



# Untersuchungen zur Entwicklung der Welkheutrocknung

Georg Segler, Albert Scheuermann und Georg Ulreich  
 Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim

## 1. Einleitung

In den Betrieben des süddeutschen Grünlandgürtels mit Mähweidenutzung ist die Unterdachtrocknung von Heu neben der Silagebereitung unentbehrlich geworden. Neben dem Vorteil geringerer Investitionskosten im Vergleich zum Verfahren der Gärheugewinnung im luftdichten Stahlsilo wurde die Notwendigkeit einer stärkeren Vortrocknung auf dem Feld als Nachteil empfunden. Deshalb entstand der Wunsch nach einer trocknungstechnischen Verbesserung der Belüftungsanlagen mit einer Erhöhung der zulässigen Einlagerungsfeuchte auf die gleichen Werte wie bei der Welksilage, um am gleichen Tag mähen und einfahren zu können. Über die mehrjährigen Versuche, die vom Institut für Landtechnik, Hohenheim, durchgeführt wurden und die zur Entwicklung des inzwischen mit Erfolg eingeführten Verfahrens beige-tragen haben, wird nachstehend berichtet<sup>1)</sup>.

## 2. Versuchsplan

Ausgehend vom Stand der Technik der Unterdachtrocknung mit Einlagerungsfeuchten von 35 bis 45 % Wassergehalt und Luftmengen von 0,06 bis 0,12 m<sup>3</sup>/s je m<sup>2</sup> Belüftungsfläche beziehungsweise 0,03 bis 0,06 m<sup>3</sup>/s je m<sup>3</sup> eingelagertes Heu mit einer Schüttdichte von 100 kg/m<sup>3</sup> und 15 bis 20 % Endfeuchte waren folgende technische Fragen zu klären:

1. Erforderliche Luftmenge und auftretender Druckverlust bei der Trocknung von Welkheu mit 45 bis 60 % Anfangsfeuchtegehalt
2. Verlauf der Wasserverdunstung während des Trocknungsvorganges
3. Bauliche und strömungstechnische Gestaltung des Luftverteilsystems für dicht lagerndes Welkheu
4. Einfluß der Bearbeitung auf dem Feld und einer verkürzten Vorwelkzeit auf die Höhe der Nährwertverluste
5. Mechanisierung der Heulagerung
6. Trocknungskosten

## 3. Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden im Institut für Landtechnik in Hohenheim an besonderen für diesen Zweck entwickelten siloartigen Trocknungsbehältern und an drei Anlagen im Betrieb des Landwirtschaftsmeisters PAUL BISCHOFBERGER, Primisweiler, Krs. Wangen (Bild 1) durchgeführt. Über die Behälterversuche wurde bereits berichtet [1]. Sie dienen zur Ergänzung der Versuche in der Praxis und zur Ermittlung trocknungstechnischer Daten für verschiedene spezifische Luftmengen bei unterschiedlicher Einlagerungsfeuchte, sowie der zu erwartenden Trockensubstanz- und Nährstoff-



Bild 1: Ansicht des Versuchsbetriebes in Primisweiler bei Wangen

verluste. In Primisweiler, einem Betrieb mit 12 ha absolutem Grünland und einem Besatz von 2,2 GV/ha Grünland (24 Milchkühe und 8 Stück Jungvieh) mit ausschließlicher Heufütterung im Winter, wurden dank des Entgegenkommens des Betriebsinhabers und der Unterstützung durch das Landwirtschaftsamt in Wangen (damaliger Leiter: Oberlandwirtschaftsrat GEIGER) drei gleichgroße Trocknungsanlagen für die Versuche eingerichtet. Gegenüber der im Betrieb bereits vorhandenen Anlage A, die während der mehrjährigen Versuchsdauer baulich fast unverändert blieb, wurden die Anlagen B und C nach dem ersten Versuchsjahr umgebaut. Der Aufbau der drei Versuchsanlagen A, B und C in der endgültigen Form, wie sie nach dem ersten Versuchsjahr eingebaut wurden, ist aus Bild 2 ersichtlich. Die drei Anlagen wurden für den Betrieb mit verschiedenen spezifischen Luftmengen im Verhältnis 1 : 1,6 : 2 geplant. Tatsächlich konnten diese Werte bei den Versuchen jedoch nicht eingehalten werden. Die technischen Daten der Anlagen, wie sie für die Versuche ab dem zweiten Jahr vorlagen, sind in Tafel 1 enthalten. Die Lüfter waren auf dem Prüfstand im Institut unter Betriebsbedingungen durchgemessen und gleichzeitig mit den Lüfterkennlinien Eichkurven aufgenommen worden. Sie ermöglichten die ständige Bestimmung des Lüfterbetriebspunktes während der Versuche.

<sup>1)</sup> Diese Versuche wurden in dankenswerter Weise vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn durch Bereitstellung von Mitteln unterstützt

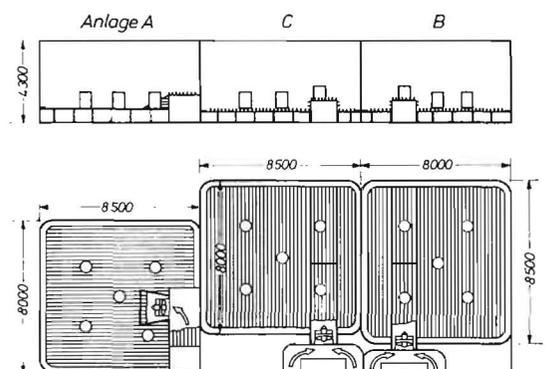


Bild 2: Übersicht über die Bauform und Abmessungen der Versuchsanlagen A, B und C

Tafel 1: Technische Daten der geänderten Versuchsanlagen

Anlagen		A	B	C
Grundfläche	[m <sup>2</sup> ]	68	68	68
max. Stapelhöhe (brutto)	[m]	4,3	4,3	4,3
Rauminhalt (brutto) einschl. Luftverteilsystem	[m <sup>3</sup> ]	292	292	292
Rauminhalt (netto) ohne Luftverteilsystem	[m <sup>3</sup> ]	228	235	233
gefördertes Luftvolumen	[m <sup>3</sup> /s]	5,7	9,2	11,5
bei Gesamtdruck	[mm WS]	40	40	40
Leistungsbedarf des Lüfters	[kW]	4,5	6,8	9,5
Luftmengenverhältnis		1	1,6	2,0
spezifische Luftmenge	[m <sup>3</sup> /s je m <sup>2</sup> ]	0,08	0,135	0,17

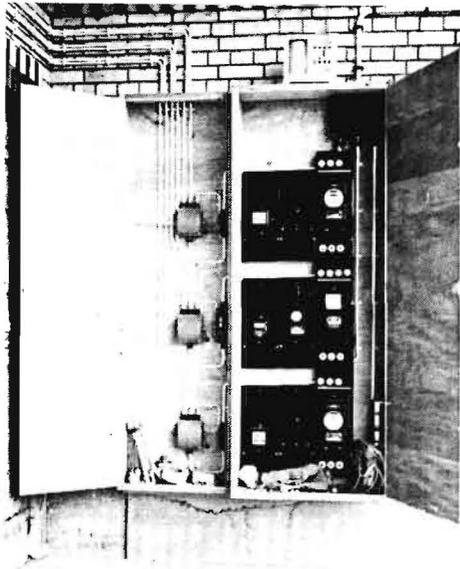


Bild 3: Schaltschrank mit Schallelementen und Meßgeräten zur Bestimmung des Stromverbrauchs

Von der zuständigen Elektrizitätsversorgungsgesellschaft (EVS Biberach) wurden in dankenswerter Weise Stromüberwachungs- und Meßgeräte zur Verfügung gestellt. In Bild 3 ist der Schaltschrank mit den Hauptschaltern für die drei Anlagen und den für die Kostenermittlung erforderlichen Betriebsstunden- und kWh-Zählern gezeigt. Die Werte für den Stromverbrauch wurden getrennt für Hochtarif und Niedertarif<sup>2)</sup> angezeigt. Zusätzlich war ein Maximalanzeiger eingebaut worden.

