Eingrenzung des Streubereiches denken.

Die Meßwerte für das Erbsen-Wicken-Gemenge (Zwischenfrucht) liegen an der oberen Grenze des Streubereiches. Legt man einen mittleren Feuchtegehaltbereich von etwa 77 bis 80% zugrunde und erinnert sich ferner an die Ausführungen zu Bild 4 bis 7, so ist ohne weiteres eine Erniedrigung der Meßwerte zu

erwarten. Umgekehrt können auch die Werte für Wiesengras wegen der vorliegenden niedrigen Feuchtegehalte entsprechend angehoben werden. Die Folge wäre eine noch schärfere Einnengung des Streubereiches, die die Vermutung zuläßt, daß, ebenso wie beim Exaktfeldhäcksler, kein großer Einfluß der Gutart zu erwarten ist.

4.4 Einfluß der Trommelwellendrehzahl

Schon bei der Ermittlung der Leerlaufleistung hat es sich gezeigt, wie sehr die Antriebsleistung von der Drehzahl der Maschine abhängt. Ähnliche Verhältnisse treten nun auch beim Häckseln von Gut auf. Diese Tendenz scheint weder von dem verwendeten Maschinentyp noch von der Gutart abhängig zu sein.

Da bei der Bearbeitung von einem Erbsen-Wicken-Gemenge die Forderung nach konstanten Versuchsbedingungen am ehesten erfüllt wurde, werden im folgenden die Messungen mit diesem Gemenge dargestellt. Es handelt sich dabei um das Abschlagen des Gutes aus dem stehenden Bestand bei gleichzeitigem Beladen des Wagens, ein Arbeitsgang also, der dem Grünfütterholen bzw. der Bereitung von Naßsilage entspricht.

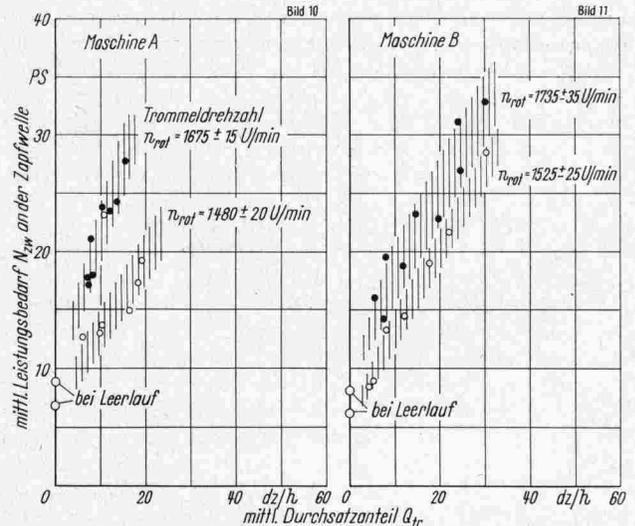


Bild 10 und 11. Leistungsbedarf der Maschinen A und B in Abhängigkeit vom Durchsatzanteil Q_{tr} bei verschiedener Drehzahl der Schlegeltrommel.

Schnittgut: Erbsen-Wicken-Gemenge
Feuchtegehalt U : 77 bis 89% (Bild 10)
83 bis 87% (Bild 11)

Bild 10 läßt einen eindeutigen Einfluß der Trommeldrehzahl auf den Leistungsbedarf erkennen. Eine Erhöhung der Drehzahl um rund 200 U/min hat einen Mehrleistungsbedarf von etwa 8 PS in dem betrachteten Durchsatzbereich zur Folge. Dieser Leistungsunterschied ist für die bestehenden Verhältnisse bezüglich der Schlepperleistungsklassen bedeutend, da nicht immer Schlepper mit genügender Leistungsreserve zur Verfügung stehen. Ähnliche (hier nicht dargestellte) Ergebnisse zeigt der Einsatz der Maschine C. Obwohl der Leistungsbedarf hier aufgrund der höheren Leerlaufleistung (Bild 3) bei höheren Werten liegt, so wird dennoch durch Anhebung der Drehzahl die gleiche Leistungsdifferenz wie bei Maschine A erreicht.

