

Verkürzung der Trocknungszeit und Verbesserung der Arbeitstechnik bei der Heugewinnung durch Halmgutbehandlung mit Druck- und Schlagwerkzeugen

Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim

Das Verfahren der Heugewinnung ist mit zahlreichen Nachteilen verbunden. Zu diesen gehören:

1. Der Trocknungsvorgang hängt vom atmosphärischen Zustand der Luft ab.
2. Gutes Trocknungswetter steht nur während eines Teiles der Wachstumsperiode zur Verfügung. Im Herbst überschneiden sich gute Vegetationsverhältnisse mit kühlem, ungeeignetem Trocknungswetter. In Gebieten mit frühem Wachstum ist dies auch im Frühjahr der Fall. Dann verdoppeln sich die Schwierigkeiten.
3. Die zur Vermeidung biologisch bedingter Nährwertverluste erwünschte kurze Trocknungszeit kann nur schwer erreicht werden.
4. Infolge der zahlreichen Arbeitsgänge, besonders während des Trocknungsvorganges, ist die Heugewinnung sehr arbeitsaufwendig.
5. Die mehrfache maschinelle Bearbeitung auf dem Feld erhöht die Substanzverluste.

Dank neuerer wissenschaftlicher Erkenntnisse und mit Hilfe der von der Industrie entwickelten neuen Maschinen konnten in den vergangenen 20 Jahren folgende Fortschritte erreicht werden:

1. Die technologischen Möglichkeiten und Grenzen der Heuwerbungstechnik sind teilweise wissenschaftlich geklärt und werden in der landwirtschaftlichen Praxis weitgehend berücksichtigt.
2. Arbeitsgänge, die bisher der Handarbeit und der tierischen Zugarbeit vorbehalten waren, konnten durch Einführung neuer Heubearbeitungsmaschinen mechanisiert und motorisiert werden.
3. Durch Entwicklung von Heubearbeitungsmaschinen für höhere Arbeitsgeschwindigkeiten bis zu 16 km/h und durch die Einführung breiter, für unebenes Gelände geeigneter Maschinen konnte die Flächenleistung vervielfacht werden.
4. Die Einführung des Unterdachtrocknungsverfahrens verringert das Wetterisiko und erlaubt die zusätzliche Anwendung einer Kühltechnik im Falle der Selbsterwärmung. Das mit diesem Verfahren gewonnene Heu erreicht eine hohe Futterqualität.
5. Bei Anwendung des Heuturmes mit mechanischer Entleervorrichtung können alle Arbeiten vom Schnitt bis zur Fütterung mechanisiert werden.

Die derzeitigen Bemühungen um eine weitere Verbesserung der Heuwerbungstechnik erstrecken sich auf folgende Aufgaben:

1. Weitere Verminderung der Substanz- und Qualitätsverluste bei gleichzeitiger Verkürzung der Trocknungszeit auf dem Feld durch Verbesserung des Verfahrens der Unterdachtrocknung.
2. Vereinfachung der Arbeiten auf dem Feld.
3. Mechanisierung der Arbeiten des Einlagerns, Verteilens und der Entnahme bei Flachstapellagerung.

Auf die ersten beiden Aufgaben soll hier ausführlicher eingegangen werden. Die dritte Frage ist in der Fachpresse bereits mehrfach behandelt worden [1; 2]. Technische Lösungen hierfür bahnen sich an.

Eine Möglichkeit zur Verkürzung der Trocknungszeit bietet die Anwendung von Stengelknickmaschinen. Dieses Verfahren ist seit langem bekannt. WIENEKE [3] nennt den Vorschlag des schlesischen Erfinders H. BARTSCH vom Jahre 1913 [4]. In den USA befaßt man sich wissenschaftlich bereits seit dem Jahre 1929 damit [5]. Unsere eigenen Versuche begannen im Jahre 1951 [6]. Sie wurden mit einer kurzen Unterbrechung bis zum Jahre 1964 fortgesetzt. In Tafel 1 sind die verwendeten Versuchsmaschinen zusammengestellt. Über die Ergebnisse soll hier zusammenfassend berichtet werden.

Das Verfahren des Stengelknickens geht davon aus, durch eine mechanische Behandlung des gemähnten Halmgutes unmittelbar nach dem Schnitt ein gleichmäßiges und damit trocknungstechnisch günstiges Gut zu schaffen. Infolge dieser Behandlung entstehen aus den dickeren Stengeln dünnere Halmgutteile, die etwa denen der Blätter nahekommen. Es entsteht ein gleichmäßigeres Trocknungsgut. Hinzu kommt, daß durch das Aufsprengen der Stengel die Innenseite der Halme freigelegt und der trocknenden Wirkung der Luft besser ausgesetzt wird. Die freigelegten Schichten trocknen leichter als die äußere Zellschicht, die bei vielen Pflanzen mit einem wachsähnlichen Stoff zur Regelung der Wasserabgabe behaftet ist. Die dünneren Blätter wirken bis zu einem bestimmten Feuchtegehalt bei der Trocknung wasserentziehend auf die Stengel. Die pflanzenphysiologischen Zusammenhänge wurden von JONES und PALMER [7], in neuerer Zeit ergänzend von PEDERSEN und BUCHELE [8] eingehend untersucht.

Die mechanische Behandlung entspricht einer begrenzten Zerkleinerung des Halmgutes quer zur Längsachse der Stengel. Zellsaft soll dabei zur Vermeidung von Nährwertverlusten nicht ver-

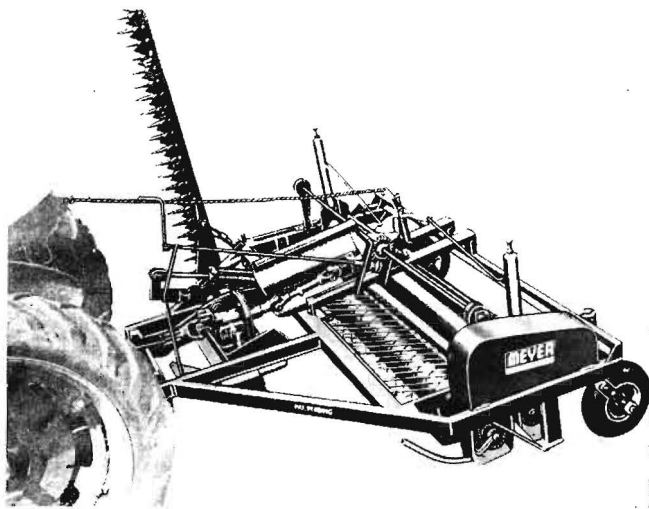


Bild 1: Stengelknickmaschine mit Mähwerk, Aufsammeltrommel und zwei glatten Stahlwalzen
Bauart Meyer USA 1950 (Versuchsmaschine A)

Tafel 1: Bei den Versuchen eingesetzte Stengelknickmaschinen

Fabrikat	Bezeichnung	Walzenbauart
Meyer	(A)	2 Stahlglattwalzen
John Deere USA . . .	(B)	2 gegossene Riffelwalzen
IHC (Dreipunktanbau)	(C)	2 genutete Gummivalzen
Lundell (Schlegelfeldhäcksler)	(D)	Schlegeltrommel
John Deere-Lanz . . .	(E)	2 gegossene Riffelwalzen
John Deere-Lanz (Schlegelfeldhäcksler)	(F)	Schlegeltrommel
New Holland	(G)	2 geschweißte Stahlriffelwalzen
IHC (angehängte Maschine)	(H)	2 genutete Gummivalzen