#### 4. Anlagen und Versuche im ersten Jahr

An die aus einem Vorversuch vorhandene Anlage A, die im Prinzip unverändert übernommen wurde, waren in dem zur Verfügung stehenden Scheunenraum die neu errichteten Anlagen B und C eingebaut worden. Die Anlage A (Bild 4) war als Flachrostanlage mit luftdichten Seitenwänden und senkrechter Luftführung durch Ziehstöpsel ausgeführt. Der Rost war etwa 60 cm hoch gelegt. Die Luft wurde direkt vom Lüfter über einen diffusorartigen Stichtkanal unter den Rost geleitet. Die Anlagen B und C wurden mit drei festen und einer offenen Seitenwand versehen. Der Heustapel wird hier nur von senkrecht gestellten Stangen gehalten. Die Anlage C wurde mit einem Luftverteilsystem mit Hauptkanal, Seitenrosten und fest eingebauten, senkrechten Luftverteilkämen ausgestattet. Für die Anlage B war ein Luftverteilsystem mit Hauptkanal, Seitenrosten und Ziehstöpseln gewählt worden.

Die Feldwerbung erfolgte im ersten Versuchsjahr in üblicher Form mit einem Schleppermähwerk und einem Kreiselrechenwender. Als Ladegerät diente ein Scheibenradfeldhäcksler. Zum Beschicken der Anlagen wurde ein Fördergebläse eingesetzt. Es war für die Waagerechtförderung von sehr feuchtem Gut mit hohen Luftgeschwindigkeiten ausgelegt worden.

#### 5. Ergebnisse und Lehren des ersten Versuchsjahres

Das vorgesehene Versuchsprogramm konnte im ersten Versuchsjahr im allgemeinen eingehalten werden. Es zeigten sich aber in einigen Punkten Schwierigkeiten, aus denen wertvolle Anregungen für die weiteren Versuche abgeleitet werden konnten. So ergab sich bereits bei der Einlagerung der ersten Schicht, daß die Luftverteilsysteme der Anlagen B und C für die Welkheubelüftung nicht geeignet waren. Der große Höhenunterschied zwischen Hauptkanal und Rost bei diesen Anlagen führte zu Ungleichmäßigkeiten bei der

Einlagerungsdichte und der Trocknung. Das Gut in der Übergangszone Hauptkanal/Rost trocknete rascher durch und führte zu Luftverlusten. Diese Erscheinung konnte bei der Auslagerung des Heues aufgeklärt werden. Das aus Junggrasschnitten stammende und in welchem Zustand eingebrachte Heu hatte sich sehr dicht abgelagert und im unteren Bereich des Stapels infolge des Gewichtes der darüber lagernden Schichten eine Schüttdichte bis zu  $200 \text{ kg/m}^3$ , gelegentlich sogar bis zu  $240 \text{ kg/m}^3$  erreicht. Da die Verdichtungswirkung von der Schütthöhe abhängt, wirkt sich ein hochgebauter Luftverteilungskanal sehr ungünstig aus und führt zu der oben erwähnten ungleichen Strömungs- und Trocknungswirkung (Bild 5). Beim Umbau der Anlagen B und C für die folgenden Versuchsjahre wurde diese Tatsache berücksichtigt. Der Kanal wurde niedriger und der Rost höher angelegt, so daß zwischen beiden ein geringerer Höhenunterschied entsteht. Diese Maßnahme ist für Welkheutrocknungsanlagen unentbehrlich.

Ferner erwiesen sich die offenen Seitenwände bei den Anlagen B und C für den Versuchsablauf als ungünstig. Die seitlichen Luftverluste sind groß und steigen mit zunehmender

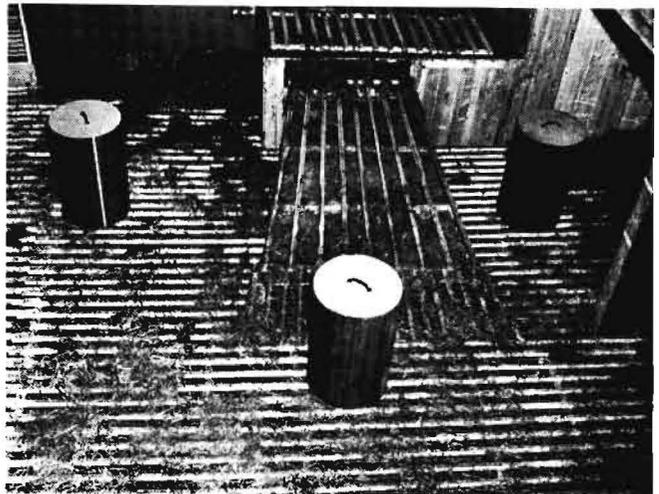


Bild 4: Teilsicht der Versuchsanlage A mit Belüftungsrost, Hauptkanal und Ziehstöpseln

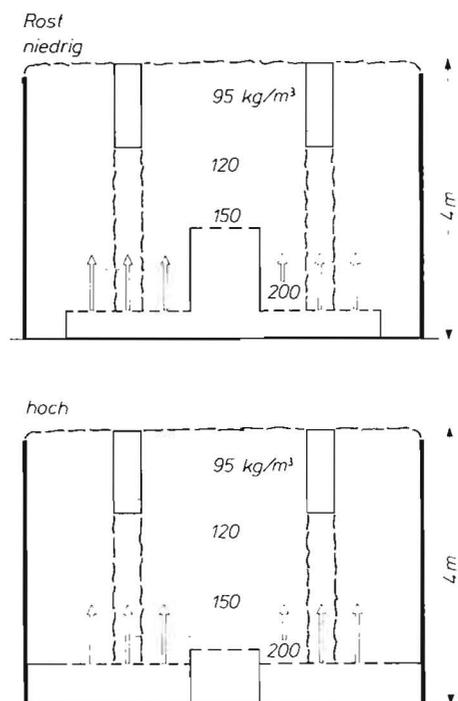


Bild 5: Verlauf der Schüttdichte von Welkheu in einer Anlage mit hohem Hauptkanal (Bild oben) und mit niedrigem Hauptkanal (Bild unten)

<sup>2)</sup> Hochtarif für Stromverbrauch während der tariflichen Tageszeit (6.00 ... 18.00 Uhr) Niedertarif für Stromverbrauch während der tariflichen Nachtzeit (18.00 ... 6.00 Uhr)

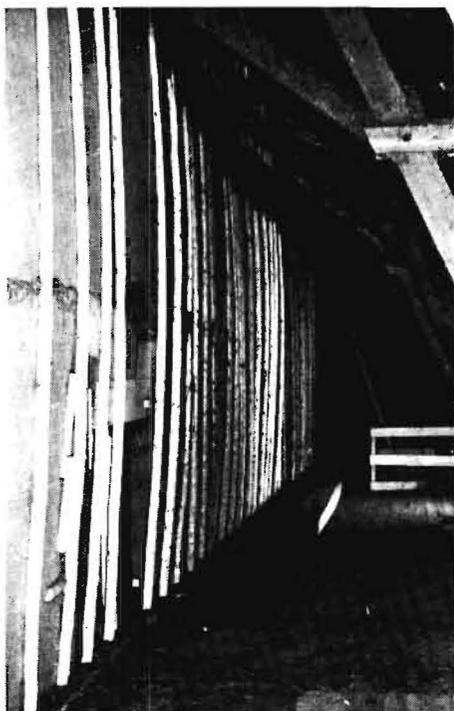


Bild 6: Einwandung der Versuchsanlagen

der Füllhöhe an. Zur Sicherung des weiteren Versuchsablaufs mußten die offenen Seiten des Heustapels nachträglich mit Hartfaserplatten abgedichtet werden. Bild 6 zeigt die Einwandung der Anlagen A, B und C, bestehend aus senkrecht gestellten Rundstangen und Hartfaserplatten.