Betrug die sich ergebende Leistungsdifferenz bei Maschine A und C noch rund 8 PS, so wird bei Maschine B nach **Bild 11** eine deutliche Abnahme derselben auf 5 PS sichtbar. Diese Tatsache ist auf die bereits erwähnte kleinere Förderwirkung dieser Ausführung zurückzuführen. Die unterschiedlich große Leistungsdifferenz bei den verschiedenen Maschinen ist zwar durch die jeweilige Konstruktion gegeben, kann aber in keiner Weise über den sehr großen Einfluß der Drehzahl auf die erforderliche Antriebsleistung bei allen Maschinen hinwegtäuschen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse über den Leistungsbedarf kann gesagt werden, daß Ergebnisse über Leistungsmessungen erst dann miteinander vergleichbar sind, wenn sie bei gleicher Drehzahl ermittelt wurden, wobei gleiche Drehzahl auch gleiche Umfangsgeschwindigkeit bedeutet, weil fast alle Schlegeltrom-

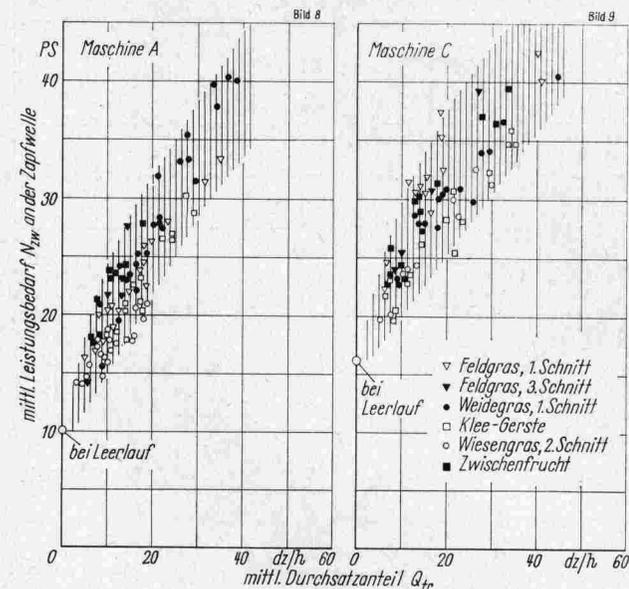


Bild 8 und 9. Leistungsbedarf der Maschinen A und C in Abhängigkeit vom Durchsatzanteil Q_{tr} bei verschiedenem Schnittgut.

Feuchtegehalt U = 70 bis 88%
Ausführung der Maschinen und Drehzahlen siehe Bild 1.

meln der auf dem Markt befindlichen Schlegelfeldhäcksler im Durchmesser gleich groß sind.

Eine Herabsetzung des Leistungsbedarfes ist am einfachsten durch Verringerung der Drehzahl zu erreichen. Inwieweit dies jedoch getrieben werden kann, hängt von den jeweiligen Einsatzbedingungen ab. Sie führt zu einer erhöhten Verstopfungsgefahr, hat größere Häcksellängen zur Folge und kann die Wurfleistung des Häckslers stark reduzieren, so daß unter Umständen das vollständige Beladen eines Wagens nicht mehr durchgeführt werden kann. Es muß also von Fall zu Fall festgelegt werden, welcher Drehzahlbereich erforderlich ist.

Nachdem nun bereits mehrmals von der Förderwirkung des Häckslers gesprochen wurde, soll dieses Problem an dieser Stelle kurz untersucht werden, weil auch beim Fördern der Einfluß der Drehzahl von entscheidender Bedeutung ist. Die Versuche wurden mit Feldgras bei einem mittleren Durchsatz und zwei verschiedenen großen Drehzahlen durchgeführt, **Bild 12 und 13**. Die große Streuung der Wurfparabeln kommt durch die Unebenheiten des Bodens zustande, die dem Häcksler Aufbau-bewegungen aufzwingen, die zu einer Erweiterung des Wurfbereiches führen. Zur Versuchsanstellung selbst ist noch zu bemerken, daß die Wurfparabeln mit der höchsten Stellung der Auswurfklappe erreicht wurden, die, um eine relative Nickbewegung derselben zum Häcksler zu vermeiden, mit dem Auswurfschacht starr verbunden war.