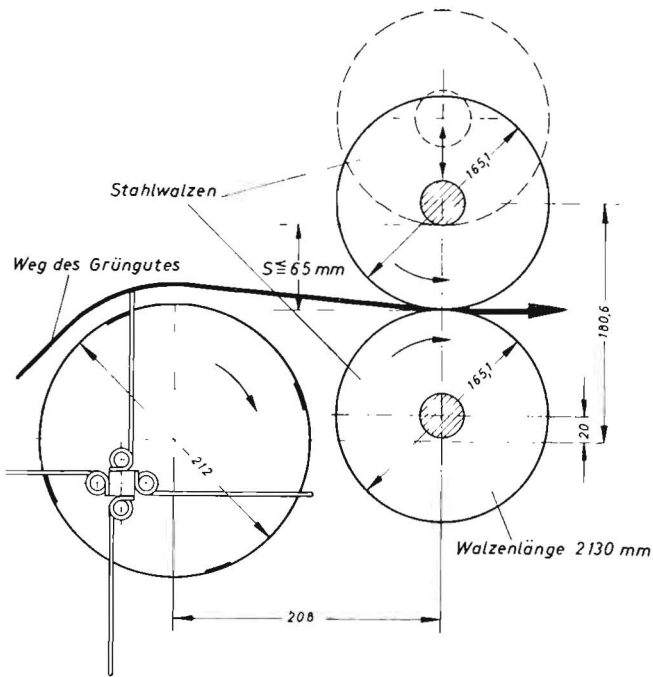


Bild 2: Anordnung der Walzen bei der Stengelknickmaschine nach Bild 1 (Versuchsmaschine A)

loren gehen. Da mit dem Ausdruck „quetschen“ die Vorstellung des Ausdrückens von Zellsaft verbunden ist, wird hier der Ausdruck „knicken“ bevorzugt¹⁾. In den USA haben sich für diesen Vorgang zwei Ausdrücke eingeführt, „crushing“ und „crimping“. Während man unter „crushing“ das Aufbrechen und Aufsprengen der Stengel versteht, wie es vorzugsweise mit Walzen glatter Oberfläche erreicht wird, wird mit „crimping“ die Behandlung mit profilierten und geriffelten Walzen bezeichnet. Dabei werden Glattwalzen für grasartiges Gut und Rauhwalzen für Klee- und Luzerneheu empfohlen.

Rauhwalzen mit stärkerer Profilierung kamen erst vor zehn Jahren auf. Bei den ersten Versuchen wurden zwei oder drei glatte Stahlwalzen verwendet [4; 5; 9; 10]. Das trifft auch für die erste serienmäßig hergestellte Maschine von MEYER (Bild 1) zu, die mit zwei glatten Stahlwalzen arbeitet (Bild 2). 1951 wurde auf einer englischen Landwirtschaftsausstellung die in Bild 3 gezeigte Halmgutaufbereitungsmaschine mit Schlegelwerkzeugen gezeigt [6]. Bei dieser Konstruktion wird das Gut von einer mit Flichkraftschlägern versehenen Trommel aufgenommen, gegen eine gegenüber angeordnete, feststehende geriffelte Wand geschleudert und anschließend wieder im Schwaden abgelegt. Es handelt sich dabei um eine ähnliche Arbeitsweise wie beim Schlegelfeldhäcksler. Die Versuche mit der obengenannten englischen Stengelknickmaschine mit umlaufenden Schlegelwerkzeugen ergaben zwar einen günstigeren Trocknungserfolg, hatten aber insofern ein negatives Ergebnis, als die Beschädigungen, die durch die Behandlung mit den schnelllaufenden Werkzeugen eintreten, zu hohe Blatt- und Substanzverluste verursachten. Die Versuche wurden daraufhin eingestellt²⁾.

Angeregt durch das Erscheinen der englischen Maschine wurden von uns die ersten Versuche im Jahre 1951 mit einer Laboratoriumseinrichtung durchgeführt. Dabei wurde zunächst eine Versuchseinrichtung aus der Institutswerkstatt mit drei glatten Stahlwalzen verwendet. Diese Versuche waren sehr ermutigend, so daß wir uns entschlossen, die im Jahre 1952 in den USA herausgebrachte Stengelknickmaschine (Bild 1) zu beschaffen und unter unseren Verhältnissen auf ihre Brauchbarkeit zu untersuchen. Über die Ergebnisse mit dieser Maschine wurde bereits von PESCHKE berichtet [11; 12].

¹⁾ Nach DIN 11 366 werden beide Ausdrücke, quetschen für die Anwendung glatter Walzen, knicken für Rauhwalzen, vorgeschlagen

²⁾ Ein Bericht über die Versuche mit der Stengelknickmaschine nach Bild 3 wurde von F. S. MITCHELL und G. SHEPPERSON in der Zeitschrift „Dairy Farmer“ im November 1952 unter der Überschrift „Saving a Day when Making Hay“ veröffentlicht

Die mit Wiesengras und Luzerne durchgeführten Feldversuche (Bild 4 und 5) bringen den Nachweis, daß eine Abkürzung der Trocknungszeit durch Anwendung eines Aufbereitungsprozesses erreicht werden kann. Aus den Diagrammen in Bild 4 und 5 ergibt sich außerdem, daß zwei zusätzliche Arbeitsgänge für das Wenden des Heues eingespart werden können, so daß ein Zeitgewinn von mehreren Stunden und eine Arbeitersparnis eintritt. Das bedeutet, daß das Erntegut bei weniger Arbeit früher eingebracht werden und daß das Wetterrisiko vermindert werden kann.

Eine Untersuchung der Substanzverluste ergab keinen wesentlichen Unterschied zwischen behandeltem und unbehandeltem Gut. Beim Versuch nach Bild 4 betragen die Verluste an Trockenmasse bei der Bearbeitung von Hand 12,3%. Bei maschineller Bearbeitung mit der Stengelknickmaschine 25,4% und ohne diese bei sonst gleicher Bearbeitung 24,5%. Die Verluste an Rohprotein betragen bei der Bearbeitung von Hand 21,0%, beim behandelten Gut 28,6% und beim unbehandeltem Gut 28,4%.

Die Ergebnisse beim Versuch mit Luzerne nach Bild 5 bestätigten ebenfalls, daß die Behandlung des Halmgutes mit der Aufbereitungsmaschine keine zusätzlichen Verluste verursacht.

PESCHKE folgert aus einer größeren Zahl von Versuchen, daß durch die Aufbereitung bei Wiesengras mit einer Abkürzung der Trocknungszeit um einen Tag und gleichzeitig mit einer Einsparung von Arbeitsgängen gerechnet werden kann. Bei Feldfutter liegen die Verhältnisse noch günstiger. Es lassen sich zwei Tage Trocknungszeit einsparen. Dieser Unterschied erklärt sich aus den unterschiedlichen Querschnittsverhältnissen von Stengeln und Blättern bei Wiesengras und bei Feldfutter. Die Untersuchungen wurden

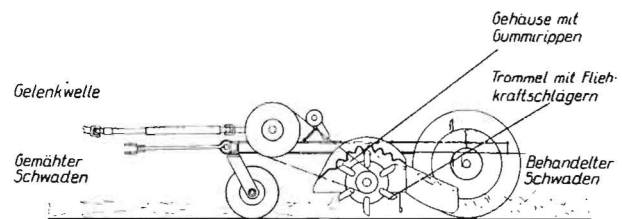


Bild 3: Stengelknickmaschine nach dem Schlegel-Prinzip (englische Bauart Tullos 1950)

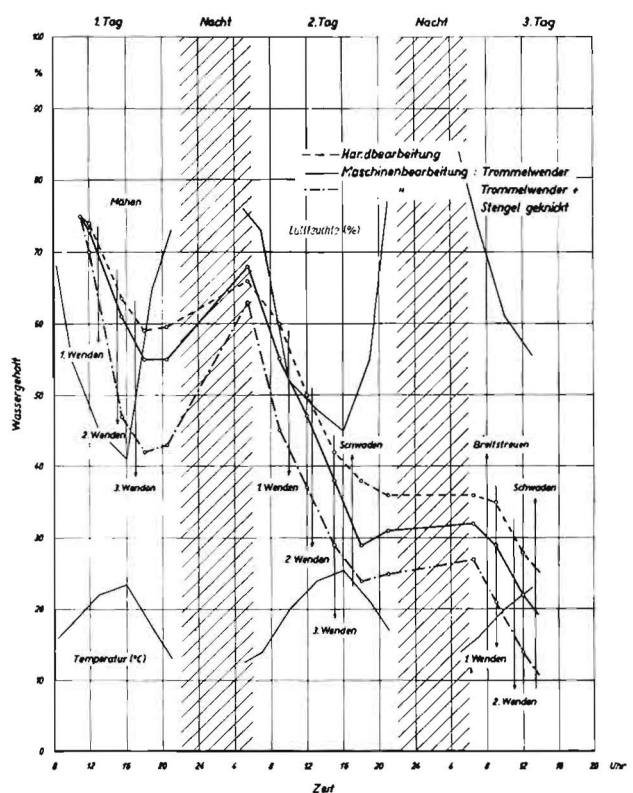


Bild 4: Verlauf der Trocknung bei behandeltem und unbehandeltem Wiesengras
Versuche mit der Stengelknickmaschine (A) nach Bild 1; Versuchsergebnisse nach PESCHKE