Weitere Schwierigkeiten ergaben sich im ersten Versuchsjahr bei der Beschickung der Anlage mit einem Fördergebläse. Das schwere und zum Klumpen neigende Welkheu konnte nicht wie gewünscht in gleichmäßig waagerechten Schichten eingebracht werden, sondern nur sehr unregelmäßig bei gleichzeitig starker Entmischung, so daß eine Nachverteilung von Hand notwendig war. Dieses Beschickungsverfahren führte zu einer ungleichmäßigen Durchtrocknung der frisch eingelagerten Welkgutschichten. Das Heu mußte deshalb während der Trocknung mehrfach aufgelockert und durchmischt werden. Die beschriebenen Begleitumstände haben in starkem Maß die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres ungünstig beeinflusst. Auf Grund dieser Erfahrungen entschloß sich der Betriebsinhaber zur Anschaffung eines Fuderaufzuges mit Verteilplattform (Bild 7).

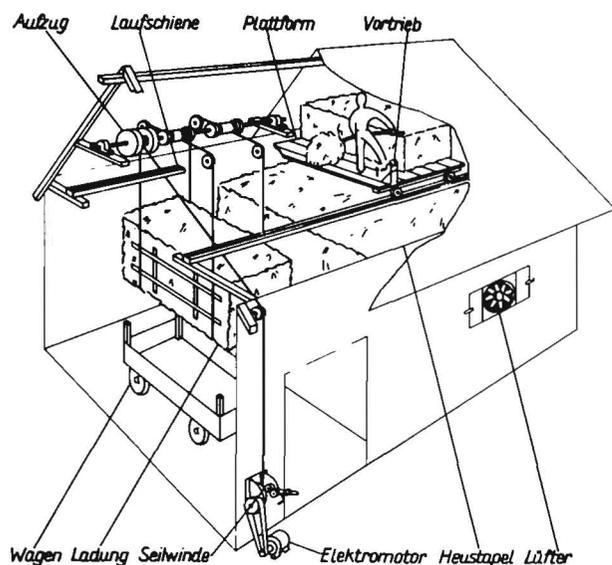


Bild 7: Fuderaufzug mit Verteilplattform

Trotz der oben genannten Schwierigkeiten waren die Versuchsergebnisse des ersten Jahres sehr ermutigend. In allen drei Anlagen konnten zusammen 57 Fuder Heu mit insgesamt 64 135 kg Trockengewicht bei 12 % Endfeuchte getrocknet werden. Der mittlere Einlagerungsfeuchtegehalt lag bei den drei Anlagen zwischen 52 und 55 %; der Anfangsfeuchtegehalt der einzelnen Heufuder schwankte zwischen 40 und 65 %. Das Heu konnte zum größten Teil am gleichen Tage, an dem es gemäht wurde, eingelagert werden. Bei gleichzeitiger Umstellung auf das Ernten mehrerer Junggraschnitte war es möglich, ein hochwertiges, nährstoffreiches Winterfutter zu gewinnen. Der Rohproteingehalt der einzelnen Schichten lag zwischen 14 und 21 %, im Mittel bei 17 % bezogen auf die Trockensubstanz. Bei fünf Flächennutzungen im Jahr wurden bis zu vier Mähnutzungen erreicht. Der hohe Nährstoffgehalt des Futters ermöglichte es dem Betrieb, auf zusätzliche Kraftfuttermgaben bei der Winterfütterung zu verzichten.

Aus den Ergebnissen des ersten Versuchsjahres konnten zusammenfassend folgende Erkenntnisse gewonnen werden: Das Luftverteilsystem der Anlagen B und C war verbesserungsbedürftig. Die offenen Seitenwände der Anlagen B und C ergaben große Luftverluste. Das ideale Luftverteilsystem für die Welkheubelüftung wäre bei erdlastiger Heulagerung eine Flachrostanlage mit versenktem Hauptkanal und luftdichten Seitenwänden. Bei deckenlastiger Heulagerung ist der Höhenunterschied zwischen Hauptkanal und Rost durch einen hochgelegten Rost zu vermindern (Bild 5, unten). Ein versenkter Hauptkanal läßt sich nur bei erdlastiger Lagerung leicht verwirklichen. Für Stapelhöhen über 2 bis 3 m sind bei der Trocknung von gehäckseltem Welkheu mit 45 bis 60 % Anfangsfeuchtegehalt Ziehstößel mit großem Durchmesser erforderlich.

Die Messungen zeigten außerdem, daß bei Verwendung höherer spezifischer Luftmengen, wie sie für eine größere Trocknungsleistung notwendig sind, Lüfter mit einem Gesamtdruck von 80 mm WS und mehr im stabilen Kennlinienbereich erforderlich werden. Der alles überdeckende Einfluß der Luftverteilsysteme erlaubte nach dem ersten Versuchsjahr noch keine Aussage zur Frage der erforderlichen spezifischen Luftmenge für die Welkheutrocknung. Die zu Beginn der Versuche aufgetretenen Schwierigkeiten mit den Anlagen B und C ergaben, wie zu erwarten war, höhere Trocknungskosten als bei der Anlage A. Ferner trug das sehr kühle Wetter der ersten drei Versuchswochen allgemein zu einer Erhöhung der Kosten bei allen Anlagen bei. Desgleichen ergaben die geschilderten Schwierigkeiten bei der Trocknung, hervorgerufen durch die Beschickung mit dem Fördergebläse, eine Kostensteigerung. Durch schlecht getrocknete Nester wurde ein häufiges Nachbelüften notwendig, das den trocknungstechnischen Wirkungsgrad der Anlagen verschlechterte. Ein Gegenwert für die höheren Trocknungskosten war jedoch im hohen Nährstoffgehalt des Futters gegeben.

## 6. Versuche mit den neu entwickelten Anlagen

Auf Grund der Erfahrungen und Erkenntnisse des ersten Versuchsjahres wurden folgende Änderungen durchgeführt:

1. Die Versuchsanlagen B und C wurden vollständig umgebaut und bei allen Anlagen die Grundfläche etwas vergrößert. Eine Ansicht der Anlage B gibt Bild 8 wieder. Nähere konstruktive Angaben enthält Bild 9. Diese Darstellung entspricht der Bauform einer Welkheutrocknungsanlage, wie sie heute empfohlen wird.

