

Probleme der Halmfutterernte und -konservierung

Von **Franz Wieneke**, Göttingen¹⁾

Die Halmfutterernte und -konservierung weist heute noch eine Vielfalt von Verfahren auf, die zu verschiedenen Halmfutterprodukten führen. Die einzelnen Produktionsverfahren werden hinsichtlich ihres technischen Standes, der entstehenden Verluste und der Möglichkeit der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit untersucht. Dabei kommt dem Aufbereiten des Halmgutes durch Quetschen oder Schlegeln, das zu einer Verkürzung der Trocknungszeit führt, besondere Bedeutung zu.

Die Halmfuttergewinnung bereitet dem Landwirt immer noch erhebliche Schwierigkeiten. Hohe Nährwertverluste, ein großes Wetterisiko und ein erheblicher Aufwand an Maschinen, Gebäuden, Einrichtungen und Arbeit sind für die Halmfuttergewinnung kennzeichnend. In Anbetracht der großen Futteranbauflächen ist diesen Schwierigkeiten besondere Bedeutung beizumessen. Der Halmfutteranbau nimmt in den EWG-Ländern etwa die Hälfte der landwirtschaftlichen Nutzfläche ein, **Tafel 1**.

Tafel 1. Halmfutteranbaufläche 1963 als Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) in den Ländern der EWG nach dem statistischen Jahrbuch 1964.

Land	Grünland % LN *)	Ackerfutter % LN *)
Bundesrepublik		
Deutschland	40,5	6,6
Frankreich	34,3	15,7
Italien	24,3	16,8
Niederlande	56,0	2,9
Belgien	43,8	7,7
Luxemburg	47,4	9,6
EWG	33,6	13,5

*) LN landwirtschaftliche Nutzfläche

Der größere Teil dieser Anbaufläche wird als Dauergrünland genutzt, das meistens nicht ackerfähig ist. An den verschiedenen Standorten und abhängig von der Nutzung und Pflege bilden sich bestimmte Gräser-Leguminosen-Kräuter-Populationen aus. So sind zum Beispiel für die Wiesen im Allgäu blattreiche Gräser und ein hoher Kräuteranteil typisch, während im norddeutschen Raum die Mähweiden weniger Untergräser aufweisen und sich auch auf den Weiden größere Gräser angesiedelt haben.

Einen ausgedehnten Ackerfutterbau finden wir in Frankreich und Italien sowie in den USA. In diesen Ländern wird meistens Luzerne, eine der ertragreichsten Futterpflanzen, gebaut, für die unsere Böden meistens nicht geeignet sind. Die Halmfutteranbaufläche hat sich in der Bundesrepublik in den letzten Jahren nicht wesentlich verändert, **Bild 1**. Lediglich Klee und Hutungen sind zurückgegangen, die Weiden und Hutungen haben dagegen zugenommen. Vermutlich ist dieser Zuwachs auf den Rückgang des Ackerbaues auf den Grenzböden, besonders in den Mittelgebirgslagen, zurückzuführen.

Wechselwirkung verschiedener Faktoren bei der Halmfuttergewinnung

Die Probleme der Halmfuttergewinnung sind vielschichtig und stehen meistens in Wechselwirkung miteinander. Das resultiert aus der Tatsache, daß die Halmfuttergewinnung im Pro-

¹⁾ Vorgetragen auf der 23. Tagung der Landmaschinen-Konstrukteure in Braunschweig-Völkenrode am 14. Okt. 1965.

Prof. Dr.-Ing. Franz Wieneke ist Ordinarius und Direktor des Landmaschinen-Institutes an der Georg-August-Universität Göttingen. Die vorstehende Arbeit ist während seiner Tätigkeit als Direktor des Institutes für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode entstanden.

duktionsablauf zwischen Pflanze und Tier steht und sehr komplexen betriebswirtschaftlichen Überlegungen, die sich aus der Organisation und Struktur des einzelnen Betriebes ergeben, unterliegt, **Bild 2**. Die Probleme der Halmfuttergewinnung sind deshalb im Zusammenhang mit allen diesen Faktoren zu betrachten. Auf der einen Seite wird die Ernte und Konservierung von Halmfutter durch die Art, Beschaffenheit und den Ertrag der

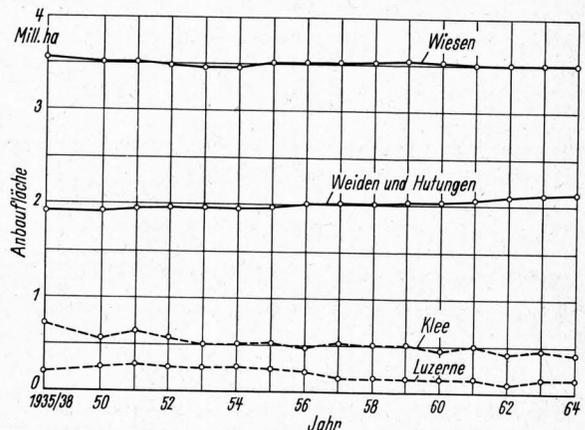


Bild 1. Entwicklung der Halmfutteranbauflächen in den Jahren 1938 bis 1964 in der Bundesrepublik Deutschland nach dem statistischen Jahrbuch.

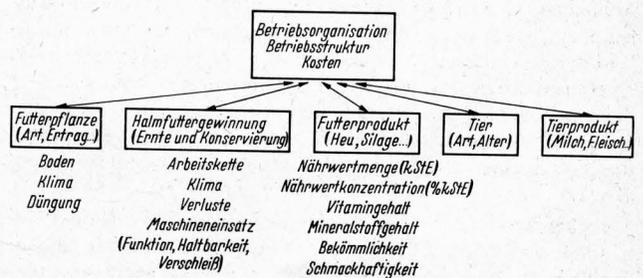


Bild 2. Einordnung und Faktoren der Halmfuttergewinnung.
1 kStE (Kilostärkeinheit) = 1000 StE (Stärkeeinheiten)

Futterpflanze beeinflusst, die ihrerseits von den Geofaktoren Boden und Klima sowie von der Düngung abhängig sind. Die Maschine selbst ist im Ablauf des Produktionsprozesses nur Glied einer Verfahrenskette und muß bei Erfüllung einer sicheren Funktion eine genügende Haltbarkeit und Verschleißfestigkeit besitzen und zur Senkung der Verluste und des Wetterrisikos beitragen. Ob aber das Halmfutterprodukt ein wertvolles Futter darstellt, entscheidet allein das Tier. Das Tier bestimmt den Maßstab für Nährwertmenge, Nährwertkonzentration, Vitamingehalt, Mineralstoffgehalt, Bekömmlichkeit und Schmackhaftigkeit. Daraus resultiert die zwingende Notwendigkeit, bei der Entwicklung eines neuen Produktionsverfahrens gleichzeitig den Tierernährungsversuch mit anlaufen zu lassen, wie es zum Beispiel bei der Entwicklung des Heubrikettierverfahrens zur Zeit an den verschiedenen Stellen geübt wird.

Im Bereich der Halmfutterernte sind durch die Technik folgende Probleme zu lösen oder zu beeinflussen:

1. Die Verschiedenartigkeit der Halmfutterprodukte,
2. die Verkürzung der Trocknungsdauer der natürlichen Trocknung,
3. die Schließung von Mechanisierungslücken (z. B. das Dosieren von langem Halmgut beim Abladen),

4. die funktionelle und konstruktive Verbesserung der bekannten Maschinen und Geräte,
5. die Entwicklung elastisch einsetzbarer, verlustarmer Produktionsverfahren (z. B. das Brikettieren) und
6. die Wirtschaftlichkeit.

Zur Wahrung des gedanklichen Zusammenhanges ist es dabei nötig, bekannte Dinge zum Teil nochmals aufzugreifen.

Notwendigkeit der verschiedenen Halmfutterprodukte

Das Halmfutter läßt sich nach den heute bekannten Produktionsverfahren gewinnen als

1. frisches Halmfutter
2. bodengetrocknetes Heu (Bodenheu)
3. unter Dach oder in Behältern getrocknetes Heu (Belüftungsheu)
 - a) mit Kaltluft
 - b) mit angewärmter Luft
4. Gärfutter (Silage)
5. Heumehl (Trockengrün)

Für die Erzeugung eines Halmfutterproduktes sind eine Reihe von Operationen notwendig, die sich lückenlos in eine Verfahrenskette aneinanderfügen, **Bild 3.** Gärfutter, Belüftungsheu und

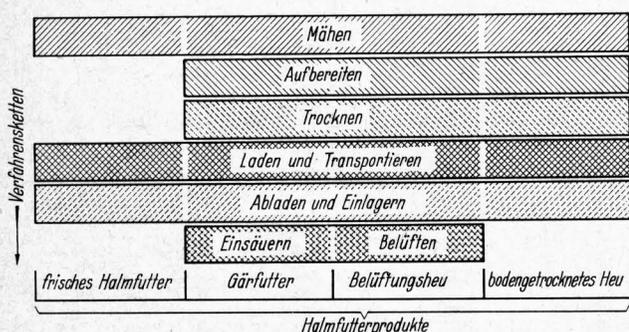


Bild 3. Produkte und Verfahrensketten des Halmfutters.