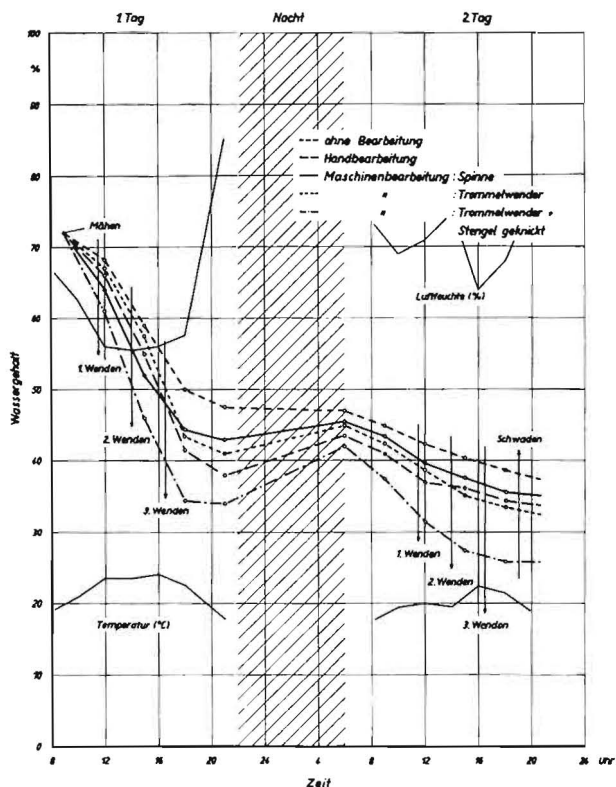


Bild 5: Verlauf der Trocknung von behandeltem und unbehandeltem Luzerne-Wedelgras-Gemenge
Versuche mit der Stengelknickmaschine (A) mit Glattwalzen nach PESCHKE

zunächst ausschließlich bei gutem Trocknungswetter durchgeführt. Versuche bei schlechtem Wetter ergaben, daß aufbereitetes Gut sehr schnell Wasser aus der Luft aufnimmt. Besonders unangenehm wirkt sich dies bei Regen aus. Um die Verhältnisse unter ungünstigen Klimaverhältnissen näher untersuchen zu können, wurden die Versuche im Jahre 1953 in Schleswig-Holstein fortgesetzt.

Die in dankenswerter Weise von KLOEPEL ermöglichten Messungen erstreckten sich vorwiegend auf Klee-Grasgemenge. Bei einem Versuch in Rothenstein in der Zeit vom 10. 6. bis 13. 6. 1953 mit Rotklee-Gras-Gemenge bei einem Flächenbestand von 4,0 kp/m² Naßgewicht und einem Bestandsvolumen von 0,056 m³/m² mit einem Anfangswassergehalt von 80% wurde die Stengelknickmaschine nach Bild 1 mit zwei Glattwalzen aus Stahl verwendet. Das Versuchsergebnis ist in Bild 6 dargestellt. Bei ungünstigen Witterungsverlauf mit ungewöhnlich hohen Luftfeuchten, die am zweiten Versuchstage bis zu 100% erreichten, konnte nach vier Tagen Trocknungsdauer der Wassergehalt auf etwa 30% gesenkt werden. Infolge der hohen Luftfeuchte zeigte sich kaum ein Unterschied zwischen behandeltem und unbehandeltem Gut. Das behandelte Gut nahm bei hoher Luftfeuchtigkeit etwas mehr Wasser auf als das unbehandelte Gut, gab es aber dann bei Einsetzen geringerer Luftfeuchte schneller ab. Der Versuch ist insofern aufschlußreich, als die getrennt ermittelten Wassergehaltsproben von Gras- und Kleeanteilen zwischen beiden Halmgutarten hinsichtlich des Trocknungsverlaufes kaum einen Unterschied aufwiesen. Dabei überwog der mengenmäßige Anteil von Gras den von Klee.

Das Ergebnis zeigt ferner, daß die Behandlung durch Stengelknicken nur dann sinnvoll und zu einer Beschleunigung der Trocknung führen kann, wenn günstige Witterungsverhältnisse vorliegen. Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen mit hoher Luftfeuchte ist mit einer schnelleren Trocknung nicht zu rechnen. Behandeltes Gut kann in solchen Fällen sogar ungünstiger reagieren als unbehandeltes Gut. Das tritt dann besonders kraß in Erscheinung, wenn das Gut durch Regenwasser benetzt wird.

Versuche bei Regenwetter wurden in Borkhorster-Hütte (Holstein) in der Zeit vom 13. 6. bis 16. 6. 1953 mit Klee-Gras-Gemenge durchgeführt, das anschließend auf Dreibock-Reuter gelangte. Am zweiten und dritten Versuchstag fiel Regen, am zweiten Versuchstag in Form von kleinen Gewitterschauern, am dritten

Versuchstag als starker Gewitterregen. Die Wirkung zeigt sich in Bild 7 besonders am dritten Versuchstag. Dabei reagiert das behandelte Gut wesentlich stärker mit einer Wasseraufnahme als das unbehandelte Gut. Durch diese Wasseraufnahme wird der günstige Trocknungsverlauf beim behandelten Gut wieder vollständig ausgeglichen, so daß am vierten Versuchstag die gleichen Ergebnisse wie beim unbehandelten Gut vorliegen.

Parallel zu diesen Versuchen wurden Nährwertuntersuchungen durchgeführt, die tendenzmäßige Unterschiede zwischen behandeltem und unbehandeltem Gut zeigten, wobei ein eindeutiger Qualitätsgewinn beim behandelten Gut zugunsten eines höheren Gehaltes an Rohweiß festzustellen war. Dieses Ergebnis kann infolge der besonderen Versuchsbedingungen nicht verallgemeinert werden. Ein Vergleich des Karotingehaltes in den Heuproben ergab keinen eindeutigen Unterschied. Nach Farbe und Geruch unterschied sich das behandelte Heu stets vorteilhaft von unbehandeltem Gut [13].

Zusammenfassend läßt sich aus diesen bei Regenwetter durchgeführten Versuchen folgern, daß bei ungünstiger Witterung keine trocknungsfördernde Wirkung eintritt. Durch die Knickbehandlung wird ein sehr feuchteempfindliches Gut geschaffen, das bei guter Witterung zwar schneller trocknet als unbehandeltes Gut, bei feuchter Witterung aber schneller Wasser aufnimmt. Vom trocknungstechnischen Standpunkt aus ist der Gebrauch dieser Maschinen nur gerechtfertigt, wenn die Arbeit bei gutem Trocknungswetter erfolgt. Hinsichtlich der Ausbildung der Stengelknickmaschine konnte bei diesen Versuchen die Erfahrung gesammelt werden, daß die vorhandene Arbeitsbreite von 7 Fuß und die Form einer Aufsattelmachine für den Betrieb auf kleinen Feldstücken ungünstig ist. Diese Feststellung führte 1954 zu dem Vorschlag, die Stengelknickmaschine in Form einer Anbaumachine für die Dreipunkthydraulik des Schleppers auszubilden [14] (Bild 8). Vorschläge für eine Seiten-Anbaumachine machte

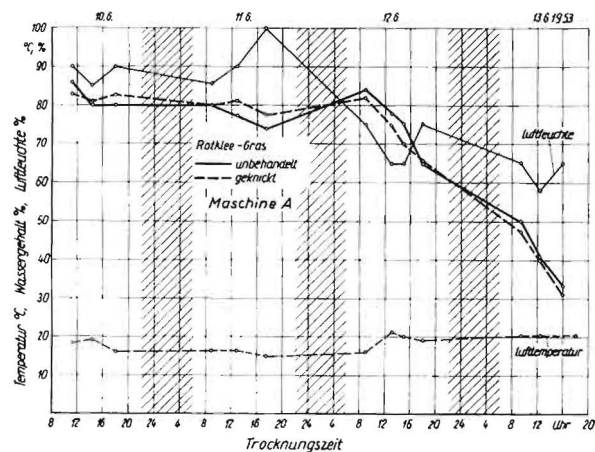


Bild 6: Einfluß der Witterung auf behandeltes und unbehandeltes Gut bei Rotklee-Grasgemenge
Versuche in Rothenstein 1953 mit Stengelknickmaschinen (A)

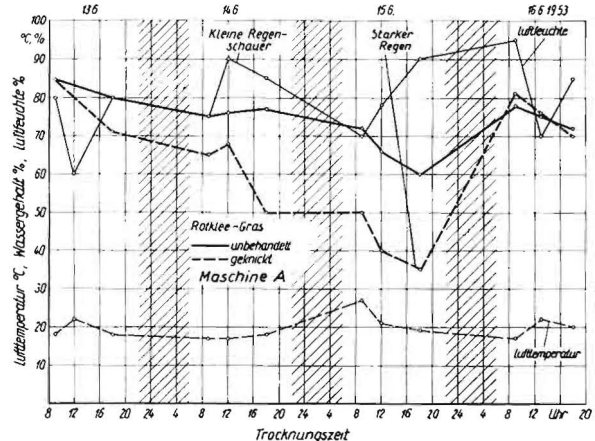


Bild 7: Einfluß von Regenfall auf den Trocknungsverlauf von behandeltem und unbehandeltem Klee-Grasgemenge
Versuche in Borkhorster-Hütte (Holstein) 1953 mit Stengelknickmaschine (A)

der Landwirt HOBERG, Rommersdorf, der 1954 die in Bild 9 gezeigte Seiten-Anbaumaschine entwickelte [15].