Der am Ende des ersten Versuchsjahres bei Anlage C eingebaute Lüfter wurde beibehalten und für Anlage B ein neuer verstärkter Lüfter für eine höhere Luft- und Druckleistung eingesetzt. Anlage B und C erhielten einen strömungstechnisch verbesserten und schallschluckend ausgekleideten Ansaugkanal.

2. Das Beschickungsverfahren wurde durch Einbau eines Fuderaufzuges mit Verteilplattform geändert. Das Heu kann von der Plattform aus von Hand in gleichmäßigen horizontalen Schichten verteilt werden (Bild 7). Es zeigte sich bei den späteren Versuchen, daß auf diese Weise eine sehr gleichmäßige Durchströmung und Trocknung der feuchten Schichten erreicht werden kann, wie sie bei Welkheu unerlässlich ist. Als nachteilig wurde die erforderliche Handarbeit empfunden. Durch diese Erfahrungen angeregt, wurde die Entwicklung eines mechanischen Verteilers gefördert, der in einem anderen Betrieb erprobt wurde. Er ermöglicht eine vollständige Mechanisierung des Beschickens und Verteilens in horizontalen Schichten (Bild 10).
3. Zur Beschleunigung der Vertrocknung auf dem Feld wurden versuchsweise mehrere Stengelknickmaschinen eingesetzt. Sie sollten auf ihre Eignung zur Verbesserung des Trocknungserfolges untersucht werden.

Die Anlagen blieben in der oben beschriebenen Form für die folgenden drei weiteren Versuchs- und Beobachtungsjahre unverändert. Einen ersten Abschluß fanden die trocknungstechnischen Untersuchungen im Jahr 1966, während die mit der Beschickung von Welkheuanlagen und der mechanischen Verteilung des Gutes zusammenhängenden Probleme, die einen wesentlichen Einfluß auf die gute Funktion der Trocknungsanlage haben, erst später geklärt werden konnten.

### 7. Versuchsergebnisse

Bei der Feldwerbung bewährte sich grundsätzlich der Einsatz der Stengelknickmaschine [2]. Von drei eingesetzten

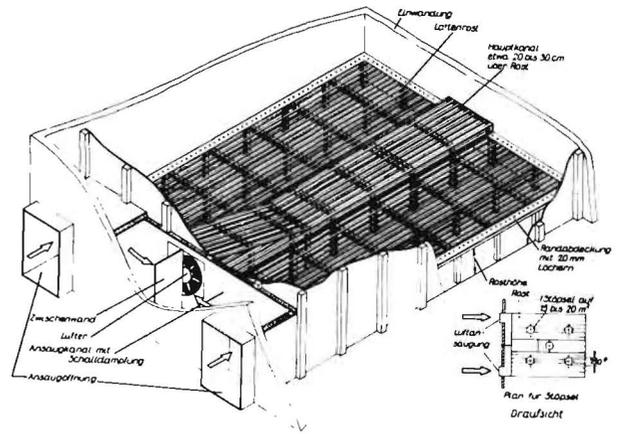


Bild 10: Mechanischer Schichtenverteiler mit Beschickungsanlage für die Welkheutrocknung



Bild 11: Stengelknickmaschine für Dreipunktanbau am Schlepper mit zwei genutzten Gummilwalzen

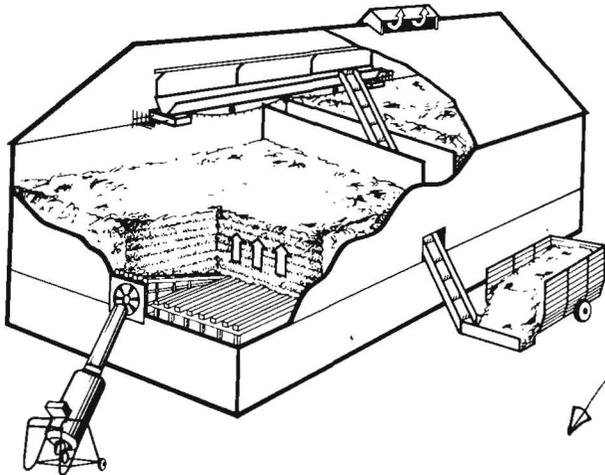


Bild 8: Teilansicht der Versuchsanlage B

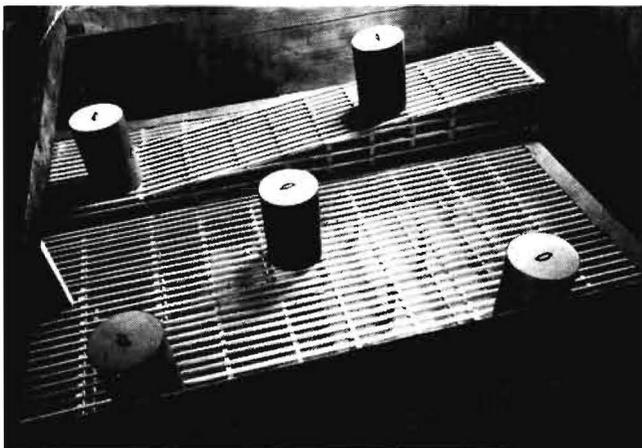


Bild 9: Aufbau einer Welkheutrocknungsanlage mit luftdichten Seitenwänden und Schalldämpfer

Versuchsmaschinen mit unterschiedlicher Walzenform erwiesen sich zwei Maschinen, die mit scharf profilierten Stahlwalzen ausgerüstet waren, für die vorliegenden Verhältnisse als weniger geeignet. Weiche Stengel von Kräutern und des zahlreich vorhandenen Löwenzahns wurden gehäckselt und verblieben beim Bergen mit der Sammelerntemaschine als Verlust auf dem Feld. Bei der dritten Maschine mit leicht profilierten Gummilwalzen (Bild 11) was das nicht der Fall. Durch ihren Einsatz konnte die Vortrocknung auf dem Feld entscheidend beschleunigt und auch die weitere Bearbeitung des Gutes, besonders beim ersten Schnitt, erleichtert werden. In Bild 12 sind die Ergebnisse von einem Feldversuch beim zweiten Schnitt von Wiesengras wiedergegeben. Der mit Hilfe der Stengelknickmaschine erzielte Trocknungsvorsprung ist für die Durchführung der Eintage-Heuwerbung in Verbindung mit der Belüftungstrocknung von entscheidender Bedeutung. Das mit der Stengelknickmaschine bearbeitete Gut ließ sich auch in den Anlagen besser trocknen.