Bodenheu erfordern die gleichen Operationen des Mähens, Aufbereitens, Trocknens, Ladens und Transportierens und des Einlagerns; sie unterscheiden sich nur im Konservierungsprozeß. Frisches Halmgut, das im Stall verfüttert werden soll, erfordert nur das Mähen, den Transport und das Abladen. Die Kette der Heumehlbereitung ist hier nicht aufgeführt, da dieses Halmfutterprodukt wegen der hohen Kosten z. Z. nur geringe Bedeutung hat.

Vergleichen wir die Zahl der Operationen mit der bei der Gewinnung von Körnerfrüchten, so ergibt sich etwa die gleiche Zahl von Bearbeitungsstufen. Man könnte daraus schließen, daß ebenso wie bei der Körnerfruchtgewinnung (Mähdescher) die Verfahrenskette in das Gehäuse einer Maschine gelegt werden könnte. Im Gegensatz dazu finden wir in der Halmfutterproduktion eine große Zahl verschiedener Einzelmaschinen, Geräte und Einrichtungen. Dabei galt anscheinend vielfach die Entwicklung weniger der Verbesserung der eigentlichen Operationen des Produktionsprozesses als der zwar auch notwendigen Anpassung des Verfahrens an die Einsatzverhältnisse.

Die natürliche Trocknung des Halmfutters auf dem Felde, bei der schon der größte Teil seines Wassers entzogen wird, ist notwendig, um zu einem wirtschaftlichen Verfahren zu gelangen. Sie erlaubt es nicht, eine Vollerntemaschine, die ein fertiges Produkt liefert, zu entwickeln. Auch der Gärprozeß stellt bestimmte Anforderungen an den vorherigen Wasserentzug des Gutes. Ferner führt zwangsläufig die Vielzahl der verschiedenen Halmfutterarten, die erhebliche Variationsbreite der physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Halmfutters in den einzelnen Bearbeitungsstufen zu einer gewissen Vielfalt in der Gestaltung der Arbeitsorgane und damit zu einer größeren Zahl von Maschinen.

Es erhebt sich aber die Frage, ob alle die verschiedenen Halmfutterprodukte, die der Landwirt heute erzeugt, im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit gerechtfertigt sind und ob es technisch nicht möglich ist, durch Zusammensetzung von mehreren Arbeitsgängen in einer Maschine oder durch in mehreren Verfahren

verwendbare Maschinen zu wirtschaftlicheren Lösungen zu kommen.

Die Frage, ob die verschiedenen Halmfutterprodukte notwendig sind, muß anhand der Halmfutterart, der Standortbedingungen, insbesondere der Klimabedingungen zur Erntezeit, der Fütterungseigenschaften des Produktes und der Betriebsstruktur und -organisation beantwortet werden. Nützlich erscheint hier ein Blick über die Landesgrenzen. In den USA wird das Halmfutter, vorwiegend Luzerne, am Boden getrocknet, bei etwa 30% Feuchte oder darunter in Hochdruckballen gepreßt und teils im Freien, teils unter Dach gelagert. Das in weiten Teilen des Landes günstige Klima ermöglicht die Bodentrocknung bei einigermaßen erträglichen Verlusten. Die Unterdach Trocknung von Heu hat sich aus verschiedenen Gründen nicht durchgesetzt. Ähnlich liegen die Verhältnisse in Frankreich und Italien. Die Gewinnung von Belüftungsheu hat hier ebenfalls keine oder nur eine geringe Bedeutung. In der Tschechoslowakei dagegen soll nach neuesten Informationen der weitaus größte Teil des Halmfutters in der Unterdach Trocknung gewonnen werden. In Polen, Ungarn und in Mitteldeutschland findet die Unterdach Trocknung zunehmende Verbreitung. Bei uns sind etwa 50000 Anlagen im Einsatz.

In den hochentwickelten Rindviehhaltungen Wisconsins, Hollands, Schleswig-Holsteins und Teilen des süddeutschen Raumes wird ein immer größer werdender Anteil als Gärfutter bereitet. Gegenüber der Belüftungstrocknung bringt die Gärfutterbereitung eine weitere Verminderung des Witterrisikos, da sie mit einem geringeren Abwelken auskommt. Außerdem erlaubt die Gärfutterbereitung eine perfekte Mechanisierung von der Ernte bis zur Fütterung, die von größeren Betrieben gefordert wird. Die Fütterung von frischem Halmfutter ist im süddeutschen Raum verbreitet.

Es ist also festzustellen, daß man besonders in den Gegenden mit humidem Klima die Bodentrocknung von Heu verläßt und sich der Gärfutterbereitung und der Belüftungstrocknung zuwendet, da die auftretenden Verluste zu hoch sind und die Zahl der regenfreien Tageperioden zu gering ist. *Pedersen* [1] stellte die im Mittel zu erwartenden Periodenlängen ohne Regen für die Erntemonate Mai bis August für Dänemark zusammen, **Bild 4.** Rechnet man bei den dort anzutreffenden Trocknungsbedingungen im Mittel für die Bodentrocknung etwa 4 bis 5 Tage (in Holland etwa 6 bis 8 Tage), so ist in einer monatlichen Erntezeit etwa zweimal eine regenfreie Periode von dieser Dauer zu erwarten. Setzt man für die Unterdach Trocknung von Heu und die Gärfutterbereitung eine Anwelkdauer von 1,5 Tagen an, so ergibt sich etwa die doppelte Zahl regenfreier Perioden, wodurch das Witterrisiko erheblich abgebaut wird.

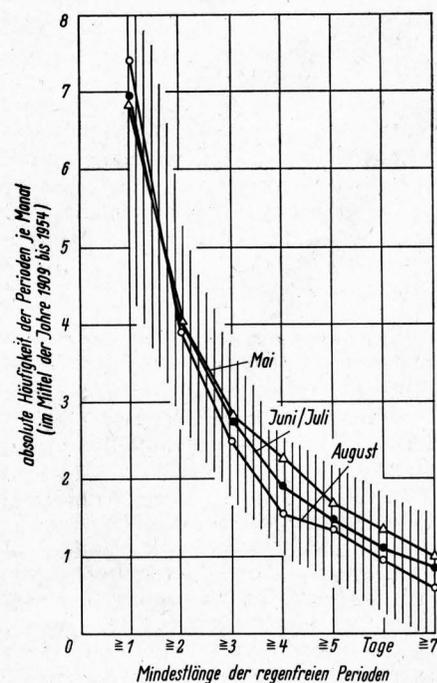


Bild 4. Regenfreie Perioden in den Monaten Mai bis August für Dänemark, nach *Pedersen* [1].

Die Abkehr von der Bodenheuwerbung muß aber auch wegen der hohen Verluste gefordert werden. Neuere Untersuchungen von Chancellor [2] bestätigen frühere Ergebnisse von Klapp [3], nach denen schon nach einer dreitägigen Feldtrocknung die Verluste an verdaulichem Eiweiß etwa 35% ausmachen und damit die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens erheblich belasten, **Bild 5**. Eine Verkürzung der Trocknungszeit auf 1 1/2 Tage senkt die Verluste beträchtlich.

Im Hinblick auf die Betriebsvereinfachung soll nun die Frage gestellt werden, ob es möglich ist, auch auf die Unterdach-trocknung von Heu oder auf die Gärfutterbereitung zu verzichten. Halmfuttermittel, Klimalage und Schlagkraft des Betriebes sind hierbei zu berücksichtigen.

Es ist bekannt, daß zahlreiche Betriebe im Maisgürtel der USA ihre Bullenherden ausschließlich mit Maissilage und sehr geringem Schrotzusatz füttern, ebenso füttern die Milchvieh-farmer in Wisconsin ihre Herden mit Luzerne- und Maissilage. Damit die Tiere bei einer ausschließlichen Silagefütterung ge-nügend Futter aufnehmen, ist ein hoher Gehalt an Trocken-substanz Bedingung, der bei Leguminosen und Gräsern nur durch starkes Vorwelken auf etwa 45% Feuchtegehalt zu erreichen ist. Das bedeutet in vielen Gegenden ein 2 bis 3-tägiges Anwelken und damit ein erhebliches Wetterisiko, da die Wetterprognosen für diesen Zeitraum schon unsicher sind. Oft wird, wie die Praxis zeigt, der angestrebte Vorwelckgrad nicht erreicht und das Gut zu feucht eingelagert. Ähnliches gilt auch für die Heubelüftung.

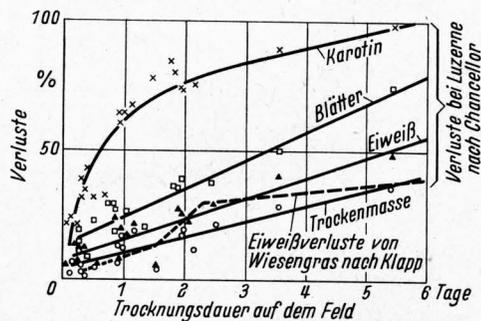


Bild 5. Verluste bei der Bodentrocknung von Heu nach Chancellor [2] und Klapp [3].