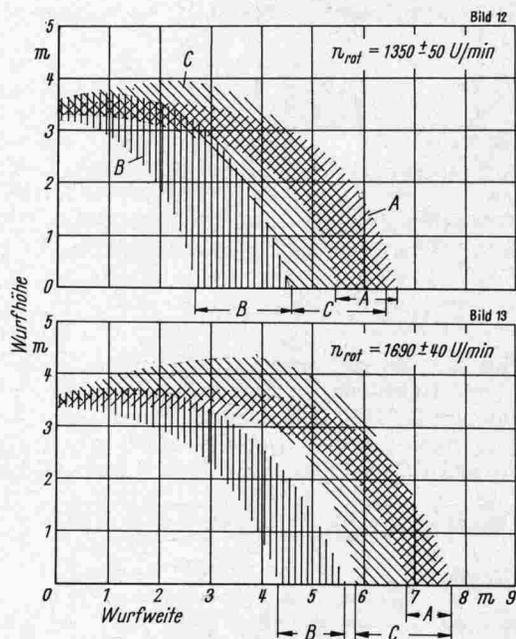


Bild 12 und 13. Wurfwirkung der untersuchten Feldhäcksler bei zwei verschiedenen Drehzahlbereichen der Schlegeltrommeln (Abschlagen aus stehendem Stand und Laden).

	Trommeldrehzahl n_{rot}	
	Bild 12	Bild 13
Maschine A	1415	1730
Maschine B	1370	1745
Maschine C	1300	1650
Schnittgut:	Feldgras 3. Schnitt	
Feuchtegehalt U	= 81 bis 84%	

Bild 12 wurde im niedrigen Drehzahlbereich gefahren, der vielfach in den Prospekten als erstrebenswert dargestellt wird, wenn Kurzhäcksel nicht gefragt ist. Es zeigt sich, daß mit Maschine B unter diesen Verhältnissen lediglich ein Wagen von etwa 3 m Länge (Punkt 0 bedeutet Beginn der Ladefläche) beladen werden kann, während A und C eine um mindestens 1 m längere Ladefläche zulassen. Das Ergebnis bestätigt die bereits angedeutete Beobachtung der geringeren Luftförderung und damit auch Wurfwirkung von Maschine B.

Mit der Steigerung der Drehzahl wächst auch die Wurfwirkung, Bild 13. So kann jetzt Maschine B knapp einen 4 m langen Wagen voll beladen. Die Ausführungen A und C dagegen erlauben eine Verlängerung sogar um 2 m, so daß mit dieser Drehzahl sämtliche auf dem Markt befindliche, für diesen Zweck geeignete Wagen beschickt werden können.

4.5 Einfluß von Arbeitsbreite und Maschinenbauart

Das Vorhandensein von Maschinen unterschiedlicher Arbeitsbreite erfordert eine Klärung der Konsequenzen, die sich daraus ergeben. Die Auswirkung der Arbeitsbreite kann leider nicht für sich allein untersucht werden, da die zur Verfügung stehenden Häcksler unterschiedlicher Schnittbreite zugleich auch von verschiedenen Herstellern stammen. In den nachstehenden Aussagen kann also ein gewisser maschinenbedingter Einfluß hineinspielen, der sich jedoch aufgrund der ähnlichen Konstruktion nur wenig ausgewirkt haben dürfte.

Die mit verhältnismäßig hohen Drehzahlen erhaltenen Ergebnisse sind in **Bild 14 und 15** aufgetragen. Der Verlauf der Streubereiche von den Maschinen A und C ist charakteristisch und unabhängig von der Gutart: während Typ A infolge der kleineren Leerlaufleistung bei niedrigeren Werten beginnt und ziemlich stark ansteigt, setzt C erst bei größeren Leistungen ein und verläuft flacher. Die Folge ist eine Überschneidung der Bereiche bei größeren Durchsätzen, die einen günstigeren Einsatz der breiteren Ausführung verspricht, so daß es sich von einem bestimmten Durchsatz an empfiehlt, die größere Maschine zu wählen.