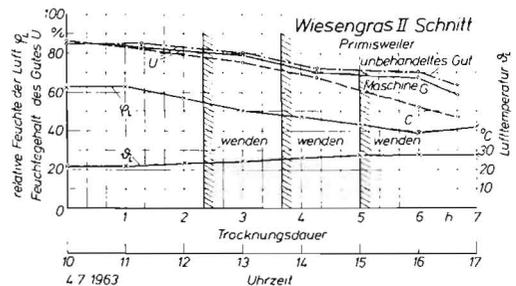


Bild 12: Beschleunigung des Trocknungsverlaufes durch Anwendung der Stengelknickmaschine bei Wiesengras C mit genutzten Gummilwalzen, G mit Riffelwalzen aus Stahl

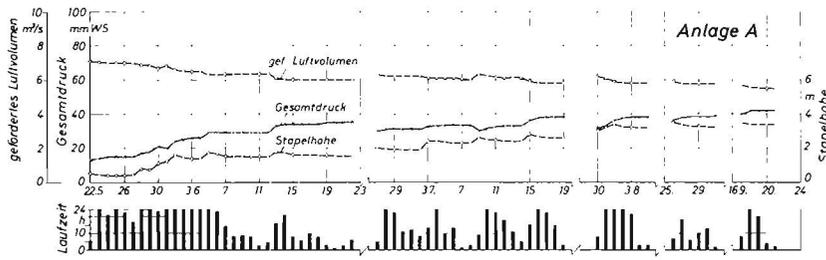


Bild 13: Betriebszeiten und Leistung des Lüfters beim Versuch in Anlage A

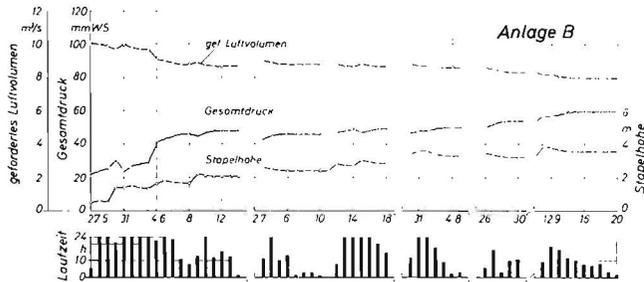


Bild 14: Betriebszeiten und Leistung des Lüfters beim Versuch in Anlage B

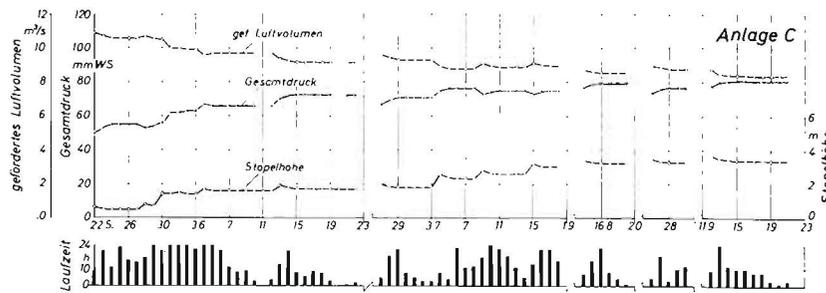


Bild 15: Betriebszeiten und Leistung des Lüfters beim Versuch in Anlage C

Die umgebauten Anlagen arbeiteten von Anfang an einwandfrei und die Trocknung verlief in allen drei Anlagen gleichmäßig. Maßgeblichen Einfluß auf das störungsfreie Arbeiten der Anlagen hatte das gewählte neue Beschickungsverfahren. Das Heu konnte von der Verteilplattform aus in gleichen Schichten locker eingebracht werden. Außerdem war es möglich, die drei Anlagen zügig mit entsprechenden Gutmengen zu beschicken.

Der Trocknungsverlauf wurde durch Messungen verfolgt. In den Diagrammen der Bilder 13, 14 und 15 sind Angaben über die Stapelhöhe, die Betriebszeit, die geförderte Luftmenge und den aufgetretenen Druckverlust für das gesamte zweite Versuchsjahr enthalten [3]. Ergänzende Angaben und Durchschnittswerte befinden sich in Tafel 2.

Die Diagramme zeigen die bekannten Abhängigkeiten von steigendem Gesamtdruck bei zunehmender Stapelhöhe und eine durch den Kennlinienverlauf des Lüfters bedingte Abnahme der Luftmenge. Der höchste Gesamtdruck und damit das niedrigste Fördervolumen des Lüfters wurde bei allen drei Anlagen am Ende der Versuchsperiode ermittelt. In Tafel 2 sind die entsprechenden Werte aufgeführt. Daraus geht hervor, daß das Verhältnis der spezifischen Luftmengen von den Anlagen A, B und C am Ende der Trocknungsperiode nur noch 1:1,43:1,54 betrug. Die je m<sup>3</sup> Trocknungsluft abgeführte Wassermenge hatte bei allen Anlagen etwa die gleiche Größenordnung, bei den Anlagen B und C lag sie geringfügig über der von Anlage A (vergl. Tafel 2). Das bedeutet, daß die Trocknungskapazität der Anlage in dem untersuchten Bereich der spezifischen Luftmengen etwa im Verhältnis der Luftmengen gesteigert werden kann. Auch aus diesem Grunde ist bei der Welkheutrocknung eine größere spezifische Luftmenge mit einem entsprechend größeren Lüfter vorzuziehen. Die gleiche Schlußfolgerung erlauben auch die Aufzeichnungen über den Trocknungsverlauf einer eingelagerten Heuschicht, wie er beispielsweise an den Anlagen A und C gemessen wurde (Bild 16). Das eingelagerte

Tafel 2: Ergebnisse des zweiten Versuchsjahrs

Anlagen		A	B	C
Eingelagerte Heufuder		13 1/3	24 1/3	18 1/3
Naßgutmenge	[kg]	37 280	44 340	48 740
mittlerer Feuchtegehalt bei der Einlagerung	[%]	49,8	48,9	53,6
Trockenmasse	[kg]	18 700	22 660	22 620
Heumenge bei 12 % Endfeuchtegehalt				
abzuführende Wassermenge bei 12 % Endfeuchtegehalt	[kg]	21 250	25 750	25 705
gefördertes Luftvolumen (Mittelwert)	[m <sup>3</sup> /s]	6,2	8,9	9,4
Betriebsstundenzahl	[h]	1 015	774	906
je m <sup>3</sup> Trocknungsluft abgeführte Wassermenge (Mittelwert)	[g/m <sup>3</sup> ]	0,70	0,75	0,75
Stromverbrauch Hochtarif	[kWh]	2 592	3 148	6 347
Stromverbrauch Niedrigtarif	[kWh]	1 918	1 385	4 196
gesamte Stromkosten	[DM]	338,80	414,50	802,00
Trocknungskosten je dz trockenes Heu	[DM/dz]	1,59	1,61	3,12
Verdunstungskosten von 1 kg Wasser	[DPf/kg]	2,11	2,23	3,48
Füllhöhe am Ende der Trocknung	[m]	3,3	3,5	3,4
Rauminhalt	[m <sup>3</sup> ]	194	214	206
mittlere Schüttdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	109,5	120,3	124,8
gefördertes Luftvolumen bei max. Gesamtdruck	[m <sup>3</sup> /s]	5,5	7,9	8,5
spezifische Luftmenge	[m <sup>3</sup> /s je m <sup>2</sup> ]	0,081	0,116	0,125
Nährstoffgehalt bezogen auf Trockensubstanz (als-gewogenes-Mittel)				
Asche	[%]	13,4	13,4	13,7
Roheiweiß	[%]	16,5	16,8	16,8
Rohfaser	[%]	22,2	23,2	21,6
Fett	[%]	3,4	3,2	3,5
N-freie Extraktstoffe	[%]	44,5	43,4	44,4
Carotin	[mg/kg]	83	71	79

Welkgut besaß den gleichen Anfangsfeuchtegehalt. Die Anlage C wurde, entsprechend dem Luftmengenverhältnis, auch mit größeren Gutmengen beschickt. Es zeigte sich bei beiden Anlagen etwa der gleiche Trocknungsverlauf. Die Auslagerungsproben ergaben für alle Anlagen einen mittleren Endfeuchtegehalt von etwa 12 % beim getrockneten Gut, wobei die einzelnen Proben zwischen 10 und 13 % schwankten. Es sind daher in Tafel 2 die Heumenge bei 12 % Endfeuchtegehalt und die gesamte abzuführende Wassermenge bei einer Trocknung auf 12 % angegeben. Die abgeführte Wassermenge je  $m^3$  Trocknungsluft konnte aus den gemessenen und gemittelten Werten des Luftvolumens ( $m^3/s$ ), der Anzahl der Betriebsstunden, sowie der abgeführten Wassermenge je Trocknungsperiode errechnet werden.