Die ausschließliche Anwendung eines Produktionsverfahrens bedeutet aber auch eine Einschränkung des möglichen Zeitraumes für den Schnitt. Die Spanne für den Schnitt soll im Bereich des Maximums der Nährwerterkurve des Futters liegen, **Bild 6**, muß aber auch das Produktionsverfahren und die Nutzungsart des Betriebes berücksichtigen.

Der Nährwertertag ergibt sich als Produkt des Masseertrages und der Nährwertkonzentration. Während der Ertrag an Masse mit dem Wachstum stetig bis zu einem gewissen Punkt zunimmt, nimmt die Nährwertkonzentration mit der Wachstumsperiode ab. Maßgebend für die optimale Schnittspanne von etwa 10 Tagen für Gärfutter ist neben einem hohen Ertrag die Nährstoff-zusammensetzung der Futterpflanzen, um eine gute Gärfähigkeit zu erhalten. Die Schnittspanne für Bodenheu schließt sich in etwa gleicher Länge an. Sie liegt in einem etwas höheren Ertragsbereich, wird begrenzt auf der einen Seite durch die abfallende Nährwertkonzentration — Heu geringer Nährwertkonzentration ist für Hochleistungstiere nicht geeignet —, auf der anderen Seite durch die relativ langen Trocknungszeiten zu jungen Futters.

Der optimale Bereich von Halmfuttermittel für die Belüftungsanlage liegt zwischen dem von Gärfutter und Belüftungsheu. Bereichs-einengend wirken die dichte und ungleichmäßige Lagerung und lange Vorwelckzeiten sehr jungen Futters und die Nährstoff-konzentration. Halmfuttermittel für die künstliche Trocknung sollte sehr nährstoffreich sein und wird daher früher geschnitten.

Wird also in einem Betrieb das Halmfuttermittel sowohl als Silage und auch als Belüftungsheu gewonnen, so steht eine Spanne von etwa 20 Tagen für die Ernte zur Verfügung. Die ausschließliche Gewinnung des Halmfuttermittels als Heu oder Gärfutter beschränkt die Erntezeit.

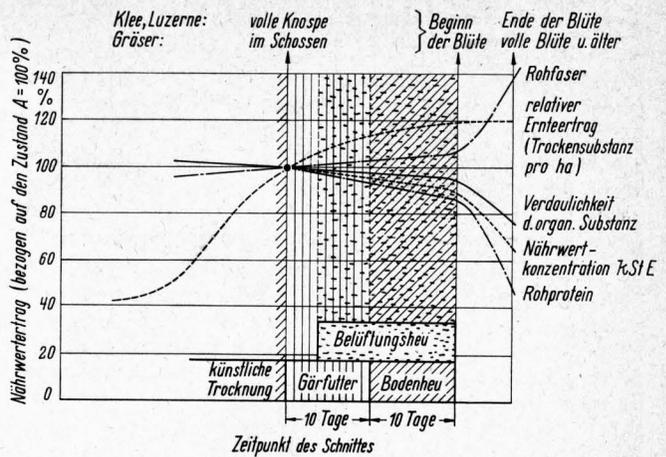


Bild 6. Relative Veränderung von Futterpflanzen mit der Wachstumszeit nach Zimmer [4].

Die Bemühungen verschiedener Forschungsarbeiten gehen dahin, sowohl bei Belüftungsheu als auch beim Gärfutter die Vorwelckzeiten zu verringern, um damit die Verluste und das Wetterisiko zu senken und den möglichen Erntezeitraum zu erweitern. Hier sind die Aufbereitung des Halmfuttermittels, die Anwendung von Hochdruckbelüftungsanlagen und die Belüftung mit erwärmter Luft für die Unterdach-trocknung zu nennen. Eine über das Häckseln hinausgehende Zerkleinerung erbringt nach den Arbeiten von Zimmer [5] eine Verbesserung der Gärfähigkeit.

Ob bei fortschreitender Produktionstechnik das Belüftungsheu vom Gärfutter verdrängt wird oder umgekehrt, kann heute für unsere Verhältnisse noch nicht entschieden werden. Zunächst ist in den nächsten Jahren mit einer starken Zunahme der Gärfutterbereitung zu rechnen. Ebenso wird die Zahl der Belüftungs-anlagen weiter zunehmen. Die Kombination beider Verfahren in einem Betrieb gewährt beim augenblicklichen Stand der Produktionstechnik Vorteile. Die wachsende Betriebsgröße und die Forderung nach voller Mechanisierbarkeit der Futtergewinnung und Fütterung, sowie nach einer größeren Wirtschaftlichkeit, wird aber vielleicht einmal den Betriebsleiter zwingen, sich auf ein Produktionsverfahren zu beschränken, wenn es der Technik nicht gelingen sollte, Fortschritte in der Vielfachverwendbarkeit von kompletten Mechanisierungsketten zu machen.

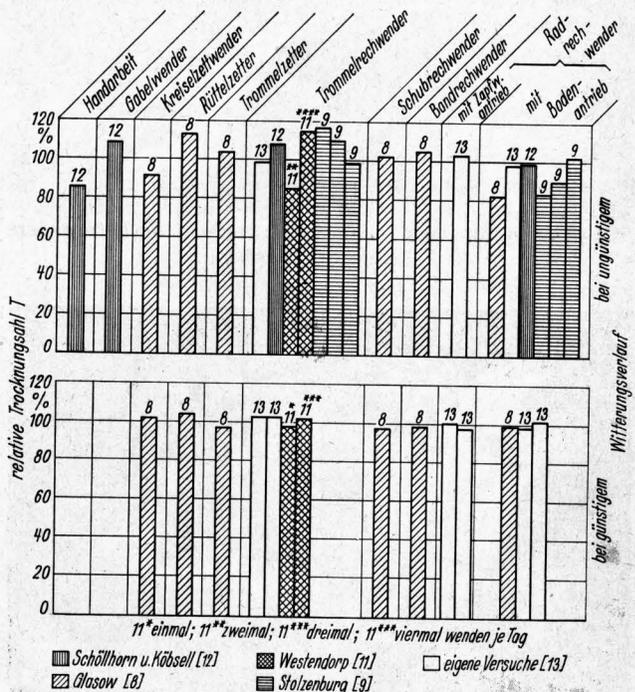


Bild 7. Trocknungserfolg verschiedener Heuwerbemaschinen.

Aufbereitung von Halmgut

Von den bekannten Rech-, Trommel- und Kreisewendern ist eine einschneidende Verkürzung der Trocknungszeit nicht zu erwarten, wie eine Zusammenstellung der Ergebnisse verschiedener Arbeiten [7 bis 13] der letzten Jahre zeigt, **Bild 7**. Der Trocknungserfolg wird bewertet durch die Trocknungszahl, die als Quotient der Feuchtedifferenz und der Trocknungsdauer gebildet wird. Bei günstiger Heuwitterung sind die Differenzen besonders klein. Etwas größere Unterschiede treten bei regnerischem Wetter auf. Häufiges Wenden führt bei eingeregnetem Heu zu einer etwas schnelleren Trocknung.

Eine wesentliche Verkürzung der Trocknungsdauer bringt die Aufbereitung. Unter Aufbereitung soll dabei eine Behandlung des Halmgutes verstanden sein, die zu einer leichteren Wasserabgabe führt. Man unterscheidet

- die mechanische Aufbereitung,
- die thermische Aufbereitung,
- die chemische Aufbereitung und
- die Aufbereitung im hochfrequenten Wechselfeld.

Praktische Bedeutung hat bisher die mechanische Aufbereitung, die die Struktur der Pflanze, insbesondere die äußere harte Zellschicht, die Epidermis, zerstören soll, **Bild 8**. Bei den Halmen genügt ein Aufbrechen oder Aufplatzen, **Bild 9**. In der Praxis werden vorwiegend Knick- und Quetschwalzen sowie Schlegelwerkzeuge für das Aufbrechen benutzt. Das Knicken und Quetschen von Halmgut hat insbesondere in den Anbaubereichen der größtstengelligen Leguminosen Eingang gefunden. Bei richtiger Ausbildung und Einstellung der Walzenpaarung ist es möglich, durch die Zerstörung der Stengel, den Trocknungsverlauf von Stengel und Blättern anzugleichen [14].

Bild 10 zeigt einen typischen Trocknungsverlauf von geknickter und gequetschter Luzerne [15]. Gegenüber un bearbeitetem Gut ergibt sich eine Verkürzung der Trocknungszeit von 30 bis 50%. Weniger wirksam ist nach **Bild 11** das Quetschen bei dünnstengelligen Wiesengräsern [16]. Das Quetschen führt auch bei Wiederanfeuchtung durch Niederschläge zu einer schnelleren Trocknung.