Das Interesse der praktischen Landwirtschaft an diesem neuen Verfahren war zunächst groß. Der Einführung von Stengelknickmaschinen stand jedoch der Nachteil entgegen, daß es sich um eine Einzweckmaschine handelte, die zu dieser Zeit außerdem noch mit technischen Mängeln behaftet war. Die Situation änderte sich erst, als es der Industrie gelang, neue und vereinfachte Konstruktionen zu entwickeln, von denen einige in den folgenden Jahren untersucht wurden. Nachstehend wird nur über diejenigen Bauarten berichtet, die zu Verbesserungen geführt haben.

In den USA erschienen ab 1956 neben den Maschinen mit Glattwalzen solche mit geriffelten Walzen [16]. Eine Maschine mit geriffelten Walzen (Bild 10) wurde 1957 aus den USA beschafft und für die Behandlung von Klee- und Luzerneheu eingesetzt. Diese Maschine besitzt keine besondere Aufnahmevorrichtung. Das Gut wird unmittelbar von den beiden Knickwalzen aus dem Schwaden aufgenommen (Bild 11). Diese Vereinfachung erschien uns besonders wertvoll mit Rücksicht auf die bei älteren Ausführungen noch vorhandene Aufsammeltrommel.

Nachdem bei den fabrikmäßig hergestellten Maschinen zunächst glatte Stahlwalzen und später geriffelte, gegossene Walzen üblich waren, kamen Gummiwalzen auf. Eine solche Maschine stand uns ab 1960 zunächst in gezogener Ausführung, ab 1962 in der Form für den Dreipunktbau für Vergleichsversuche zur Verfügung (Bild 12). Bei dieser Ausführung erfolgt die Aufnahme und Behandlung des Gutes mittels zweier Gummiwalzen, die zum Zweck einer besseren Mitnehmerwirkung mit spiralförmig an der Walzenoberfläche angeordneten Nuten versehen sind (Bild 13).

Für die nachstehend beschriebenen Vergleichsversuche standen die Stengelknickmaschinen nach Bild 10 und Bild 12, sowie die veränderte Maschine (E) (mit 2 Riffelwalzen) zur Verfügung. In diese Versuche wurde auch ein Schlegelfeldhäcksler mit einbezogen, der für diese Arbeit mit einer besonderen Schwadablegeöffnung versehen war (Bild 14). Beim Versuch mit dem Schlegelfeldhäcksler ersetzte dieser das Schleppermähwerk und eine Stengelknickmaschine. Der in Bild 14 gezeigte Schlegelfeldhäcksler älterer amerikanischer Bauart wurde später durch eine neuere deutsche Ausführung ersetzt. Die Fahrgeschwindigkeiten lagen bei 0,97 m/s, die Drehzahl der Schlegeltrommel betrug 1 035 U/min, deren Durchmesser 650 mm. Das ergibt eine Umfangsgeschwindigkeit von 35,2 m/s und ein Verhältnis von Umfangs- zu Fahrgeschwindigkeit von 36,3 [17]. Die Versuchsmaschine war mit einer Einrichtung zur Einstellung einer niedrigeren Trommeldrehzahl versehen. Durch Benutzung der niedrigeren Drehzahl sollte die Häckselwirkung zugunsten einer vorwiegenden Knickwirkung eingeschränkt werden.

Versuche mit Rotklee wurden beim zweiten Schnitt in Hohenheim durchgeführt. Bild 15 zeigt das Ergebnis der Trocknungsversuche bei Rotklee mit verschiedenen Bauarten von Stengelknickmaschinen sowie mit dem oben erwähnten Schlegelfeld-

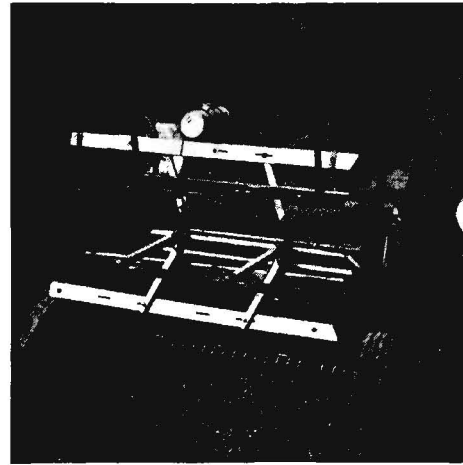


Bild 9: Versuchsausführung für eine Stengelknickmaschine für den seitlichen Anbau am Schlepper (Bauart Hoberg, Rommersdorf 1954)

häcksler. In allen Fällen trocknet das behandelte Gut wesentlich schneller als das unbehandelte. Der Unterschied ist beträchtlich. Bei einem Ausgangswassergehalt von 71% wird bereits am ersten Tag eine Trocknungswirkung erreicht, die zum Vorwelken für die Belüftungstrocknung ausreicht. Beim Klee ist die vorliegende genutete Gummiwalze überlegen. Der Unterschied ist erheblich. Den besten Trocknungserfolg hat der Schlegelfeldhäcksler. Diese Feststellung konnten wir wiederholt auch bei anderen Messungen machen. Der Schlegelfeldhäcksler ist, als Stengelknickmaschine angewandt, allen anderen Maschinen überlegen. Diesem Vorteil steht allerdings ein entscheidender Nachteil gegenüber. Die Substanzverluste durch die Schlagbehandlung des Halmgutes sind erheblich. Das deckt sich auch mit den Untersuchungen von GLASOW [18]. Dazu kommen die Verluste durch die größere Stoppelhöhe im Vergleich zum Schleppermähwerk, da die heutigen Konstruktionen nicht den Boden abtasten, sondern mit einer RadhöhenEinstellung versehen sind. Die durch Wägung des Erntegutes

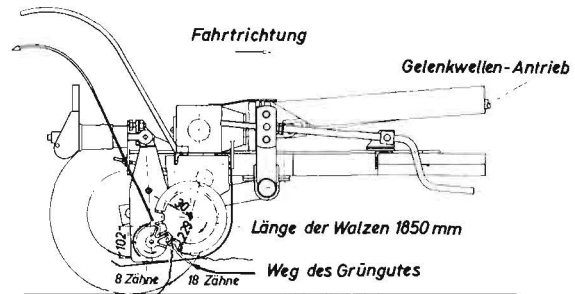


Bild 10: Stengelknickmaschine für Anhängung an die Ackerschleife mit zwei geriffelten Walzen ohne Aufsammeltrommel (Bauart John Deere 1956 — Versuchsmaschine B)

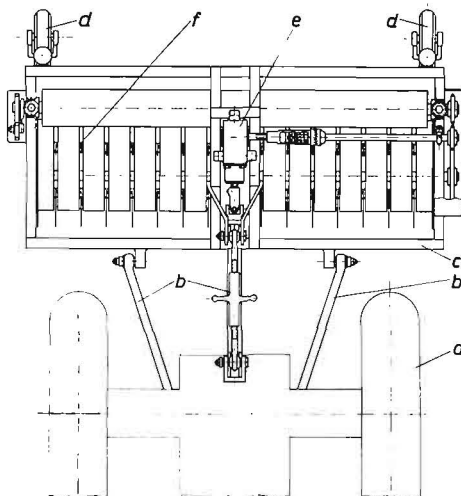


Bild 8: Vorschlag für Stengelknickmaschine mit Dreipunktbau an Schlepperhydraulik 1954