Hinsichtlich der Trocknungskosten erbrachten die Versuche ein aufschlußreiches Ergebnis. Wegen der begrenzten Mähflächen war mengen- und zeitmäßig eine vergleichsweise Beschickung nur bei der Anlage A mit der niedrigsten und bei der Anlage C mit der höchsten spezifischen Luftmenge möglich. Da bei diesem eingeschränkten Vergleich die Anlage C entsprechend ihrer höheren Trocknungsleistung nicht voll ausgenutzt werden konnte, müssen die Trocknungskosten für diese Anlage außer Betracht bleiben. Durch das häufige Trocknen relativ kleiner Heuschichten, wurde der Trocknungswirkungsgrad der Anlage C so verschlechtert, daß nahezu die doppelten Trocknungskosten entstanden. Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Trocknungsanlage läßt sich daraus eine wichtige Erkenntnis ableiten. Die tägliche Einfahrmenge sollte der Trocknungskapazität der Anlage je Tag entsprechen. Bei spezifischen Luftmengen von 0,1 . . . 0,15  $m^3/s$  je  $m^2$  Grundfläche, die durch einen Lüfter mit höherer Druckleistung gewährleistet sein müssen, und normalen Wetterverhältnissen ist es unter dieser Voraussetzung möglich, tägliche Einfahrsschichten zwischen 30 bis 50 cm, je nach Feuchtegehalt des Gutes, auf die Anlage zu bringen. Diese Betriebsweise läßt sich im Gegensatz zur Silagetechnik mit dem Nutzungsrhythmus des Mähweidebetriebes gut vereinbaren. Dieser Vorzug des Unterdach-Trocknungsverfahrens hat deshalb viel zu seiner Einführung in Mähweidebetrieben beigetragen.

Aus dem gemessenen Stromverbrauch (getrennt nach Hoch- und Niedertarif) wurden die gesamten Stromkosten bestimmt. Zugrunde gelegt wurde beim Hochtarif 9 Dpf/kWh und beim Niedertarif 5,5 Dpf/kWh. Weiterhin wurden die reinen Trocknungskosten in DM je dz Heu und als Kennzahl für den Wirkungsgrad der Anlage die Verdunstungskosten in Dpf/kg verdunstetes Wasser errechnet (Tafel 2). Wird eine Anlage zur Belüftungstrocknung von Welkheu entsprechend ihrer Kapazität beschickt, dann ergeben sich Trocknungskosten von 1,2 bis 1,6 DM/dz Heu. Diese Kosten würden für die Anlagen A und B im zweiten und dritten Versuchsjahr gefunden. Sie sind als obere Grenzwerte anzusehen, die durchaus noch unterschritten werden können. Die Verdunstungskosten für 1 kg Wasser lagen im Mittel der Jahre bei 1,5 . . . 2,2 Dpf/kg.

## 8. Der Nährstoffgehalt und die Verdaulichkeit von Welkheu

Die Futterqualität hängt bekanntlich von mehreren Faktoren ab. Dazu gehören das Verhältnis vom Reife- und Schnittzeitpunkt und die Dauer der Trocknung auf dem Feld. Über den Einfluß der Trocknungsgeschwindigkeit auf dem Feld gibt es aufschlußreiche Versuche von R. E. HODGSON [4] (Bild 17). Danach steigen die Verluste mit zunehmender Trocknungszeit auf dem Feld stark an. Bei der Trocknung im Behälter wurde festgestellt, daß erst bei Naßgutschichten von 50 bis 100 cm und mehr größere Nährwertverluste bei niedrigen spezifischen Luftmengen, also bei langer Trocknungszeit auftreten. Da die Beschickung der Versuchsanlagen in niedrigen Schichten erfolgt und jeweils nahezu das gesamte Welkgut von der Verdunstungszone erfaßt wurde, ergab sich bei den Nährstoffanalysen kein Einfluß der spezifischen Luftmenge auf die Höhe der Nährstoffverluste (vergl. Tafel 2). Dieses Ergebnis konnte nur erzielt

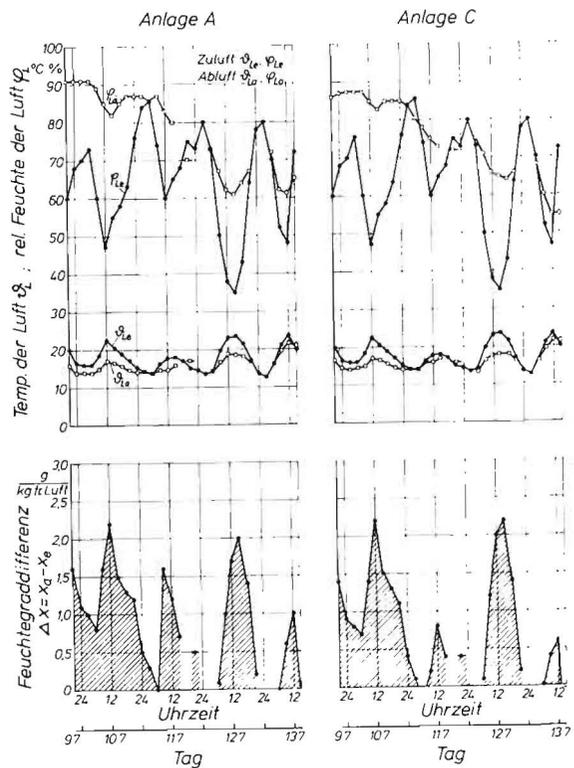


Bild 16: Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte der Zu- und Abluft sowie der Feuchtegraddifferenz in den Versuchsanlagen A und C während der Trocknung einer Schicht

worden, weil die Trocknungskapazitäten von Anlage B und C, mit ihren größeren spezifischen Luftmengen, eine Sicherheitsreserve besaßen. Da in neuerer Zeit in zahlreichen Grünlandbetrieben durch den Einsatz größerer Feldhäcksler oder eines Ladewagens die Bergeleistung wesentlich gesteigert wird und gleichzeitig, unter Abkürzung der Vortrocknung auf dem Feld, Welkheu mit höherem Anfangsfeuchtegehalt getrocknet werden soll, ist eine große Trocknungskapazität für Welkheu-Belüftungsanlagen erforderlich.

Zur Beurteilung der Futterqualität wurden während des gesamten Versuchszeitraumes sowohl Nährstoffanalysen angefertigt, als auch ein Fütterungsversuch vom Institut für Tierernährung Hohenheim in Zusammenarbeit mit Prof. WÖHLBIER durchgeführt.