Die Aufbereitung des Halmfutters durch den Schlegelfeldhäckler, der nach einem Normvorschlag nunmehr Schlegellader genannt werden soll, ist mindestens ebenso wirksam wie durch

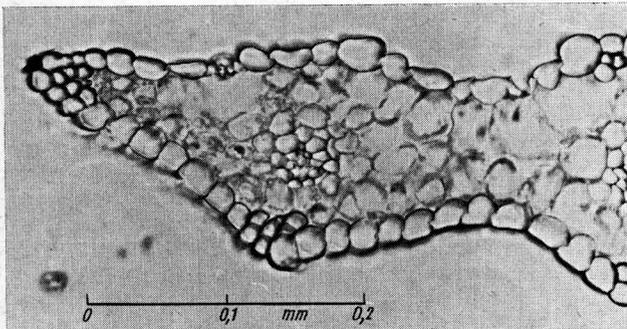


Bild 8. Schnitt durch ein Grasblatt. Man erkennt die harte äußere Zellschicht (Epidermis).

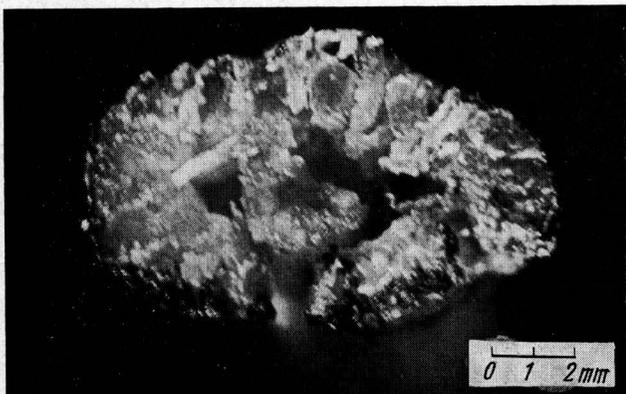


Bild 9. Schnitt durch einen gequetschten Halmknoten.

den Quetschzetter, **Tafel 2**. Wie bekannt, wird das Halmfutter durch die Schlegel stark zerschlagen. Da besonders die weichen wertvollen Blatt- und Stengelteile verlorengehen, dürfte der Minderertrag an Nährwertmenge weit größer sein als der reine Masseverlust, der in **Tafel 2** mit 7% angegeben ist.

Tafel 2. Ertrag und Trocknungsrate bei verschiedenen Heuwerbemaschinen nach *Willows* [17].

Maschine	rel. Ertrag (Klee-Gemisch)	Trocknungsrate bezogen auf Trockenbasis in % pro Stunde
Wender	100,0	1,90
Knickzetter 1	101,9	2,08
Knickzetter 2	103,9	2,42
Quetschzetter	104,4	2,42
Schlegelfeldhäckler	93,0	3,98

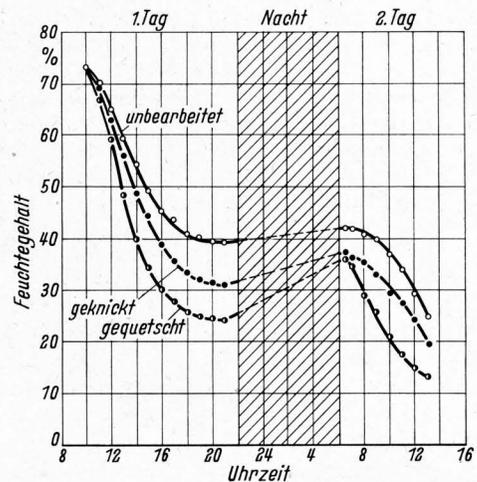


Bild 10. Typischer Trocknungsverlauf von Luzerne nach *Longhouse* [15].

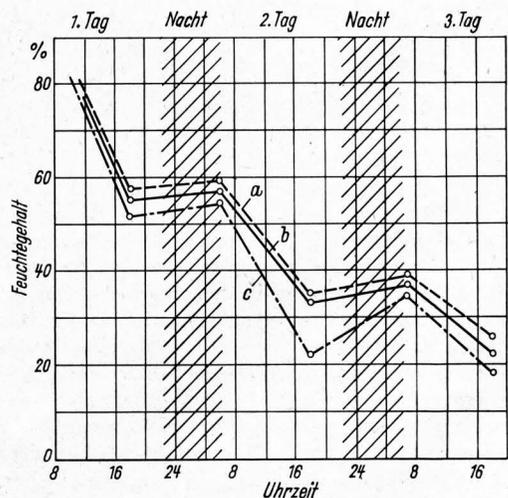


Bild 11. Trocknungsverlauf von Wiesengras nach *Peschke* [16].
a) Handbearbeitung, b) Trommelwender, c) Trommelwender, Quetschzetter

Eine entscheidende Senkung der Bröckelverluste erzielt der Schlegelmäher, **Bild 12**, durch seine tief herabgezogene Nase oder die vor dem Schlegelkreis und etwa 80 bis 120 mm über dem Boden angeordnete Rolle, die das Halmgut in Fahrtrichtung neigt und es nahezu als Tangente an den Schlegelkreis anlehnt. Die Schlegel trennen das Halmgut im wesentlichen nur einmal ab und bringen die Pflanzen mit den Stoppelenden hoch. Es soll dabei ein sogenannter Wendeeffekt eintreten. Die unempfindlicheren Stengelenden werden damit den Schlegelwerkzeugen zu-

gewandt, hochgefördert, während die empfindlicheren Pflanzenspitzen am Leitblech entlangwandern sollen. Bei der Überkopfförderung des Halmgutes werden vorwiegend die Stengelenken bearbeitet und dabei aufbereitet, angeschlagen und geknickt. Die Umfangsgeschwindigkeit der Schlegel ist auf etwa 25 m/s herabgesetzt. Dadurch wird das Halmgut weniger stark zerschlagen.

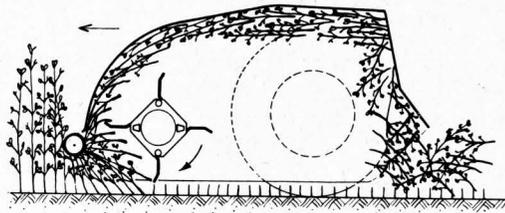


Bild 12. Schlegelmäher im Schnitt.

Das kommt in der Halmlängenverteilung zum Ausdruck, die Claus [18] für den Schlegelmäher aufgenommen hat, Bild 13. Die Halmlänge ist vom Verhältnis Umfangsgeschwindigkeit der Schlegel zur Fahrgeschwindigkeit abhängig. Bei langsamer Fahrt, im ersten Gang, tritt eine starke Verkürzung der Halme ein, während bei höherer Fahrgeschwindigkeit bei etwa 6 bis 9 km/h die natürliche Halmlänge nicht so stark verringert wird. Das Abtrennen der Pflanze in geneigter Stellung bedingt zunächst eine lange Stoppel. Das Stoppelende springt aber sofort hoch und wird abermals abgeschlagen. Es entstehen Stengelstücke von etwa 5 bis 8 cm. Das kommt sehr deutlich in der Halmlängenverteilung zum Ausdruck, die bei diesen Längen ein abermaliges

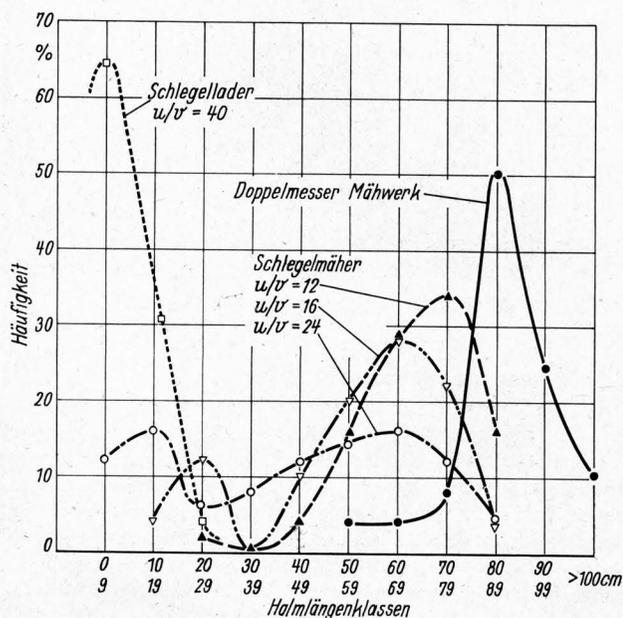


Bild 13. Halmlängenverteilung beim Mähen mit Schlegelwerkzeugen nach Claus [18].

Umfangsgeschwindigkeit an den Schlegelenden $u = 26,8$ m/s Schlegelmäher
 $u = 40$ m/s Schlegellader
 Fahrgeschwindigkeit v

Ansteigen der Kurve zur Folge hat. Einen Eindruck von der Arbeit des Schlegelmähers vermittelt auch das Bild 14. Im Vergleich zum Schlegellader liegt die mittlere Halmlänge wesentlich höher. Sie kommt bei einem Verhältnis $u/v = 12$ auf etwa 80% der natürlichen Halmlänge. Die Herabsetzung der Umfangsgeschwindigkeit vermindert aber gleichzeitig die Aufbereitungswirkung. Man muß also einen Kompromiß finden zwischen den Bröckelverlusten und der Aufbereitungswirkung. Hall empfiehlt aus dieser Sicht den Wert 20 für das Verhältnis von Umfangsgeschwindigkeit zur Fahrgeschwindigkeit [19].