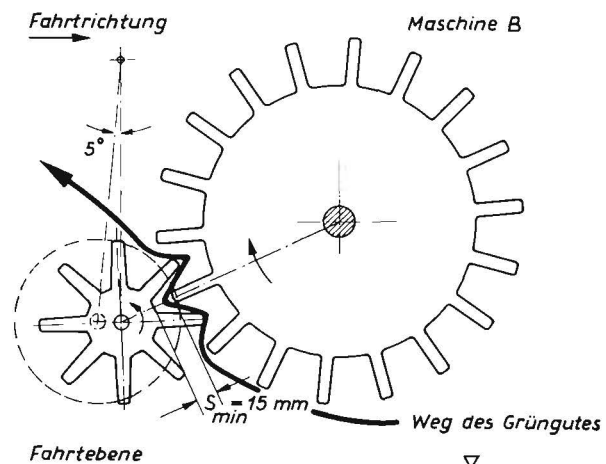


Bild 11: Ausbildung und Anordnung der Riffelwalzen bei der Stengelknickmaschine (B) nach Bild 10

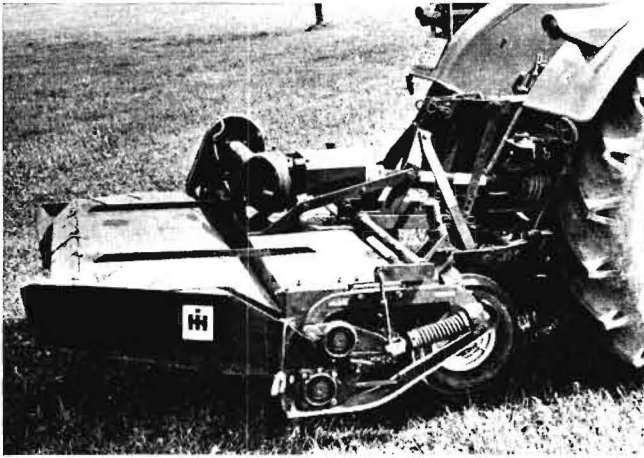


Bild 12: Stengelknickmaschine für den Dreipunktanbau am Schlepper mit zwei genuteten Gummiwalzen ohne Aufsammeltrommel (Bauart 111C — Versuchsmaschine C)



Bild 14: Verwendung eines Schlegelfeldhäckslers mit Schwadablegevorrichtung zum Stengelknicken (Versuchsmaschine D)

ermittelten Substanzverluste betragen etwa ein Viertel des gesamten Erntegutes. Ein Vergleich des Rohfasergehaltes der Versuchsproben zeigt, daß bei der Behandlung mit dem Schlegelfeldhäcksler besonders die rohfasern, nährstoffreichen Blätter verloren gehen. Die Anwendung des Schlegelfeldhäckslers zum Zwecke des Stengelknickens kann nur dann erwogen werden, wenn der Wertverlust an Erntegut durch den wirtschaftlichen Gewinn infolge der Kostenersparnis für eine besondere Stengelknickmaschine kompensiert wird.

Die Versuche mit Wiesenheu wurden im württembergischen Allgäu vorgenommen. Dieses Gebiet zeichnet sich durch hohe Niederschläge und durch ein günstiges Wachstumsklima aus, so daß in Mähweidebetrieben jährlich 4 bis 5 Junggrasschnitte zustandekommen. Die Wiesenbestände haben einen hohen Kräuteranteil. Diese Kräuter sind faserarm und gegen mechanische Beschädigungen besonders empfindlich.

Bei den Vorversuchen wurden verschiedene Fabrikate von Stengelknickmaschinen, auch solche, die bisher nicht genannt wurden, herangezogen. Darunter befanden sich auch Maschinen mit verhältnismäßig scharfkantigem Walzenprofil. Diese wirkten bei den weichen Kräutern, beispielsweise bei Löwenzahn und Bärenklau, wie ein Häcksler. Sie zerkleinerten das Gut und verursachten dadurch hohe Substanzverluste, da die gehäckselten Teile vom Aufsammelhäcksler nicht erfaßt wurden. An den endgültigen Messungen waren nur noch zwei Maschinen beteiligt, die Maschine

nach Bild 12 mit Gummiwalzen und eine Maschine amerikanischer Herkunft mit zwei geschweißten Riffelwalzen (Versuchsmaschine G). Die Versuchsergebnisse sind in Bild 16 dargestellt. Die Maschine mit den zwei Gummiwalzen nach Bild 12 zeigte das günstigste Ergebnis. Das entspricht den in den Jahren 1963 und 1964 gesammelten allgemeinen Versuchserfahrungen. Bei dem in Bild 16 dargestellten Versuch betrug der Zeitgewinn für die Trocknung gegenüber unbehandeltem Gut zwei bis drei Stunden. Die Unterschiede im Wassergehalt im Vergleich zum unbehandelten Gut betragen bei Versuchsende 4% (Maschine G) beziehungsweise 16% (Maschine C). Dieser Zeitgewinn kann bei Benutzung einer Belüftungstrocknungsanlage entscheidend wichtig sein, wenn es gelingt, die Feldarbeit auf einen Tag zu beschränken und am gleichen Tag zu mähen und das Heu in die Trocknungsanlage zu verbringen. Da das Wetterisiko für einen Tag gut zu übersehen ist, kann hier die Stengelknickmaschine einen entscheidenden Beitrag zur Wetterausnutzung bei der Heugewinnung leisten. Dieser Vorteil kann sich bei der Verwendung von Heubelüftungsanlagen sehr günstig auswirken. Die Stengelknickmaschine kann an die Stelle anderer Zettmaschinen treten, denen sie eindeutig überlegen ist.

Das obengenannte günstige Ergebnis mit jungem Wiesengras war zunächst überraschend. Während schon früher durch Versuche nachgewiesen werden konnte, daß bei dickstengeligem Gut die Blätter in einem Drittel der Zeit wie die Stängel trocknen und das Knicken solcher Stängel einen trocknungsfördernden Erfolg haben muß, liegt diese Voraussetzung bei Wiesengras in diesem Maße nicht vor. Allerdings muß auch bei Wiesengrasbeständen stets mit einem

Walzenlänge 1375 mm
spiralartig genutete Gummiwalzen
aus festgepackten Einzelscheiben

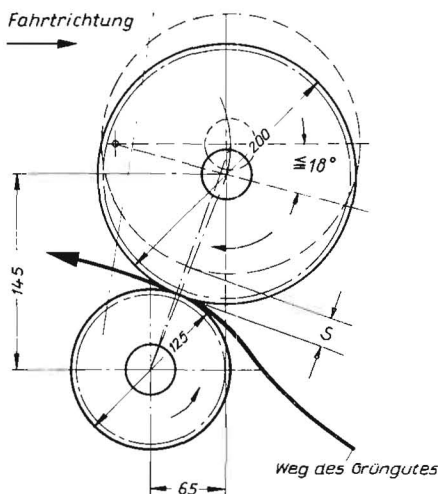


Bild 13: Anordnung der Walzen bei der Stengelknickmaschine nach Bild 12

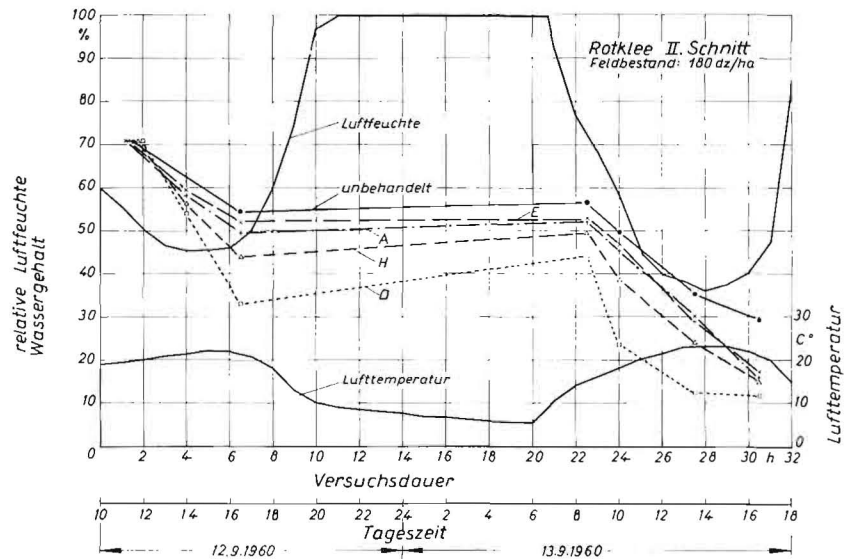


Bild 15: Trocknungsversuch bei Rotklee, zweiter Schnitt, in Hohenheim 1960
Versuchsmaschinen: Kniezetter Meyer (A), John Deere-Lanz mit zwei Riffelwalzen (B), gezogener Kniezetter 111C mit zwei genuteten Gummiwalzen (H) und Schlegelfeldhäcksler Lundell (D)