Die Nährstoffuntersuchungen ergaben im Durchschnitt der Jahre für alle Anlagen einen Gehalt von 16 bis 17 % Rohprotein in der Trockensubstanz; der ermittelte Höchstwert von getrocknetem Gut lag bei 25 % (vergl. Ergebnisse Tafel 2). Das Heu hatte allgemein eine sehr gute Qualität. Auf

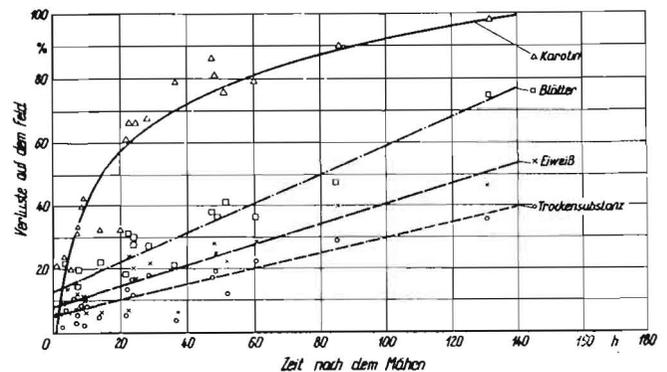


Bild 17: Zeitliche Zunahme der Nährstoffverluste beim Trocknen auf dem Feld nach R. E. HODGSON [4]

Grund des hohen Nährstoffgehaltes konnte der Betrieb auf den Zukauf von Kraftfutter verzichten. Ferner konnte während der Winterfütterung eine eindeutige Zunahme der Milchleistung bereits nach dem ersten Versuchsjahr festgestellt werden.

Der zur Beurteilung des Nährstoffgehaltes und der Verdaulichkeit durchgeführte Fütterungsversuch mit Hammeln wurde mit einer Mischprobe von Welkheu aus der Anlage A vorgenommen, die nach beendeter Trocknung und Winterlagerung im Frühjahr nach dem zweiten Versuchsjahr gezogen worden war. Die Entnahme der repräsentativen Probe erfolgte aus einem großen, über die gesamte Höhe aus dem Heustapel herausgeschnittenen Heuwürfel.

Die Ergebnisse des Fütterungsversuches sind nach einem Bericht von W. WÖHLBIER und H. GIESSLER [5] in Tafel 3 zusammengestellt. Es ergab sich danach für die Durchschnittsprobe des zweiten Versuchsjahres aus Anlage A ein Gehalt von 122 g verdaulichem Rohprotein und 531 StE je 1000 g Trockensubstanz. Da eine bodengetrocknete Vergleichsprobe von den gleichen Flächen nicht zur Verfügung stand, wurden zum Vergleich die Werte für Rohnährstoffe und für den Verdauungsquotient der Futterwerttabelle der DLG für „Wiesenheu 1. Schnitt, sehr früh geschnitten, vorzüglich“ herangezogen (Tafel 4). Ferner wurden sie mit Werten verglichen, die vom Institut für Tierernährung,

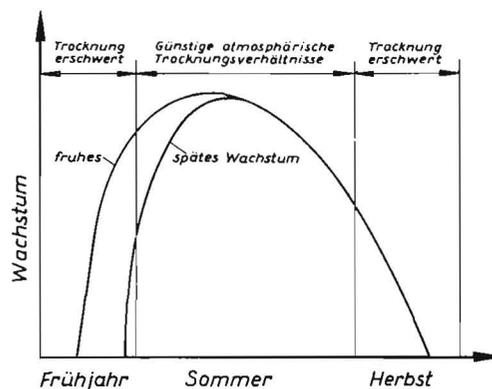


Bild 18: Grünlandwachstum und Trocknungsbedingungen

Hohenheim für „Wiesenheu, 2. Schnitt, bodengetrocknet“ ermittelt wurden. Die sonst übliche Vergleichsprobe aus bodengetrocknetem Heu von den Versuchsfeldern hätte ohnehin aus versuchstechnischen Gründen nicht zur Verfügung gestanden, da bei den Versuchen häufig einzelne Schönwettertage, innerhalb von Perioden unbeständigen Wetters, genutzt werden mußten. Dies war notwendig, um

Tafel 3: Ergebnisse des Verdauungsversuchs mit Welkheu von Anlage A im zweiten Versuchsjahr nach W. WÖHLBIER und H. GIESSLER [5]

	Trockensubstanz	Organische Substanz	Rohprotein	Reineiweiß	Rohfaser	Rohfett	N-freie Ex-St	Rohasche
Rohnährstoffe in 1 000 g TS [g]	1 000	876	169	146	232	36	439	124
Verdauungsquotienten	72,0	75,1	72,1	67,8	76,5	54,0	77,2	—
verdauliche Nährstoffe in 1 000 g TS [g]	720	658	122	99	177	19	340	—

Tafel 4: Zum Vergleich herangezogene Bewertungstabellen für Wiesenheu

Oben für „Wiesenheu“, 1. Schnitt, sehr früh geschnitten, vorzüglich nach DLG-Futterwert-Tabelle; unten Wiesenheu 2. Schnitt, bodengetrocknet auf Flächen des Instituts für Tierernährung, Hohenheim gerernt

	Trockensubstanz	Organische Substanz	Rohprotein	Reineiweiß	Rohfaser	Rohfett	N-freie Ex-St	Rohasche
„Heu DLG-Tabelle“								
Rohnährstoffe in 1 000 g TS [g]	1 000	889	180	*)	246	30	433	111
Verdauungsquotienten	*)	67	68	*)	70	46	67	—
verdauliche Nährstoffe in 1 000 TS [g]	*)	596	122	*)	172	14	290	—
„Heu Institut“								
Rohnährstoffe in 1 000 g TS [g]	1 000	883	158	130	241	37	447	117
Verdauungsquotienten	70,3	73,0	71,6	65,5	71,0	54,1	76,2	—
verdauliche Nährstoffe in 1 000 g TS [g]	703	645	113	85	171	20	341	—

\*) = keine Angaben in der DLG-Tabelle

Tafel 5: Leistungsbedarf und Lüftungsart für die Welkheutrocknung

Anlagenart Kategorie	Wassergehalt des Heues beim Einlagern	spezifische Luftmenge		Lüfter
		m <sup>3</sup> /s je m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s je m <sup>3</sup>	
I	unter 35 %	unter 0,06	unter 0,03	geeignet für Kleinanlagen und geringe Ansprüche an die Trocknung
II	35—45 %	0,06—0,12	0,03—0,06	heute vorwiegend verwendete Luftmenge
III	45—60 %	über 0,12—0,18	über 0,06—0,09	Anlagen für höhere Ansprüche an die Trocknung

\*) Bei einer Trocknungsschicht von 2 m und einer Schüttdichte von 100 kg/m<sup>3</sup> bei 20 Prozent Endfeuchte

die Versuchsflächen jeweils zum optimalen Schnittzeitpunkt ernten zu können.

Aus Tafel 4 ergeben sich die Vergleichswerte, die für die Beurteilung des Welkheus herangezogen wurden. Die entsprechenden Werte der Vergleichsproben betragen:

122 g verdauliches Rohprotein, 461 StE nach der DLG-Futterwert-Tabelle, 113 g verdauliches Rohprotein, 516 StE für Heu des Instituts für Tierernährung, Hohenheim.

Verglichen mit den oben genannten Werten nach Tafel 4 handelt es sich bei der Durchschnittsprobe von Welkheu aus Anlage A um ein Heu, das im Gehalt nach verdaulichem Rohprotein der Qualitätsstufe „vorzüglich“ (der Futterwert-tabelle der DLG) entspricht und im Gehalt an Stärke-Einheiten den durchschnittlichen Gehalt der Stufe „vorzüglich“ noch übertrifft. Dieses günstige Ergebnis ist vor allem auf die höhere Verdaulichkeit als Folge des Schnittes zu einem frühen Vegetationszeitpunkt und einer kurzen Vorwelkzeit zurückzuführen.