In Klee, Luzerne und blattreichem Untergras traten auch beim Schlegelmäher erhebliche Bröckelverluste auf. Für diese Bestände scheint der Mähbalken unentbehrlich zu sein und ist der schonend arbeitende Quetschzetter zu empfehlen.



Bild 14. Vom Schlegelmäher hinterlassene Mahd.

Bild 15 stellt die Verkürzung der Trocknungsdauer durch Schlegeln, Knicken und Quetschen dem Mähen und Wenden gegenüber. Ein besonderes Problem bringt das Mähen mit Schlegelwerkzeugen durch die Zerfaserung der Schnittstelle mit sich. Als Auswirkungen des zerfasernden Schnittes auf das Bewachsen und den Ertrag von Luzerne stellten Beyer und Verosta [20] fest:

1. Der Luzerneertrag im Laufe von 40 Wachstumstagen wurde durch das Schlegelmähen nicht nachweislich beeinflusst.
2. Nachgewiesen wurde aber die Verspätung der Regenerierung nach dem zerfaserten Schnitt. Dadurch werden Höchstwerte der Wachstumskurve auf einen späteren Zeitpunkt verlegt, was dazu führt, daß zur Erreichung eines gleichen Ertrages die Bewuchsdauer um 1 Woche bis 14 Tage zu verlängern ist.
3. Diese Tatsachen können Betriebsschwierigkeiten dadurch herbeiführen, daß die verlängerte Vegetationszeit den Erntezeitpunkt für Luzerne in die Zeit der Getreideernte verschiebt.
4. Die Erträge der dritten bzw. vierten Mahd können infolge Verschiebung in ungünstigere Vegetations- und Erntebedingungen vermindert werden.

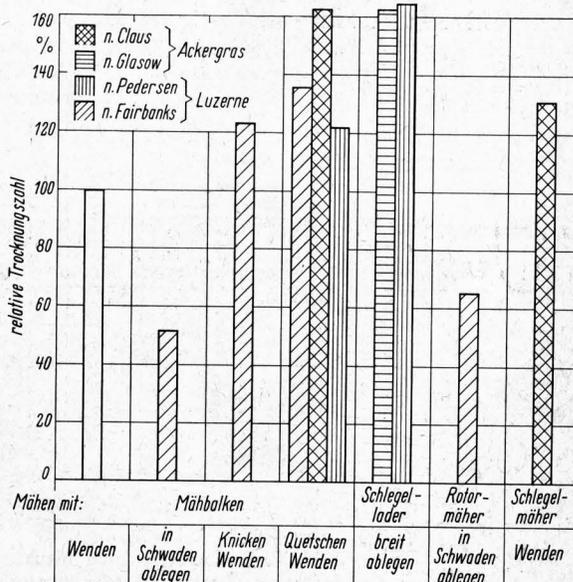


Bild 15. Trocknungserfolg verschiedener Halmfuttermittelaufbereitungsverfahren.

Dosieren von langem Halmgut beim Abladen

Als Beitrag zu dem Problem der Schließung von Mechanisierungslücken soll jetzt auf das Dosieren von langem Halmgut beim Abladen eingegangen werden.

Das Dosieren von langem Halmgut hat durch den Ladewagen eine besondere Aktualität erhalten. Seit Jahren wird gehäckseltes oder kurz zerrissenes Halmgut mit rotierenden Zinkentrommeln oder mit Bändern gleichmäßig abgeladen. Eine Reihe von Vorschlägen, den Ladewagen in eine Arbeitskette einzureihen, zielt deshalb darauf ab, **Bild 16 bis 19**, das von der Pick-up aufgenommene Halmgut vor dem Erreichen der Plattform zu häckseln und dann mit den oben genannten Einrichtungen oder auch von Hand abzuladen. Das Dosieren von langem Halmgut am Wageneende oder von einem Halmgutstapel erfordert eine geeignete Ausbildung der Arbeitsorgane. Bekannt geworden ist außerdem noch eine Schlegeltrommel, die am Wageneende angeordnet ist.

In einer eigenen Entwicklung wurden rotierende Messerwalzen durch die Wahl eines großen Walzendurchmessers und eine besondere Anordnung der Werkzeuge auch für das Dosieren von langem Halmgut verwendbar gemacht, **Bild 20**. Der spezifische Energiebedarf liegt bei einem Durchsatz von 15 bis 25 t/h unter 1 PSh/t, **Bild 21**. Das bedeutet, daß z. B. 3 t Anweilkeu von einem Schlepper mit 25 PS in etwa 7 min abgeladen werden können. Die Dosiereinrichtung arbeitet auch als stationäres Gerät, **Bild 22**.

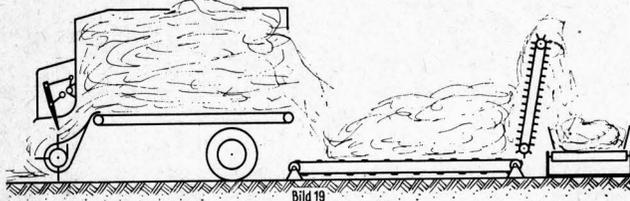
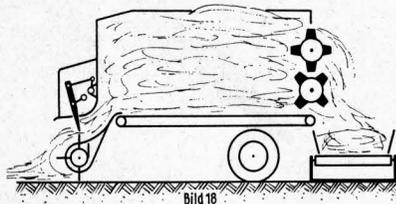
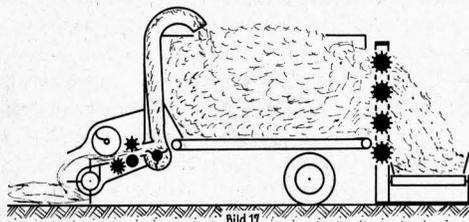
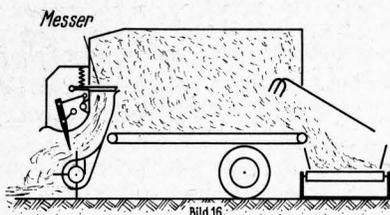


Bild 16 bis 19. Zusatz- und Folgeeinrichtungen für den Ladewagen.

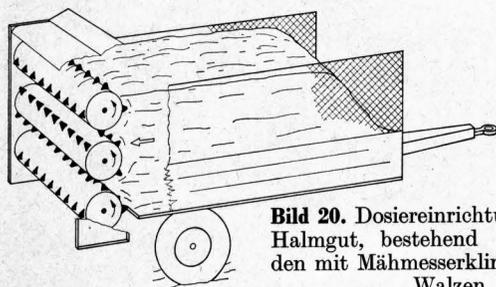


Bild 20. Dosiereinrichtung für langes Halmgut, bestehend aus rotierenden mit Mähmesserklingen besetzten Walzen.

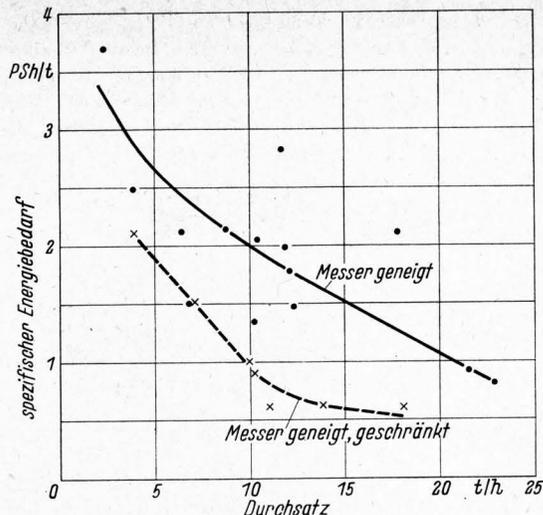


Bild 21. Energiebedarf der Dosiereinrichtung (zwei Walzen-Umfangsgeschwindigkeit 15 m/s). Feuchtegehalt des Halmgutes 50%.



Bild 22. Dosiereinrichtung im Einsatz.

Brikettieren von Halmfutter

In den USA wird seit etwa zehn Jahren an der Aufgabe gearbeitet, Heu zu kleinen Würfeln oder Zylindern zu verdichten [21 bis 24]. Das Verdichten oder Brikettieren hat den großen Vorteil, daß es aus dem losen Halmgut ein Schüttgut macht, dessen Transport sich leicht mechanisieren läßt. Besondere Bedeutung kommt dem Brikettieren in einigen Futteranbaugebieten der USA zu, die das Futter für Milchfarmen produzieren, die einige hundert Kilometer entfernt in der Nähe großer Städte liegen. Die hohe Dichte der Preßwürfel von 400 bis 700 kg/m³ ergibt im geschütteten Zustand ein Gewicht von 300 bis 400 kg/m³. Das Schüttgewicht liegt damit höher als das von geschichteten Preßballen. Die Grenzen der bekannten Würfelbrikettiermaschinen liegen in der hohen Feuchteempfindlichkeit. Haltbare Briketts lassen sich mit den bekannten Maschinen nur in einem sehr engen Feuchtebereich herstellen, **Bild 23**.