Der unterschiedliche Anstieg des Leistungsbedarfes mit dem Durchsatz bei unterschiedlicher Arbeitsbreite ist nicht maschinenbedingt, da der Einsatz anderer Maschinentypen ähnliche Ergebnisse zeigt; er wird ferner durch andere Verfasser bestätigt, die gleiche Untersuchungen durchgeführt haben. Amerikanische Arbeiten befaßten sich ebenfalls mit diesem Problem, konnten aber keine befriedigende Antwort finden. Auf jeden Fall spielen die auftretenden Strömungsverhältnisse eine wichtige Rolle, sowie die Reibung der Teilchen an der Wand bzw. untereinander und das Verhältnis „pneumatische Förderung — Wurf Förderung“. Vielleicht kann die Beobachtung weiterhelfen, daß die Wurf Förderung von Gutteilchen, die in Ballenform erfolgt, günstiger ist als eine solche mit über den ganzen Querschnitt gleichmäßig verteilten Halmgutteilchen. Diese Ballung des Gutes kann bei der kleineren Ausführung eher zu einer Drosselung der Luftzufuhr führen und damit hinsichtlich des Leistungsbedarfes ein ungünstigeres Arbeiten zur Folge haben.

Um den erwähnten Schnittpunkt der Lage nach genauer bestimmen zu können, wurden die Streubereiche der Meßwerte in Bild 8 und 9 durch Geraden ersetzt und der spezifische Leistungsbedarf N_{zw}/Q_{tr} gebildet. Durch die Einbeziehung aller verarbei-

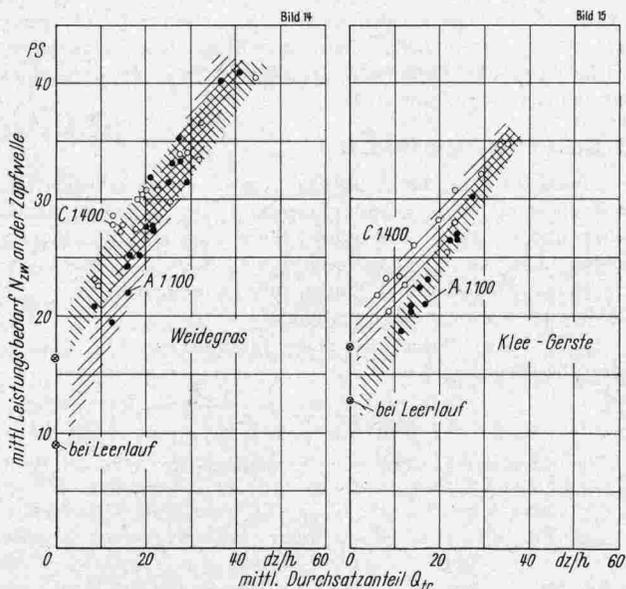


Bild 14 und 15. Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Durchsatzanteil Q_{tr} bei zwei verschiedenen Schnittbreiten.

Maschine	Bild 14		Bild 15	
	A	C	A	C
Schnittbreite mm	1100	1400	1100	1400
Rotordrehzahl U/min	1715 ± 15	1785 ± 45	1705 ± 15	1800 ± 20
Schnittgut	Weidegras		Klee—Gerste	
Feuchtegehalt U %	76—80		80—82	

teten Gutarten gewinnt die Aussage an Bedeutung. In **Bild 16** ist über dem Durchsatzanteil Q_{tr} der spezifische Leistungsbedarf der verschieden breit arbeitenden Maschinen A und C aufgetragen. Der Schnittpunkt der beiden Kurven ergibt den Durchsatz von dem ab die größere Maschine einen kleineren Kraftbedarf benötigt. Dieser Punkt liegt jedoch bei Durchsätzen, die in der Praxis sehr selten erreicht werden.