Die vorliegenden Versuche haben bewiesen, daß es mit Hilfe der Welkheutrocknung möglich ist, qualitativ hochwertiges Winterfutter zu gewinnen. Das Verfahren eignet sich besonders gut für die Betriebsweise der Mähweidenutzung, weil das Futter im Gegensatz zur Gärfutterbereitung laufend in kleineren Mengen eingebracht werden kann. Die Anlage erfordert eine besondere Bauweise mit Lüftern größerer Luft- und Druckleistung (siehe Bilder 9 und 10). Der Bau dieser Lüfter ist inzwischen von der Industrie aufgenommen worden. Im Vergleich zum bisherigen Stand der Technik ist hiermit eine neue Anlagen-Kategorie entstanden, für die in Tafel 5 unter III die wichtigsten technischen Daten enthalten sind.

Die große Bedeutung, welche die inzwischen in hunderten von Betrieben eingeführte Welkheutrocknung im süddeutschen Gründlandgürtel gewonnen hat, läßt sich auch aus den klimatischen und vegetationsmäßigen Bedingungen erklären. Der Vorzug der Welkheutrocknung zeigt sich vor allem in Gebieten mit frühem Frühjahrswachstum und dort, wo sowohl im Frühjahr als auch im Herbst die Heuernte mit Zeiten ungünstiger Trocknungswirkung zusammenfällt (Bild 18). Diese Tatsache macht die Welkheutrocknung zu einem geradezu idealen Verfahren für klimatisch durch ein gutes Frühjahrswachstum ausgezeichnete Grünlandbetriebe.

## 9. Zusammenfassung

Die Welkheutrocknung hat in ähnlicher Weise wie die Welksilage entscheidend zur Verbesserung der Halmfuttermittelqualität beigetragen. Das Verfahren stellt eine Weiterentwicklung der bekannten Unterdachrocknung von Heu dar. Die Welkheutrocknung erfordert im Vergleich zur Welksilage weniger Investitionskosten. Alle Arbeiten einschließlich des Füllens, Einlagerns und der Entnahme des Heus aus der Anlage sind mechanisierbar. Das Verfahren hat sich seit einigen Jahren vorwiegend im süddeutschen Gründlandgürtel in einer größeren Zahl von Anlagen erfolgreich eingeführt. Die zur Entwicklung dieses Verfahrens durchgeführten Untersuchungen geben einen Einblick in den Stand der Technik.

## 10. Schrifttum

- [1] ULREICH, G.: Der Luftbedarf bei der Belüftungstrocknung von Heu unter Berücksichtigung der Atmungswärme und der Nährstoffverluste. Dissertation Hohenheim 1966
- [2] SEGLER, G., H. LANZ und A. SCHEUERMANN: Verkürzung der Trocknungszeit und Verbesserung der Arbeitstechnik bei der Heugewinnung durch Halmgutbehandlung mit Druck- und Schlagwerkzeugen. Landtechnische Forschung 15 (1965) S. 184—191
- [3] SCHEUERMANN, A.: Der Strömungswiderstand bei der Belüftungstrocknung von blattreichem, dicht lagerndem Heu. Grundl. der Landtechnik 16 (1966) S. 140—146
- [4] HODGSON, R. E.: What engineers should know about feeds for dairy cattle. Vorgelesen auf der Wintertagung des ASAE in Chicago/III. am 9. Dezember 1953
- [5] WÖHLBIER, W. und H. GIESSLER: Fütterungsversuch mit Welkheu. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für Tierernährung, Hohenheim. o. J.

## Künftig nur noch Diplom-Ingenieure?

Der VDI zur Studienreform

In die gegenwärtige Diskussion zur Reform der Ingenieurausbildung hat jetzt mit neuen Vorschlägen der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) eingegriffen. Der VDI plädiert demnach eindeutig für das Konzept der integrierten Gesamthochschule, also für die Einbettung der bisher getrennten Studiengänge an Ingenieurschulen und wissenschaftlichen Hochschulen in diese eine Institution.

Voraussetzung für ein Studium in dieser Gesamthochschule soll künftig einheitlich ein erfolgreicher Schulabschluß nach zwölf Jahren im Sekundarschulbereich sein. Die Art dieses Schulabschlusses, der in einem differenzierten Schulsystem erworben werden kann, soll nach Ansicht des VDI unerheblich für die Zulassung zum Studium im Hochschulbereich sein.

### *Grundstudium als Orientierungsphase mit Wechselmöglichkeit*

Das Studium der Ingenieurwissenschaften soll sich nach diesen Vorstellungen in ein für alle Studenten dieser Disziplin gemeinsames Grundstudium von höchstens zwei Jahren und in ein Fachstudium von unterschiedlicher Art und Dauer je nach angestrebtem Studienziel gliedern. Ziel des Grundstudiums, über dessen endgültige Dauer noch beraten wird, soll es sein, während einer sogenannten Assimilationsphase den Ausgleich des unterschiedlichen Wissensstandes der aus verschiedenen Schultypen kommenden Studenten zu gewährleisten und sie in die Methodik wissenschaftlichen und technischen Denkens einzuführen. Durch intensive Studien- und Berufsberatung sowie auf die spezielle Problematik und Charakteristik der einzelnen Fachrichtungen hinweisende Vorlesungen und Übungen soll es den Studenten ermöglicht werden, ihre Überlegungen zur Wahl der Studienrichtung zu überprüfen und — was hervorhebenswert ist — gegebenenfalls ohne nennenswerten Zeitverlust zu korrigieren.

Der an diese Eingewöhnungsphase anschließende Studienabschnitt des Grundstudiums sollte nach Meinung des VDI aus Pflichtfächern, Wahlpflichtfächern und Wahlfächern bestehen. In den Pflichtfächern sollen die theoretischen Grundlagen für das Studium vermittelt werden. Anwendungsbezogene und theoretische Wahlpflichtfächer und Übungen sollen bei begleitender Erfolgskontrolle in das Fachstudium überleiten. Weitere zur Wahl stehende Vorlesungen und Übungen sollen vertiefte Kenntnisse für den anwendungsbezogenen oder theoretischen Studienbereich vermitteln. Vom Erfolg in den anwendungsbezogenen oder theoretischen Wahlpflichtfächern und somit von Eignung und Fähigkeit des Studenten soll es abhängen, in welchem Zweig des nach Art und Dauer unterschiedlichen Fachstudiums er seine Ausbildung zu Ende führt.

### *Neues Studienkonzept rechtfertigt einheitlichen Hochschulgrad*

Nach den Vorstellungen des VDI soll es im Rahmen des Fachstudiums einerseits Studiengänge geben, bei denen die Vermittlung vertiefter Kenntnisse der Theorien und Forschungsverfahren zur Planung und Gestaltung technischer Entwicklungen dominiert. Andererseits ist an Studiengänge gedacht, die die theoretischen und praktischen Voraussetzungen für Aufgaben in der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung sowie beim Betrieb von technischen Geräten, Anlagen und Verfahren besonders berücksichtigen.

Derart neugeordnete Studiengänge lassen es fraglich erscheinen, ob die heute noch unterschiedlichen Abschlüsse der Ingenieurausbildung auch künftig angebracht sind. Im VDI hat sich die Meinung gebildet, daß der hohe Ausbildungsstand der beiden vorgesehenen Studienrichtungen die Schaffung eines einheitlichen akademischen Grades — sei es der des Diplom-Ingenieurs oder ein anders benannter — rechtfertigt, und zwar unabhängig von der Art der Dauer des Studiums.