Als weitere Kennzeichen der bekannten Würfelbrikettierpressen, **Bild 24**, sind der hohe Leistungsbedarf von etwa 200 PS für 4 bis 5 t/h Durchsatz und die hohen Maschinenkosten zu nennen. Man schätzt, daß in den USA für etwa 5000 dieser Maschinen ein Markt vorhanden ist.

Es ist aber seit einiger Zeit ein Verfahren mit mehreren Variationen bekanntgeworden, Halmgut durch Wickeln oder Verdrehen zu kleinen Zylindern oder rohrförmigen Körpern zu verdichten, das auch für unsere Erntebedingungen interessant erscheint. Ein nach diesem Verfahren verdichtetes Heubrikett zeigt **Bild 25** (links ein würfelförmiges Brikett). Durch dieses Verfahren sollen sich der Leistungsbedarf und die Maschinenkosten beträchtlich senken lassen. Der Leistungsbedarf dieser Maschinen soll nicht viel höher liegen als der von Hochdruck-

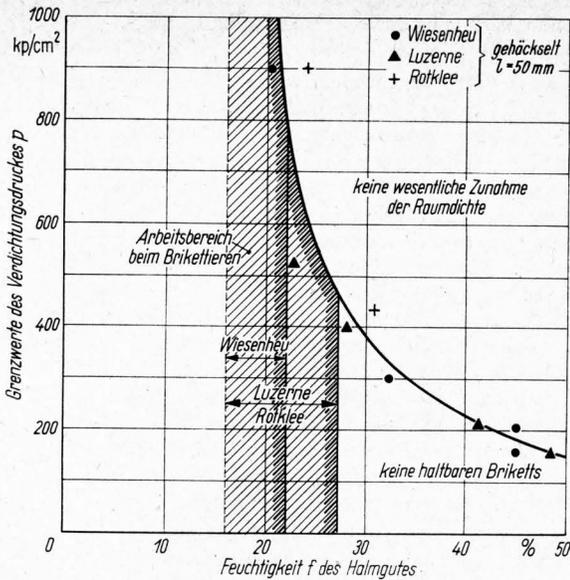


Bild 23. Einsatzbereich der Würfelbrikettierpresse nach Busse [25].

ballenpressen. Das Verfahren ist weitgehend unabhängig vom Wassergehalt und der Art des Halmgutes. Es sollen sich sowohl Luzerne als auch feine Gräser bis zu einem Wassergehalt von etwa 70% haltbar verdichten lassen. Über den Stand dieser sehr aussichtsreichen Entwicklung können hier keine näheren Angaben gemacht werden.

Gleichzeitig mit der Entwicklung des Brikettierverfahrens wurden in großem Umfang Belüftungs- und Fütterungsversuche mit Heubriketts angestellt [26, 27, 28]. Als wichtigste Ergebnisse dieser Untersuchungen seien genannt: Das Belüften von Heu-

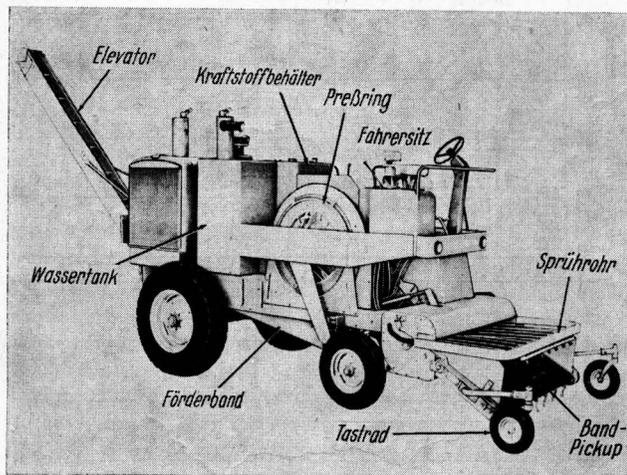


Bild 24. Brikettierpresse der Firma John Deere (Werkphoto).

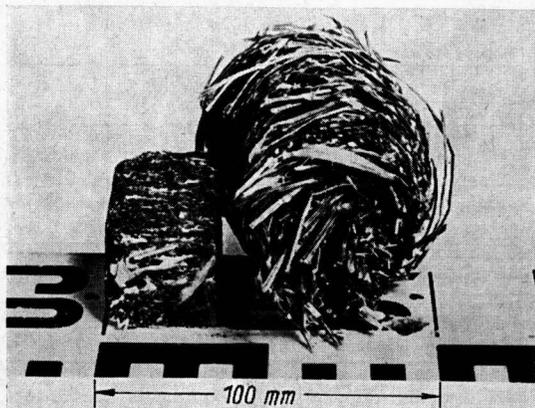


Bild 25. Würfelförmig gepreßtes und verdreht gepreßtes Heubrikett.

briketts ist möglich, vorausgesetzt, daß bei einem bestimmten Verdichtungsgrad die Kantenlänge der Würfel nicht über ein gewisses Maß hinausgeht, **Bild 26**.

Es ist anzunehmen, daß auch Heubriketts hergestellt werden können, die sich einsilieren lassen. Versuche sind noch nicht bekannt geworden. Mit der Brikettierpresse könnte damit sowohl Halmfutter für die Belüftungstrocknung als auch für die Gärfutterbereitung gewonnen werden, was zu einer flexiblen Ernte wesentlich beitragen würde und ein wesentlicher Vorteil dieses neuen Verfahrens wäre.

Die Heubriketts, gleich ob würfel- oder zylinderförmig, werden von den Tieren gern aufgenommen. Es konnte eine höhere Futterraufnahme von 10 bis 15% festgestellt werden gegenüber losem Heu.

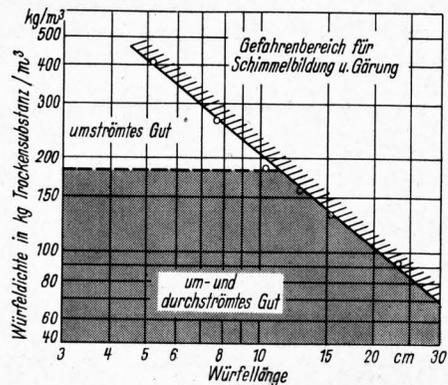


Bild 26. Belüftung von Heubriketts in Abhängigkeit der Würfelgröße und der Dichte nach Hall [27].

Preßgut: Luzerne
Einlagerungsfeuchte: 37 bis 40% (NaBbasis)
Trocknungstemperatur $T = 70^{\circ}\text{C}$
Luftgeschwindigkeit $w = 2,6 \text{ m/s}$

Wirtschaftlichkeit der Ernte- und Konservierungsverfahren

Es ist ein schwieriges Unterfangen, die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Halmfutterproduktionsverfahren sicher zu beurteilen, da die einzelnen Faktoren, die in die Rechnung eingehen, stark streuen und z. T. nur als Faustzahlen bekannt sind. Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist es nützlich, die an den verschiedenen Stellen vom stehenden Halmfutter bis zum tierischen Produkt auftretenden Verluste zu kennen. Eine Übersicht über die bei der Gewinnung und Verwertung eines Halmfutterproduktes, des Gärfutters, anfallenden Verluste gibt **Bild 27**. Als wesentliche Verlustquellen sind die Ernteverluste, die Konservierungsverluste nach Menge und Gehalt und die Verluste bei der Entnahme und Fütterung zu nennen. Sie machen in dem gewählten Beispiel insgesamt 25% aus. Von der Gesamttrockensubstanz sind 26% vom Wiederkäuer nicht verwertbar, für seinen Erhaltungsbedarf benötigt er 16%, so daß insgesamt noch 33% für die tierische Produktion zur Verfügung stehen. Von den

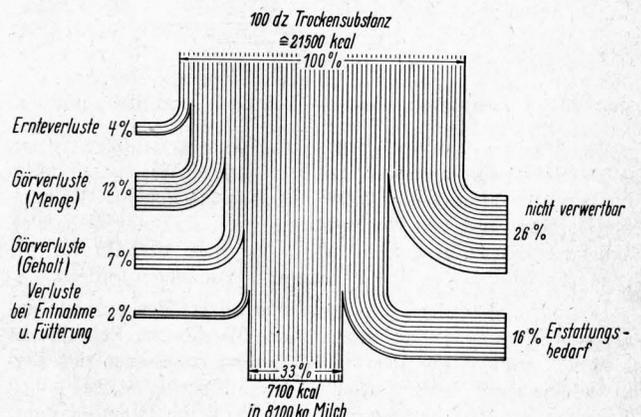


Bild 27. Energiebilanz für die Gewinnung und Verwertung von Gärfutter.

insgesamt 21 500 kcal, die im Mittel pro 100 dz Trockensubstanz zur Verfügung stehen, werden demnach nur 7 100 kcal produktiv umgesetzt. Die bei den verschiedenen Produktionsverfahren auftretenden Ernte- und Konservierungsverluste sind nach umfangreichen Zusammenstellungen von *Hendrix, Hoglund und Zimmer* bekannt [29; 30; 31].