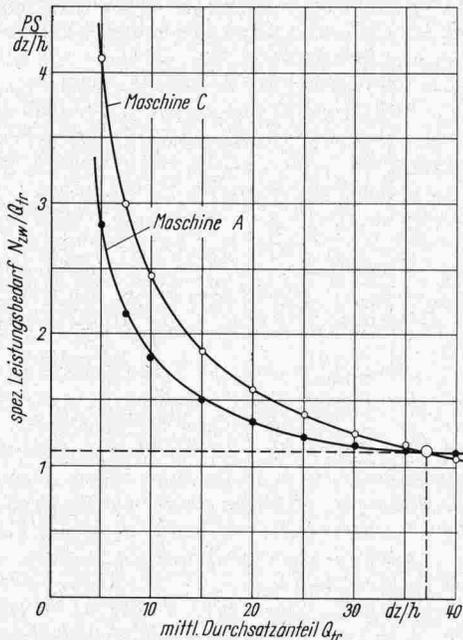


Bild 16. Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Durchsatzanteil Q_{tr} bei den beiden Maschinen A und C mit verschieden großer Arbeitsbreite. Zusammenfassung der Meßergebnisse nach Bild 8 und 9.

Infolge der kleineren Schnittbreite von Typ A muß dessen Fahrgeschwindigkeit bei gleichem Durchsatz größer sein als die von C. Diese erhöhte Geschwindigkeit bedeutet aber eine größere Zugleistung, die also, berücksichtigt man die Gesamtleistung, den Schnittpunkt zu noch kleineren Durchsätzen verschiebt.

Die Frage nach dem optimalen Einsatz einer kleinen bzw. großen Maschine ist nicht ohne Schwierigkeiten zu beantworten, besonders wenn man die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten berücksichtigt, für die erzielbare Flächenleistungen wichtiger als erreichbare Durchsätze sind.

5 Gesamtleistungsbedarf

Neben dem an der Zapfwelle gemessenen Leistungsbedarf müssen vom Schleppermotor zusätzlich die Fahrwiderstände überwunden werden. Die erforderliche Fahrleistung hängt in erster Linie von der Fahrgeschwindigkeit, dem Gewicht von Schlepper, Häcksler und Wagen mit Ladung, dem jeweiligen Bodenzustand sowie der Bereifung ab.

Bei Berücksichtigung aller dieser Einflüsse berechnet sich die Motorleistung zu:

$$N_{mot} = \frac{N_{zw}}{\lambda_{zw} \eta_{zw}} + \frac{N_z}{\lambda_z \eta_{Getr}} \quad (1)$$

Die einzelnen Leistungsanteile können wie folgt ermittelt werden:

$$N_{zw} = \frac{M_{zw} n_{zw}}{716,2} \quad (2)$$

$$N_z = \frac{v_0}{75} [G_{ges} \sin \alpha + \cos \alpha (\varrho_S G_S + \varrho_{Anh} G_{Anh})] \quad (3)$$

mit

$$G_{ges} = G_S + G_{Anh} \quad (4)$$

Sind über die in Gl. (3) vorkommenden Größen keine Werte vorhanden, so kann man auf bereits veröffentlichte Messungen über den Zugkraftbedarf [3] zurückgreifen, die unter etwa gleichen Voraussetzungen Anhaltswerte liefern.

Nachstehend sei der Gesamtleistungsbedarf an einem Beispiel überschlägig ermittelt; gleichzeitig soll dabei ein eventueller

Unterschied in der erforderlichen Antriebsleistung zwischen Maschinen unterschiedlicher Arbeitsbreite festgestellt werden.

Der erste Leistungsanteil von Gl. (1) wird zweckmäßig den vorstehenden Diagrammen entnommen, die die verschiedensten Einsatzmöglichkeiten berücksichtigen. Wird ein Durchsatz $Q_{tr} = 20$ dz/h zugrunde gelegt, so sind nach Bild 16 für die Maschine A 26,8 PS und für die Maschine C 31,6 PS an der Zapfwelle erforderlich.