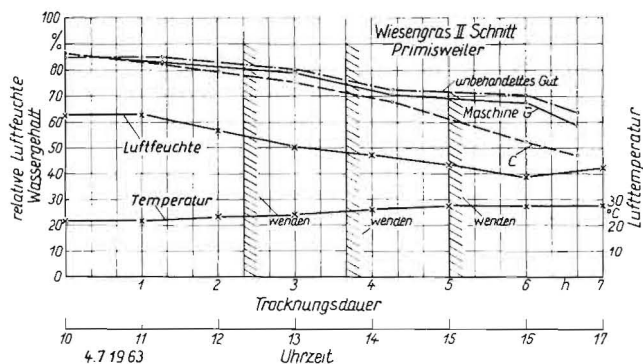


Bild 16: Trocknungsversuch bei Wiesengrass, zweiter Schnitt, in Primisweiler 1963

Versuchsmaschinen: Stengelknickzetter mit genuteten Gummiwalzen (C) und Knickzetter mit zwei Riffelwalzen aus Stahl, Bauart New Holland (G)

Anteil von dickstengeligen Kräutern gerechnet werden, wie das auch bei den Grünlandflächen im Allgäu der Fall war. Durch den Knickvorgang werden aber offensichtlich auch die dünneren Grashalme erfaßt und die Voraussetzungen für eine schnellere Trocknung geschaffen. Auffallend war, daß das Heu beim Ausbringen aus der Belüftungsanlage eine weichere und wolligere Struktur als unbehandeltes Wiesengrass aufwies. Durchgeführte Nährstoffvergleiche fielen ebenfalls zugunsten des behandelten Gutes aus. Auf Grund dieser günstigen Ergebnisse entschied sich der Betriebsleiter des Versuchsbetriebes für die weitere Verwendung der Stengelknickmaschinen in seinem Betrieb.

Der Leistungsbedarf wurde durch Zugkraft- und Drehmomentenmessungen während der Feldarbeit bei nahezu allen Versuchsmaschinen ermittelt. In Bild 17 ist der Drehleistungsbedarf für drei Versuchsmaschinen (Bauart A, B und C) (Technische Daten siehe Tafel 2) wiedergegeben. Die Messungen wurden in bekannter Weise mit Dehnungsmeßgebern durchgeführt. Der Leistungsbedarf nimmt etwa proportional mit dem Gutdurchsatz zu. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Maschinen sind beträchtlich. Die Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß bei glatten Stahlwalzen (Versuchsmaschine A) ein geringerer Leistungsbedarf auftritt als bei Riffelwalzen (Versuchsmaschine B). Bei diesen Messungen konnte allerdings nicht geklärt werden, welchen Einfluß die vorhandene Walzenpressung auf den Leistungsbedarf hat. Labor-

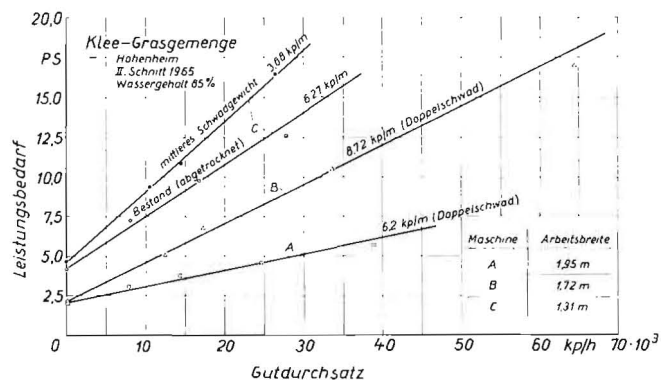


Bild 17: Drehleistungsbedarf von Stengelknickmaschinen in Abhängigkeit vom Gutdurchsatz (Bauarten A, B und C)

versuche, die wir vor einigen Jahren durchführten, haben gezeigt, daß ein gewisser Zusammenhang zwischen Anpreßkraft und Leistungsbedarf vorhanden ist. Zu dieser Frage sind Untersuchungen von BRUHN [19] und GÄTKE [20] durchgeführt worden, die unsere früheren Messungen bestätigen.

Das Diagramm in Bild 17 zeigt ferner den Einfluß des Gutzustandes bei taufeuchtem und abgetrocknetem Feldbestand. Im feuchten Zustand erforderte die Verarbeitung des Klee-Grasgemenges einen um 40 bis 50% höheren Nutzleistungsbedarf als bei abgetrocknetem Bestand. Das ist wahrscheinlich auf den bei feuchtem Halmgut größeren Reibungswiderstand zwischen Halmgut und Walzen zurückzuführen.

Der Betrieb einer Schlepperanbau-Stengelknickmaschine mit einer Arbeitsbreite von 1310 mm (siehe Tafel 2, Versuchsmaschine C) belastet den Schleppermotor mit maximal etwa 15 bis 20 PS. Hinzu kommt der Leistungsbedarf für das Anbau-Mähwerk in Höhe von 2 bis 3 PS, so daß insgesamt ein Schlepper mit etwa 30 bis 34 PS Motorstärke erforderlich ist.

Technische Verbesserungen

Auf die Notwendigkeit konstruktiver Verbesserungen an Stengelknickmaschinen wurde oben bereits hingewiesen. Bei den Versuchen mußten wir feststellen, daß bei älteren Maschinen Wickel-

Tafel 2: Technische Daten der drei Versuchsmaschinen

Versuchsmaschine	A	B	C
Walzenart	glatte Stahlwalzen	geriffelte Walzen $z_1 = 18 \quad z_2 = 8$	genutete Gummiwalzen Nutbreite 18 mm je 4 Nute am Umfang verteilt
Breite der Walzen [mm]. . .	2032	1820	1375
Aufnahmebreite [mm]. . . .	1950	1720	1310
Obere Walze:			
D_1 [mm].	165	228	200
n_1 [U/min]*).	382	324	1130
u_1 [m/s].	3,3	3,9	11,8
Untere Walze:			
D_2 [mm].	165	102	123
n_2 [U/min]*).	382	728	1850
u_2 [m/s].	3,3	3,9	11,9
Gewicht [kp].	682	466	376
Anhängung	aufgesattelt mit 2 Nachlauf- rädern	Anhängemaschine	Dreipunktanbau mit 2 Vorlauf- rädern
Walzenantrieb	Kette, 2 Walzen angetrieben	Kette, große Walze angetrieben	4 Keilriemen, 2 Walzen an- getrieben
Federwirkung	direkt auf obere Walzenlager	über Gestänge auf untere Wal- zenlager	über Gestänge auf obere Wal- zenlager
Futteraufnahme	Federzinken-Trommel	durch die untere Walze	durch die untere Walze

*) bei Zapfwelldrehzahl $n_2 = 540$ U/min

erscheinungen auftreten, wenn die Schwadbreite zu groß ist im Vergleich zur Arbeitsbreite der Walzen. Das Wickeln tritt besonders beim Wenden der Maschine an den Feldenden ein. Bei neueren Modellen haben wir diese Erscheinung seltener beobachtet. Die Frage des günstigsten Walzenprofils ist noch nicht endgültig geklärt. Hierzu sind noch weitere Untersuchungen erforderlich. Als Walzenwerkstoff hat sich Gummi teilweise besser als Stahl bewährt. Bei den Versuchen standen allerdings nur Walzen aus Hartgummi zur Verfügung. In den USA, wo die Stengelknickmaschinen eine Verbreitung nach mehreren 1000 Stück erfahren haben (die Produktionszahlen für 1963 betragen 17945 Stengelknickmaschinen, und zwar Crusher und Crimper), werden nach wie vor beide Walzenprofile nebeneinander verwendet. Eine amerikanische Herstellerfirma hat ihre Konstruktion so eingerichtet, daß sie ihre Maschine wahlweise mit zwei verschiedenen Walzenausführungen, mit glattem oder mit geriffeltem Profil versehen kann.