Die Ernteverluste nehmen mit der Trocknungszeit rasch zu, **Bild 28**. Die Konservierungsverluste bei Gras und Leguminosen sind von der Einlagerungsfeuchte und dem Produktionsverfahren abhängig. Halmfutter, das mit hohem Feuchtegehalt einsiliert wird, verliert einen erheblichen Anteil an Trockensubstanz. *Hendrix* stellte fest, daß es für jede der verschiedenen Siloformen eine optimale Einlagerungsfeuchte gibt, die einem Minimum an Konservierungsverlusten entspricht. **Bild 29** zeigt, daß mit stärkerem Abwelken die Verluste an Trockensubstanz beim Gärfutterprozeß stark absinken. Beim Belüften von angewelktem Halmfutter treten geringe Veratmungsverluste auf, ebenso wie beim bodentrockneten Heu.

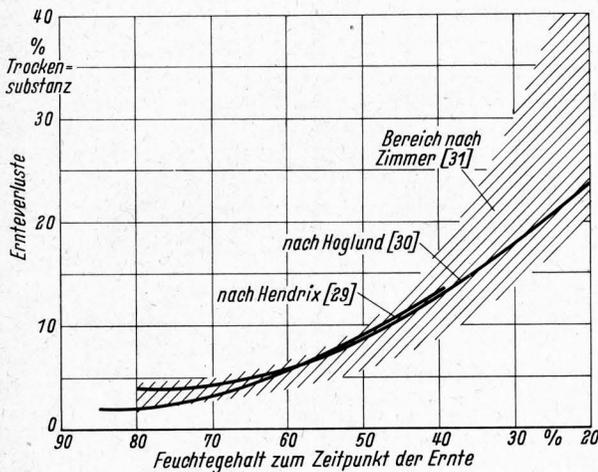


Bild 28. Ernteverluste bei der Bodentrocknung von Gras und Leguminosen.

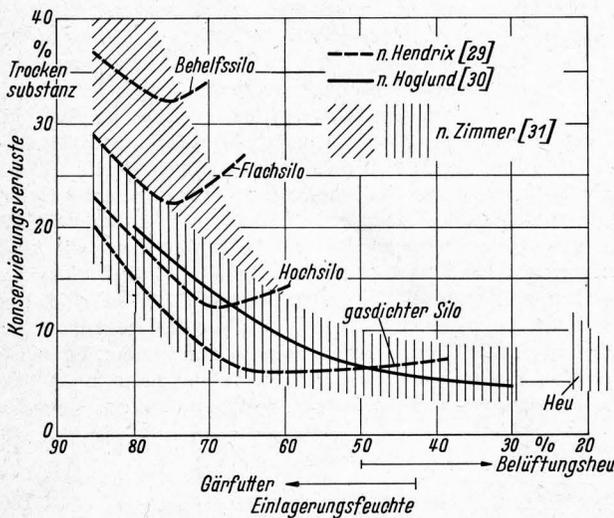


Bild 29. Konservierungsverluste bei Gras und Leguminosen.

Die Superposition von Ernte- und Konservierungsverlusten ist in **Bild 30** vorgenommen. Es ergibt sich ein Verlustminimum im Bereich von etwa 45 bis 60% Einlagerungsfeuchte. Da auch für die Fütterung von Hochleistungstieren ein hoher Gehalt an Trockensubstanz erwünscht ist, sollte man deshalb für die Gärfutterbereitung ein möglichst weites Vorwelken fordern.

Über die Höhe der Konzentrationsverluste der verschiedenartigen Futtermittel liegen kaum Werte vor. Bekannt ist lediglich, daß bei geringen Trockensubstanzverlusten der Verlust an Nährwertkonzentrationen ebenfalls gering ist. Bei hohen Verlusten an Trockensubstanz, wie sie z. B. im Behelfssilo auftreten, geht ein etwa 1,5facher Verlust an Nährwertkonzentrationen einher. Die Nährwertkonzentrationsverluste sind in nach-

folgender Rechnung nicht berücksichtigt, so daß Konservierungsverfahren mit höheren Verlusten etwas zu gut beurteilt werden.

Von der Einlagerungsfeuchte ist die Dichte des Gärfutters im Silo und des Heus in Lagerräumen abhängig. Mit den bekannten Ernte- und Konservierungsverlusten läßt sich der Nährwert in kStE/m³ in Abhängigkeit von der Einlagerungsfeuchte errechnen, wie es in der unteren Darstellung von **Bild 30** geschehen ist. In der nun folgenden Rechnung wird versucht, für die bestimmten Halmfutterprodukte die Kosten je kStE netto zu ermitteln, wobei eine Reihe von Annahmen getroffen werden:

Ertrag 3500 kStE/ha brutto =	330 dz/ha u. Jahr
Kosten für Düngung	130 DM/ha u. Jahr
Kosten für Maschinenausrüstung	150 DM/ha u. Jahr
Kosten für 1 Arbeitskraft (AK)	3 DM/h
Kosten für die Schlepperstunde	5 DM/h

Damit ergeben sich die in **Bild 31** in Abhängigkeit von den Ernteverlusten angegebenen Kosten in Dpf je kStE netto für Düngung, Arbeits- und Schleppereinsatz. Für den einzelnen Betrieb sind diese Werte gegebenenfalls abzuwandeln.

Die Gebäudekosten sind in **Bild 32** in Abhängigkeit vom Nährwert des je m³ Konservierungsraum eingelagerten Futters aufgestellt. Als Parameter ist der Neubauwert in DM/m³ angegeben. Die Instandhaltung, Verzinsung und Abschreibung ist mit 8% angenommen. Damit lassen sich die Kosten für die verschiedenen Halmfutterprodukte ablesen, wie es in **Bild 31** und **32** für im Mittel angenommene Werte eingetragen ist.

Von den zahlreichen Problemen der Halmfütterernte konnten nur einige wichtige herausgegriffen werden. Dabei kam es darauf an, den Rahmen der Betrachtung mit den Ergebnissen neuerer Arbeiten auch auf die pflanzlichen, tierischen, klimatischen und wirtschaftlichen Faktoren auszudehnen, die vom Ingenieur in voller Breite oft nicht übersehen werden.

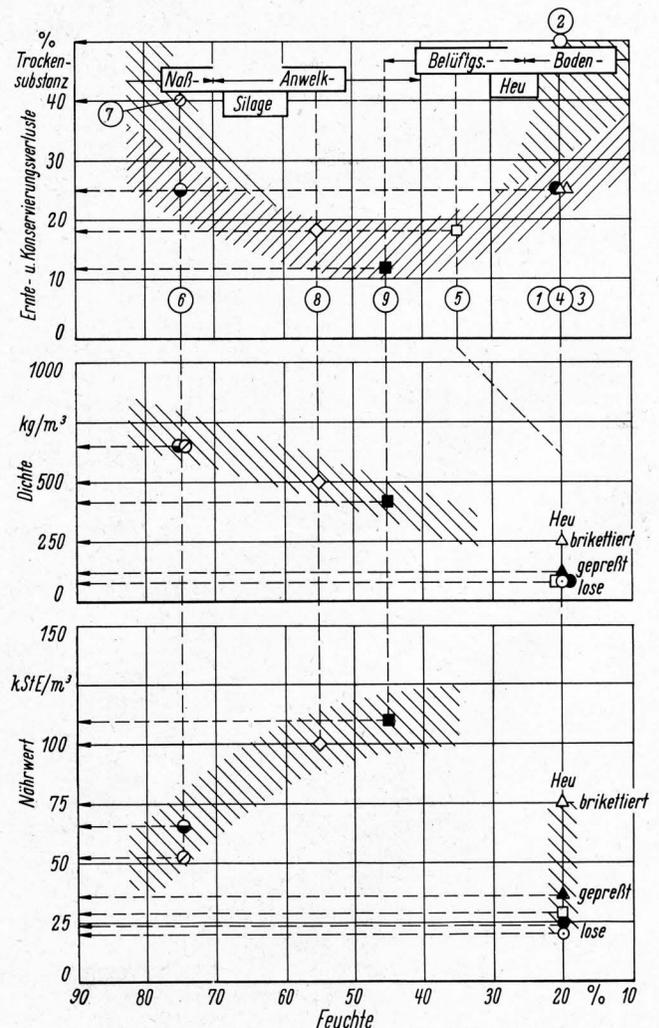


Bild 30. Verluste, Lagerdichte und Nährwert-Verlauf in Abhängigkeit von der Einlagerungsfeuchte.