Zur Berechnung der Zugleistung werden folgende Annahmen getroffen:

- Schleppergewicht $G_S = 2300$ kp
- Gewicht des Häckslers = 640 kp
- Gewicht des Wagens = 1400 kp
- Gewicht des Gutes = 3000 bzw. 1000 kp,

dann ist

$$G_{Anh1} = 5040 \text{ kp,}$$

$$G_{Anh2} = 3040 \text{ kp.}$$

Gewicht des gesamten Häckselzuges

$$G_{ges1} = 7340 \text{ kp,}$$

$$G_{ges2} = 5340 \text{ kp;}$$

ferner sei $\alpha = 0$ ($\sin \alpha = 0$; $\cos \alpha = 1$)

Rollwiderstandsbeiwert $\varrho_S = \varrho_{Anh} = 0,1$

$$\eta_{Getr} = 0,83 \text{ und } \lambda_z = 0,8$$

$$\eta_{zw} = 0,95 \text{ und } \lambda_{zw} = 0,9$$

$$\text{Schlupf } \sigma = 0,1$$

Die Fahrgeschwindigkeit wurde, entsprechend dem angestrebten Durchsatz, für Maschine A zu etwa $v_A = 1$ m/s ermittelt. Bei sonst gleichen Voraussetzungen ergibt sich die Fahrgeschwindigkeit der breiteren Maschine C nach folgender Beziehung:

$$\frac{v_C}{v_A} = \frac{b_A}{b_C} \quad (5)$$

daraus

$$v_C = \frac{b_A}{b_C} v_A = \frac{1100}{1400} v_A = 0,786 \text{ m/s.}$$

In ebenem Gelände ($\alpha = 0$) und mit dem Rollwiderstandsbeiwert $\varrho_S = \varrho_{Anh} = \varrho = 0,1$ vereinfacht sich Gl. (3) für die Fahrleistung zu

$$N_z = \frac{1}{75} \frac{v}{1 - \sigma} \varrho G_{ges}$$

In **Tafel 2** ist für das vorstehende Zahlenbeispiel aus Zapfwellen- und Zugleistung der Gesamtleistungsbedarf für einen Durchsatz von $Q_{tr} = 20$ dz/h und einen Feuchtegehalt $U = 70$ bis 88% errechnet worden. Dabei ist zwischen einer Teillast (1000 kp) und Vollast (3000 kp) des Wagens unterschieden wor-

Verwendete Formelzeichen

b_A	m	Arbeitsbreite der schmalen Maschine
b_C	m	Arbeitsbreite der breiten Maschine
G_S	kp	Schleppergewicht
G_{Anh}	kp	Gewicht aller Anhängemaschinen
G_{ges}	kp	Gewicht des gesamten Häckselzuges
M_{zw}	kpm	Drehmoment an der Zapfwelle
N_{mot}	PS	erforderliche Motorleistung
N_{zw}	PS	Leistung an der Zapfwelle
N_z	PS	Zugleistung
n_{zw}	U/min	Drehzahl der Zapfwelle
n_{rot}	U/min	Drehzahl der Schlegeltrommelwelle
Q	dz/h	Gesamtdurchsatz
Q_{tr}	dz/h	Durchsatzanteil an Trockenmasse
U	%	Feuchtegehalt des Gutes
v	m/s	Fahrgeschwindigkeit
$v_0 = \frac{v}{1 - \sigma}$	m/s	Konstruktionsgeschwindigkeit
v_A	m/s	Fahrgeschwindigkeit mit schmaler Maschine A
v_C	m/s	Fahrgeschwindigkeit mit breiter Maschine C
α	Grad	Steigungswinkel
η_{zw}	—	Wirkungsgrad der Zapfwellenübertragung
η_{Getr}	—	Schaltgetriebewirkungsgrad (Nabenleistung : Motorleistung)
λ_{zw}	—	Motorausnutzungsgrad durch die Zapfwelle
λ_z	—	Motorausnutzungsgrad durch den Zugwiderstand
ϱ_S	—	Rollwiderstandsbeiwert des Schleppers
ϱ_{Anh}	—	Rollwiderstandsbeiwert des Anhängers und des Häckslers
σ	—	Schlupf

Tafel 2. Gesamtleistungsbedarf für einen angenommenen mittleren Durchsatzanteil $Q_{tr} = 20$ dz/h.