Die Anzahl der Walzen beträgt im allgemeinen nicht mehr als zwei. Bei früheren Versuchen sind gelegentlich auch drei Walzen verwendet worden oder zwei Walzenpaare. Versuche von BRUHN [19] zeigen, daß durch mehrmaliges Behandeln mit zusätzlichen Walzen der Trocknungsvorgang um ein gewisses Maß beschleunigt werden kann. Der Verwendung mehrerer Walzenpaare steht natürlich der Nachteil entgegen, daß die Maschine aufwendiger und teurer wird. Von dieser Möglichkeit ist bisher bei industriemäßig hergestellten Maschinen kein Gebrauch gemacht worden.

Eine Ergänzung und Bestätigung zu diesen Versuchen von BRUHN bietet ein von uns durchgeführter Vergleichsversuch mit einfach und doppelt behandeltem Rotklee. Die Behandlung erfolgte mit der Glattwalzenmaschine von MEYER (Versuchsmaschine A). Der Versuch ergab eindeutig eine schnellere Trocknung beim doppelt behandelten Gut im Vergleich zum einfach behandelten. Der Gewinn in der Trocknungszeit machte etwa zwei bis drei Stunden aus. Dieser Gewinn kann gelegentlich in der Praxis entscheidend sein, wenn es darum geht, die Trocknungszeit auf einen Tag zu reduzieren.

Der Anpreßdruck der Walzen hat einen Einfluß auf ihre Wirksamkeit und auf das Maß der Trocknungsbeschleunigung, wie Versuche von BRUHN (Bild 18) zeigen. Die Abhängigkeit des Anpreßdruckes von der Schichthöhe des Gutstranges ergibt sich aus der Forderung, daß bei allen Schichthöhen im Schwad eine gleich gute Aufbereitungswirkung vorhanden sein soll. Der Anpreßdruck läßt sich bei den Maschinen einstellen. Im allgemeinen erfolgt die Pressung durch Wendelfedern mit linearer Kennung (Bild 19). Bei der Versuchsmaschine (C) ist eine Verminderung des Anpreßdruckes mit zunehmender Schichthöhe und Auslenkung der beweglichen Walze vorgesehen. Welche Lösung die bessere ist, sollte noch eingehender untersucht werden. Der Anpreßdruck beeinflusst außerdem die Höhe des Leistungsbedarfes und die Betriebssicher-

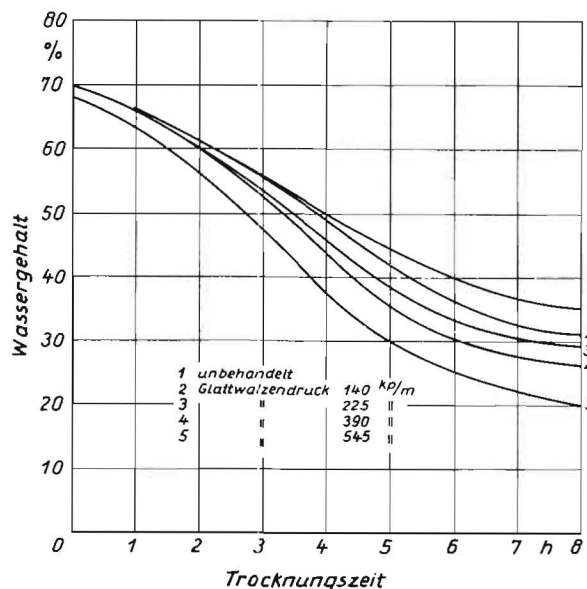


Bild 18: Einfluß des Anpreßdruckes der Stengelknickwalzen auf die Beschleunigung der Trocknung mit Versuchsergebnissen nach Bruhn [19]

heit im Zusammenhang mit der Bewältigung von Verstopfungen an den Walzen.

Bei unseren Versuchen mußten wir uns in Ermangelung geeigneter Institutsräume auf Feldversuche beschränken. Bei Laborversuchen wäre der Einfluß der Walzengeschwindigkeit und der Relativgeschwindigkeit der Walzen zueinander, sowie das Verhältnis der Walzenumfangsgeschwindigkeit zur Zuführgeschwindigkeit des Gutes noch zu klären.

Vorversuche haben ergeben, daß die Wahl eines günstigen Verhältnisses von Walzenumfangsgeschwindigkeit zu Fahrgeschwindigkeit, beziehungsweise zur Zuführgeschwindigkeit des Gutes, entscheidend wichtig ist. Vergleichsmessungen mit einem Geschwindigkeitsverhältnis im Bereich von 2 bis 4 haben ergeben, daß eine größere Beschleunigung der Trocknung bei einem größeren Verhältnis u/v im untersuchten Bereich gegeben ist.

Wirtschaftliche Bedeutung des Stengelknickverfahrens

Das Verfahren des Stengelknickens zur Beschleunigung der Halmguttrocknung wird vorwiegend von der Trocknungsseite her beurteilt. Es trifft zu, daß durch Knicken aufbereitetes Halmgut schneller als unbehandeltes Gut trocknet. Die Zeitersparnis kann erheblich sein und dazu beitragen, das Wetterrisiko zu verringern. Wichtiger jedoch ist der wirtschaftliche Gewinn, der bei Anwendung dieses Verfahrens erreicht werden kann. Das läßt sich durch Zahlenbeispiele nachweisen. Bei einer Kostenbetrachtung stehen den Kosten für die Anschaffung und den Betrieb einer Stengelknickmaschine Kostenersparnisse gegenüber, die sich bei der Belüftungstrocknung durch den abgekürzten Trocknungsbetrieb infolge des mit geringerem Wassergehalt eingelagerten Heues ergeben und durch Einsparung von Arbeitsgängen beim Wenden und Rechen des Heues. Bei Zugrundelegung der heute gültigen Preise für die Anschaffung und den Betrieb von Stengelknickmaschinen ergeben sich die in Bild 20 zusammengestellten Kosten, abhängig von der Größe der bearbeiteten Anbaufläche (Grünland oder Feldfutter) und von der Zahl der Schnitte. Der Kostenberechnung wurde das übliche Kostenrechnungsverfahren mit den derzeit gültigen Unkostenbeiträgen zugrunde gelegt.

Als Kostenersparnis ergibt sich zunächst eine Stromersparnis durch eine abgekürzte Betriebszeit des Belüftungsgebläses, wie sie in Bild 21 dargestellt ist. Dabei wurde angenommen, daß das eingelagerte Gut bei vorhergehender Behandlung mit der Stengelknickmaschine anstelle eines Wassergehaltes von 55% einen solchen von 45% besitzt. Das entspricht unseren Erfahrungen beim praktischen Versuchseinsatz. Der Betrag der jährlichen Kostenersparnis ist erheblich und reicht allein aus, um die Anwendung der Stengelknickmaschine auf größeren Grünlandflächen im Zusammenhang mit der Heubelüftungsanlage zu rechtfertigen.

Als ein weiterer Kostengewinn kommt die Einsparung von Arbeitsgängen für das Wenden und Rechen des Heues auf dem Felde hinzu. Dieser Betrag ist nicht sehr groß, kann bei Vergleichsbetrachtungen jedoch nicht unberücksichtigt bleiben. Im allgemeinen kann man damit rechnen, daß bei Anwendung der

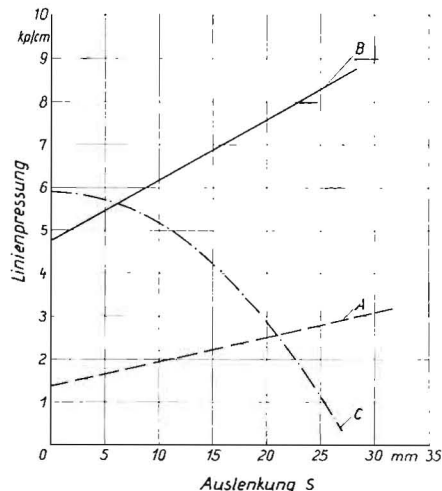


Bild 19: Verlauf der Linienpressung mit zunehmender Auslenkung bei den Stengelknickmaschinen (Bauarten A, B und C)

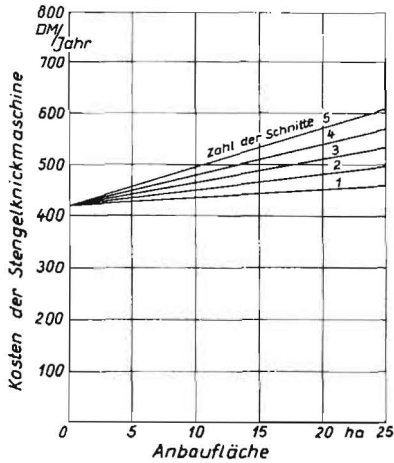


Bild 20: Jährlich anfallende Kosten für eine Stengelknickmaschine in Abhängigkeit von der Anbaufläche