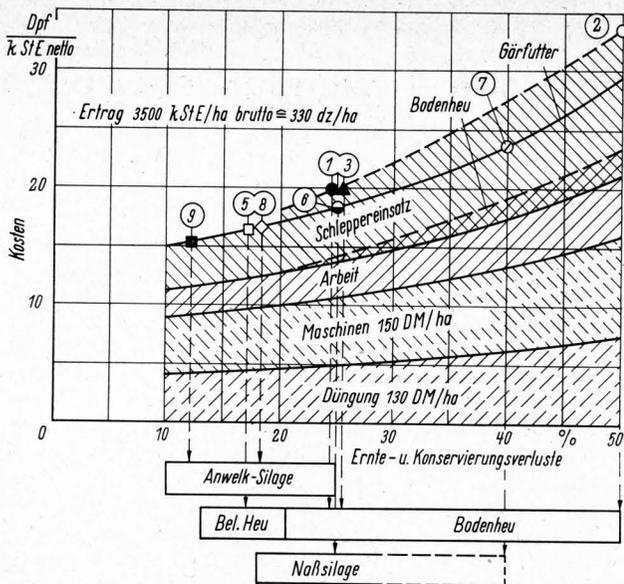


Bild 31. Kosten für Düngung, Maschinen und Ernte je kStE netto.
1 kStE (Kilostärkeinheit) = 1000 StE (Stärkeinheiten)

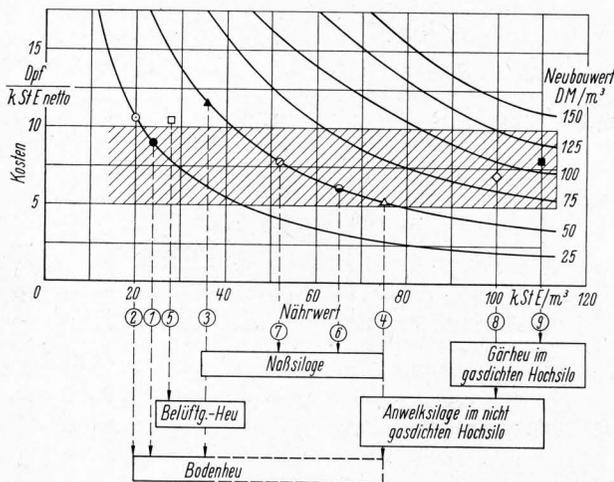


Bild 32. Kosten für Gebäude je kStE netto.

Besondere Bedeutung kommt der Aufbereitung des Halmfutters zu, um die natürliche Trocknung auf dem Felde zu beschleunigen und damit das Wetterisiko und die Verluste zu senken, die in ihrer jetzigen Größe die Wirtschaftlichkeit der Halmfutterprodukte stark belasten. Eine weitgehende Abkehr von der Bodenheuerwerbung, die Verbesserung der Produktionstechnik bei der Gärfutterbereitung und der Unterdachtrocknung und die Entwicklung von in beiden Verfahren einsetzbaren Maschinen und Einrichtungen dürften bei unseren Standortbedingungen und Betriebsgrößen als Nahziele der Halmfuttergewinnung zu nennen sein.

Diskussionsbeitrag: Zum Mähen mit Schlegelwerkzeugen

Die KTL-Versuchsstation Dethlingen ging im Jahr 1964 der Frage nach, ob das Mähen mit Schlegeln einen Einfluß auf das Nachwachsen des Bestandes ausübt. Deshalb wurden auf mehreren Parzellen Gräser in Rein- und Mischsaat ausgesät und vergleichsweise mit dem Schlegelfeldhäcksler und dem Mähbalken geerntet. Es wurde beobachtet, daß die mit dem Schlegelfeldhäcksler geernteten Gräser mehr Zeit zur Regeneration benötigten als die mit dem Mähbalken geschnittenen. Nach 8 bis 14 Tagen — je nach Witterung — war aber optisch kein Unterschied mehr zwischen den Parzellen zu erkennen, das Nachwuchsbild war wieder ausgeglichen. Der Einfluß von Düngungsintensität und Wasserversorgung, die sicher von Bedeutung sind, wurde nicht ermittelt.

In insgesamt 4 Schnitten brachten die mit dem Mähbalken geernteten Parzellen gegenüber den mit dem Schlegelfeldhäcksler gemähten folgende Mehrerträge an Grünmasse: Bei Knaulgras

12%, bei Deutschem Weidelgras 20% und bei einer Grasmischung, bestehend aus Wiesenschwingel, Deutschem Weidelgras, Knaulgras, Lieschgras, Rotschwingel und Weißklee, 3,5%. Dieses einjährige Ergebnis kann allerdings noch nicht als allgemeingültig hingestellt werden. Es soll in weiteren Versuchsjahren überprüft werden.

Dethlingen

H. J. Behrendsen

Schrifttum

- [1] Pedersen, T. T.: Forskellige Høstmetoders indvirkning pa Torringshastighed i lucernehø. Medd. Nr. 5 (1962) Jordbuckstekn. Inst. København.
- [2] Chancellor, W. J.: Mechanical dehydration-blanching as an aid. ASAE-Paper 63-652 (1963).
- [3] Klapp, E.: Wiesen und Weiden 1954, S. 459.
- [4] Zimmer, E.: Unveröffentlichter Bericht des Institutes für Grünlandwirtschaft, Futterbau und Futterkonservierung der FAL, Braunschweig-Völkenrode.
- [5] Zimmer, E.: Siloforschung in den USA. Ber. über Landwirtschaft. 42 (1964) H. 3, S. 647/61. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- [6] Oehring, J.: Zweckmäßige Bodentrocknung von Heu. Landtechn. 14 (1959) H. 10, S. 338/41.
- [7] Claus, H.-G.: Einfluß der Form und der Antriebsart der Sternräder auf den Trocknungserfolg von Sternrechwendern. Landbauforsch. Völkenrode 14 (1964) H. 1, S. 41/44.
- [8] Glasow, W.: Trocknungserfolg bei verschiedenen Heumaschinen. Landtechn. 18 (1963) H. 21, S. 718/22.
- [9] Stolzenburg, W.-L.: Inst. f. Landtechn. Potsdam-Bornim Prüf.ber. Nr. 254 und 300. Dt. Akad. Landw. Berlin.
- [10] Schulze-Lammers, H.: Geräte und Verfahren für die Rauhfutterernte. Ber. über Landtechn. Heft 31. Wolftratshausen: H. Neureuter 1953.
- [11] Westendorp, T. J.: Weing of veel schudden bij de hooiwinning? Landbouwwoorl. 19 (1962) Nr. 11, S. 642/45.
- [12] Schöllhorn und Köbsell: Verlauf der Bodentrocknung bei Maschineneinsatz und Handarbeit. Techn./Landw. 14 (1959) S. 335—339.
- [13] Wieneke, F., und H.-G. Claus: Der Einfluß der Heuwerbe-maschinen auf Trocknung und Verluste. Landtechn. 19 (1964) Heft 11, S. 418/28.
- [14] Pedersen, T. T., und W. F. Buchele: Drying rate of alfalfa hay. Agric. Engng. 41 (1960) Nr. 2, S. 86/89, 107/108.
- [15] Longhouse, A. D., u. a.: Hay-conditions in the Northeastern United States. West Virginia Univ. Bull. Nr. 449 (1960).
- [16] Peschke, G.: Untersuchungen über die maschinelle Bodenheuerwerbung. Diss. L. H. Stuttgart-Hohenheim 1953.
- [17] Willows, D. E.: Quick hay making techniques with particular reference to the use flail forage harvesters. VI. Int. Kongress Techn. i. d. Landw., Lausanne 1964, Band III, S. 1044/52.
- [18] Claus, H.-G.: Untersuchungen an einem Schlegelmäher. Landtechn. 20 (1965) H. 22, S. 790/98.
- [19] Hall, G. E.: Flail conditioning of alfalfa and its effect on field losses and drying rates. ASAE-Paper Nr. 62-618, 1962.
- [20] Beyer, H., und B. Verosta: Auswirkungen des zerfasernen Schlegelschnittes auf das Bewachsen von Luzerne. Zemedelska tehnika 11 (38) 1965, Nr. 3, S. 147/160.
- [21] Bruhn, H. D.: Pelleting grain and hay mixtures on an experimental basis. ASAE-Paper, Wintermeeting 1954.
- [22] Bruhn, H. D.: Pelleting grain and hay mixtures. Agric. Engng. 36 (1955) Nr. 5, S. 330/31.
- [23] Butler, J. L., und H. F. McColly: Factors affecting the pelleting of hay. Agric. Engng. 40 (1959) Nr. 8, S. 442/46.
- [24] Lundell, V. J., und D. O. Hull: Field production of hay wafers. Agric. Engng. 42 (1961) Nr. 8, S. 412/15, 423.
- [25] Busse, W.: Untersuchungen auf dem Gebiet des Brikettierens von Halmgut. Grndl. Landtechn. Heft 18 (1963), S. 50/57.
- [26] Molitoris, I., und W. J. Thomas: Wafered hay feeding trials with heifers and dairy cows. ASAE-Paper Nr. 62-604 (1962).
- [27] Hall, G. E.: Drying of high-moisture alfalfa cubes. Agric. Engng. 45 (1964) Nr. 4, S. 198/99, 207.
- [28] McColly, H. F., und A. W. Farral: Engineering for high Techn. i. d. Landw., Lausanne 1964, Band III, S. 969/75. density bales and pellets in forage handling. VI. Int. Kongress
- [29] Hendrix, A. T., und J. R. McCalmont: Symposium on modern construction technique in agriculture. Jönköping, Sweden 14—16, June 1962, Part II, S. 1—58.
- [30] Hoglund, C. R.: An important word for word, research. Agric. Economics 947, Dept. Agric. Economics, Michigan State University, Sommer 1964.
- [31] Zimmer, E.: Nährstoffverluste und ihre Ursachen. Dt. Landw. Presse 80 (1957) Nr. 29, S. 287/88.