Maschine	Leistungsbedarf				
	an der Zapfwelle N_{zw}	an der Zugöse N_z		insgesamt $N_{zw} + N_z$	
	PS	Teillast PS	Vollast PS	Teillast PS	Vollast PS
A	26,8 (31,3*)	7,9 (11,9)	10,9 (16,4)	34,7 (43,2)	37,7 (47,7)
C	31,6 (37,0*)	6,2 (9,3)	8,6 (12,9)	37,8 (46,3)	40,2 (49,9)

*) Klammerwerte auf Schleppermotor bezogen

den. Die errechnete Motorleistung bewegt sich bei der schmalen Maschine A zwischen 43 und 48 PS, während die breitere Ausführung C zwischen 46 und 50 PS benötigt.

Auf ähnliche Weise läßt sich derjenige Durchsatz Q_{tr} errechnen, bei dem beide Maschinen dieselbe Motorleistung benötigen; dieser ist, wie schon angedeutet wurde, kleiner als der nach Bild 16 ermittelte.

Wie im Vorstehenden der translatorische Leistungsanteil der Schlegelfeldhäcksler aufgrund der bekannten Gesetzmäßigkeiten der Fahrmechanik und der Erfahrungswerte für Rollwiderstandsbeiwert usw. errechnet werden kann, müßte auch der rotatorische Leistungsanteil zu beherrschen sein. Das weitere Ziel dieser Arbeit ist deshalb, für die in den vorstehenden Diagrammen enthaltenen Versuchsergebnisse eine mathematische Beziehung für Leistung und Durchsatz aufzustellen, die den Einfluß aller behandelten Parameter beinhaltet, unter anderem auch die technologischen Eigenschaften des Halmgutes.

Aufgrund der Vielzahl der in Frage kommenden Parameter konnte dieses Ergebnis noch in keine konkrete Form gebracht werden. Als Zielfunktion steht die aufzubringende Leistung in Abhängigkeit des Durchsatzes. Die Bedeutung der einzelnen Parameter kann aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung abgeschätzt werden. Von großem Einfluß ist die Trommeldrehzahl. Gleichbedeutend ist der Einfluß der in dem Halmgut bei

der Verarbeitung enthaltene Feuchtegehalt. Die Arbeitsbreite der Trommel ist je nach Durchsatz von Einfluß auf den Leistungsbedarf. Die Art des Halmgutes scheint dagegen von geringer Bedeutung zu sein.

Lassen sich alle diese Einflüsse in einer Gleichung für den Leistungsaufwand erfassen, so wird diese bei betriebstechnischen Überlegungen im Rahmen von Verfahrensvergleichen eine wertvolle Hilfe sein.

6 Zusammenfassung

In Feldversuchen wurde mit Schlegelfeldhäckslern verschiedener Herkunft die erforderliche Antriebsleistung ermittelt. Neben Drehzahl und Drehmoment wurden der Gutedurchsatz, der Feuchte- und der Rohfaseranteil des Gutes bestimmt, um eine Beziehung zwischen Leistung und dem Gutedurchsatz zu erhalten.

Von großem Einfluß ist die Drehzahl der Trommelwelle auf den Leistungsbedarf; diese Abhängigkeit ließ sich bereits bei den Leerlaufmessungen erkennen. Die Drehzahl ist außerdem von erheblichem Einfluß auf die Wurfwirkung beim Beladen. Jedenfalls dürfen Leistungsmessungen bei Schlegelfeldhäckslern nur bei gleicher Drehzahl miteinander verglichen werden. Die Deutung des Einflusses verschieden großer Arbeitsbreiten auf den spezifischen Leistungsbedarf ist schwierig. Erst von einem bestimmten Durchsatz ab arbeitet die breitere Trommel energetisch besser als die schmale. Der Gesamtleistungsbedarf wurde in einem Beispiel aus dem rotatorischen und dem translatorischen Anteil für einen bestimmten Betriebsfall errechnet.