Bei Mähweidebetrieben mit 50% Weidenutzung ist bei der Kostenberechnung nur die Hälfte der Betriebsfläche zugrunde zu legen. Für solche Fälle ist im obigen Diagramm beispielsweise für eine Betriebsfläche von 10 ha der Kostenbetrag für 5 ha abzulesen

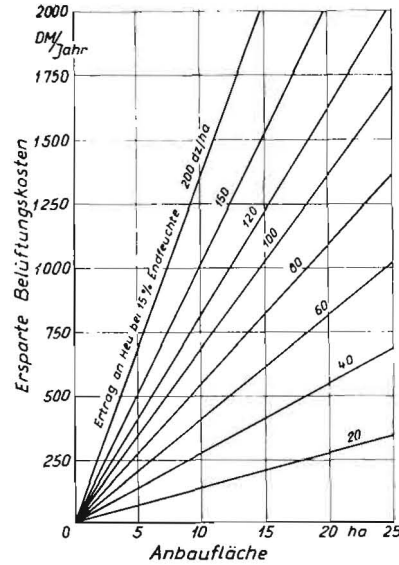


Bild 21: Ersparte jährliche Belüftungskosten für die Unterdachtrocknung durch Benutzung einer Stengelknickmaschine bei einer Einlagerungsfuchte von 45% Wassergehalt anstelle von 55% in Abhängigkeit von der Anbaufläche (siehe Anmerkung bei Bild 20)

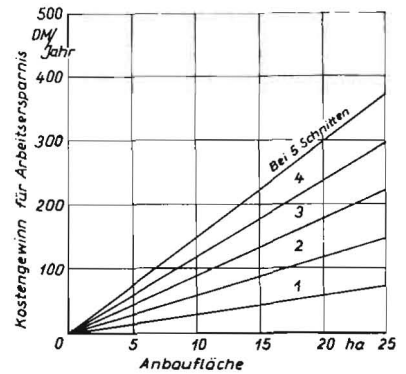


Bild 22: Jährlicher Kostengewinn beim Einsparen von einem Arbeitsgang für das Wenden oder Rechen von Heu durch Anwendung der Stengelknickmaschine (siehe Anmerkung bei Bild 20)

Stengelknickmaschine mindestens ein Arbeitsgang, wenn nicht sogar zwei Arbeitsgänge am ersten Trocknungstag eingespart werden können. Die hierfür einzusetzende Kostenersparnis ist in Bild 22 dargestellt. Bei nicht allzu optimistischer Beurteilung läßt sich bei einer Fläche von etwa 5 ha an (bei einem durchschnittlichen Jahresertrag an Heu von 120 dz/ha und vier Mähnutzungen) im allgemeinen mit einem Ausgleich der Kosten rechnen, bei größeren Flächen mit einer Kostenersparnis. Dieser Vorteil dürfte zukünftig zu einer stärkeren Verbreitung von Stengelknickmaschinen beitragen.

Zusammenfassung

Es wurden Stengelknickmaschinen untersucht und festgestellt, daß der Trocknungsvorgang bei Halmfutter mit ihrer Hilfe beschleunigt werden kann. Auf diese Weise kann das Wetterrisiko vermindert und bei gleichzeitiger Anwendung der Unterdachtrocknung an Trocknungskosten für den Betrieb des Belüftungsgebläses gespart werden. Das Verfahren des Stengelknickens erweist sich von einer genutzten Anbaufläche von etwa fünf Hektar an als wirtschaftlich.

Schrifttum

- [1] SEGLER, G.: Fortschritte in der Heubelüftung. DLP 85 (1962), S. 301—302 und 309—310
- [2] LANZ, H.: Mechanisierung des Verteilvorganges — ein wichtiges Glied in der Arbeitskette Heubereitung. Landtechnik 18 (1963), S. 288—295
- [3] WIENEKE, F. und H. G. CLAUS: Der Einfluß der Heuwerbenmaschinen auf Trocknung und Verluste. Landtechnik 19 (1964), S. 418—428
- [4] BARTSCH, H.: Verfahren und Vorrichtung zum Trocknen von Klee. DRP 274 748 vom 23. 7. 1913
- [5] N. DLER, C. S. and C. L. OSTERBERGER: Experiments on the Artificial Curing of Hay. Agricultural Engineering 10 (1929), S. 101—103
- [6] SEGLER, G.: Mechanisierung der Rauhfutterernte. Landtechnik 6 (1951), S. 35—41
- [7] JONES, T. N. and L. O. PALMER: Field Curing of Hay as Influenced by Plant Physiological Reactions. Agricultural Engineering 13 (1932), S. 199—200; Agricultural Engineering 14 (1933), S. 156—158; Agricultural Engineering 15 (1934), S. 198—201
- [8] PEDERSEN, T. T., and W. F. BUCHELE: Drying rate of alfalfa hay. Agricultural Engineering 41 (1960), S. 86—89 und 107—108
- [9] REED, R. H.: Results of 1931 Artificial Drying Studies. Agricultural Engineering 13 (1932), S. 69—70
- [10] ZINK, J.: The mower crusher in Hay making. Agricultural Engineering 14 (1933), S. 71—73
- [11] SEGLER, G.: Die Belüftungstrocknung von Rauhfutter. Sonderdruck aus „Landwirtschaftliche Woche 1956“. Vorträge, gehalten im Rahmen der „Landw. Woche 1956“ in München
- [12] PFSCHKE, G.: Untersuchungen über die maschinelle Bodenheuwerbung. Dissertation Hohenheim 1953
- [13] KLOPPFEL, R.: Unveröffentlichter Bericht über Versuche mit Stengelknickmaschinen. Kiel 1954

- [14] KOCH, H.: Entwurf einer Dreipunkt-Stengelknickmaschine. Unveröffentlichter Bericht 1954
- [15] HOBERG, H.: Bericht über eine selbstgebaute Stengelknickmaschine. Briefliche Mitteilung vom 8. 8. 1954 und 8. 6. 1965
- [16] SEGLER, G.: Jahresübersicht Landtechnik. VD-Z 100 (1958), S. 113—120
- [17] LANZ, H.: Untersuchungen an Stengelknickmaschinen 1960, 1961, 1962, 1963. Unveröffentlichte Berichte 1960 bis 1963
- [18] GLASOW, W.: Trocknungserfolg bei verschiedenen Heumaschinen. Landtechnik 18 (1963), S. 718—722
- [19] BRUHN, H. D.: Status of Hay Crusher Development. Agricultural Engineering 36 (1955), S. 165—170
- [20] GÄTKE, R.: Untersuchungen über den Einfluß mechanischer Grünfutteraufbereitung auf den Trocknungsverlauf. Agrartechnik 5 (1955), S. 208 bis 213

Résumé

Georg Segler, Hubert Lanz and Albert Scheuermann: "Reducing the Time of Drying and Improving the Working Technique at Hay Making by Treating the Stalks with Pressure- and Beater-Type Tools".

Examinations showed that the process of drying stalks can be accelerated by using stalk splitting machines. Thus the risk of weather can be reduced and with a simultaneous use of barn drying, drying costs for the ventilator can be saved. From a utilized cultivation area of about 5 ha onwards, the process of stalk splitting has proved economical.

Georg Segler, Hubert Lanz et Albert Scheuermann: «Raccourcissement du temps de séchage et amélioration de la technique de la fenaison en traitant le fourrage par des outils exerçant une pression ou des chocs sur les tiges.»

On a examiné des éclateurs de tiges et constaté qu'ils permettent d'accélérer le séchage des tiges de fourrage. On peut ainsi diminuer les risques provenant des intempéries et réduire les frais occasionnés par la marche du ventilateur en cas d'un séchage sous toit. Le procédé de l'éclatement des tiges devient rentable à partir d'une surface utile d'environ 5 ha.

Georg Segler, Hubert Lanz y Albert Scheuermann: «Reducción del periodo de secado y mejora de la técnica en la preparación de heno, trabajando los tallos con instrumentos de presión y de golpear.»

Se han ensayado máquinas de doblar tallos, resultando ser posible reducir así el tiempo de secado de los pastos de tallos. De esta forma se reducen los riesgos que ofrece el tiempo lluvioso, pudiendo asimismo reducirse los gastos que exigen los ventiladores, secando los pastos bajo techo. Este procedimiento resulta racional cuando la superficie cultivada pase de aprox. cinco hectáreas.