7 Schrifttum

- [1] *Vornkahl, W.*: Vergleichende Untersuchungen über den Leistungsbedarf von Feldhäckslern mit vereinfachten Mäh- und Häckselwerkzeugen. Landtechn. Forsch. **13** (1963) H. 3, S. 79/84.
- [2] *Gluth, M., und H. Voß*: Vergleichende Betrachtungen zum Leistungsbedarf von Feldhäckslern. Landtechn. Forsch. **16** (1966) H. 5, S. 172/76.
- [3] *Dolling, C.*: Untersuchungen über den Leistungsbedarf von Feldhäckslern. Landtechn. Forsch. **7** (1957) H. 3, S. 65/70.

DK 632.982

Zur Frage der Verteilung von Granulaten, insbesondere von Herbiziden

Von **Horst Göhlich**, Berlin

Das früher übliche mechanische Hackverfahren zur Unkrautbekämpfung wird nur noch dort angewandt, wo gleichzeitig eine Verbesserung der Oberflächenstruktur des Bodens notwendig ist. Als wirtschaftlichstes Verfahren hat sich im vergangenen Jahrzehnt die Anwendung chemischer Unkrautbekämpfungsmittel durchgesetzt. Die chemische Unkrautbekämpfung erfolgt heute fast ausschließlich mit Spritzmitteln in einer Aufwandmenge von etwa 400 l pro Hektar. Diese Flüssigkeitsmenge ist erforderlich, um eine gleichmäßige Verteilung des Wirkstoffes zu gewährleisten. Eine erhebliche Reduzierung der Ausbringungsmenge läßt sich dadurch erreichen, daß man den Wirkstoff an feste Trägerteilchen (Granulate) anlagert. Voraussetzung hierbei ist allerdings ein Verfahren, das eine gleichmäßige Verteilung dieser Feststoffteilchen unter Berücksichtigung der erforderlichen Wirkstoffverteilung auf dem Boden bzw. auf der Pflanzenoberfläche ermöglicht.

Die Anwendung von Feststoffen anstelle von Flüssigkeiten als Trägermittel bei der Verteilung von Pflanzenschutzstoffen hat unter gewissen Bedingungen nach wie vor sowohl technische als auch ökonomische Bedeutung. Man kann beim Verteilen von Granulaten mit einfachen robusten Geräten arbeiten und kann

gleichgroße Flächen mit geringerem Aufwand an Zeit und Arbeitskräften behandeln als beim Spritzen.

Bislang spielte im Pflanzenschutz Staub als Trägerstoff eine wichtige Rolle, wobei die Partikel eine Größe von 5 bis 50, z. T. auch bis 100 μ m haben. Sowohl Feststoffteilchen als auch Tröpfchen im Größenbereich unter 100 μ m können bei üblichen Windgeschwindigkeiten von 1 bis 3 m/s einer gefährlich großen Abtrift unterliegen. Das ist auch bei Mineraldünger der Fall, dessen Kornzusammensetzung häufig einen Anteil unter 100 μ m aufweist, wobei allerdings keine so großen Gefahren mit einer Abtrift verbunden sind. Um möglichst windunabhängig und technisch mit einfachen Mitteln Düngestoffe gleichmäßig verteilen zu können, werden deshalb die auszustreuenden Teilchen möglichst groß, d. h. größer als 100 μ m, hergestellt.

Im Bereich des Pflanzenschutzes kommen heute in überwiegend Maße Herbizide (ätzende oder wuchsstoffhaltige Unkrautbekämpfungsmittel) zur Anwendung. Wesentlich geringere Mengen kommen als fungizide (pilztötende) und insektizide (insektentötende) Mittel zum Einsatz. Etwa 70% der gesamten Getreidefläche der Bundesrepublik werden vorwiegend mit wuchsstoffhaltigen Unkrautmitteln und einer durchschnittlichen Aufwandmenge von 400 l je Hektar gespritzt. Eine Vereinfachung und eine bedeutsame Verminderung des Arbeitsaufwandes könnte mit der Verteilung des Wirkstoffes mit Hilfe

o. Prof. Dr.-Ing. Horst Göhlich ist Direktor des Instituts für Landmaschinen der Technischen Universität Berlin.