

Über die Heutrocknung mit Warmluft

Von **Rewert Bussen**, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Die Qualität des nachgetrockneten Grüngutes hängt entscheidend von der Art der Heuwerbung auf dem Felde ab. Je hochwertiger das Grüngut selbst und je kürzer die Vortrocknung auf dem Felde ist, um so wirksamer und wirtschaftlicher ist die künstliche Nachtrochnung unter Dach. Die Nachtrochnung kann durch Warmlüftung beschleunigt werden, wodurch auch vorgewelktes Gut mit etwas höherem Feuchtegehalt verarbeitet werden kann als bei Kaltbelüftung. Es werden die Grundlagen der künstlichen Nachtrochnung des Heues, die Vor- und Nachteile sowie der Kostenunterschied zwischen Warm- und Kaltbelüftung behandelt.

Die künstliche Grünfüttertrochnung kam schon um die Jahrhundertwende auf; bereits im Jahre 1905 versorgte ein schlesischer Großbetrieb [1] seine Viehbestände mit Grünkraftfutter aus Rübenblatt, Leguminosen- und Kleegemenge, die im eigenen Trommeltrockner getrocknet wurden. Die Grünfüttertrochnung gewann im deutschen Osten rasch an Boden.

Der Gedanke der künstlichen Nachtrochnung mit vorgewärmter Luft kam erst nach dem Zweiten Weltkrieg aus dem Auslande in die Bundesrepublik; so berichtet Kirsch 1948 über die Heuwerbung in Amerika in 15 Stunden [2]. Ein Jahr darauf erstellte der Verein Ostfriesischer Stammviehzüchter unter Leitung von Adolf Köppe eine Nachtrochnungsanlage mit 400 000 kcal/h; 17 000 Nm³/h Luft und 170 mm WS. Kelm (Kruppsche Wirtschaftsbetriebe Meppen) erstellte um die gleiche Zeit eine ähnliche Anlage. Beide Anlagen konnten auch Grüngut bis zu 75% Feuchte trocknen. Durch Erhöhung der Dieselölpreise von 0,20 auf 0,32 DM/kg und durch das Ansteigen der Landarbeiterlöhne (1950: 0,80 DM/h) wurden diese Anlagen lahmgelegt.

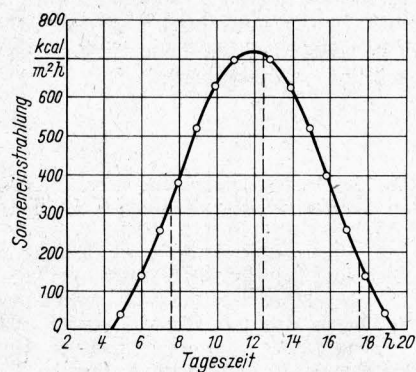


Bild 1. Sonneneinstrahlung auf eine ebene Fläche am 1. Juli [4]. Gesamteinstrahlung 6100 kcal/m² und Tag.

Unter dem Druck der ständig steigenden Löhne mußte eine arbeitsarme Nachtrochnung gefunden werden. Für die westdeutschen Verhältnisse entwickelt Segler das System Braunschweig und Brünnler das System Aulendorf. Diese beiden Nachtrochnungssysteme, die mit Kaltluft arbeiten, sind in der Bundesrepublik am meisten verbreitet; es wird vorzugsweise Gras vom Grünland und vom Feldfutterbau getrocknet.

Im norddeutschen Raum werden dagegen immer wieder Anlagen erstellt, die mit Warmluft arbeiten. Im folgenden soll über Erfahrungen mit diesen Anlagen berichtet werden.

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

Dr.-Ing. Rewert Bussen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode.

Über die Grenzen der Heutrocknung

Wie sehr die Witterung das Gelingen der Heutrocknung beeinflusst, mag man daraus ersehen, daß bei Dauerregen selbst technisch gut ausgestattete Grünfütter-Großtrocknungsanlagen nur unter zu hohen Heizkosten Futterqualitäten erzeugen können, die aber in der Qualität kaum der eines guten Heues gleichkommen. Andererseits können aber Landwirte bei günstigstem Trocknungswetter, geeignetem Pflanzenbestand und fleißigem Einsatz von Heuwerbegegeräten ohne jegliche Trocknungsvorrichtung fast Grünkraftfutterqualitäten gewinnen.

Die Witterung ist die beherrschende, aber nicht beherrschbare Größe. Die Gewinnung von Grünkraftfutter und Qualitätshheu wird dem Landwirt wirtschaftlich immer dann unmöglich sein, wenn Dauerregen oder sehr hohe Feuchte der Außenluft vorherrschen. Bei den folgenden Ausführungen darf diese niederdrückende Tatsache nicht vergessen werden.

Grundlagen der Trocknung, soweit sie für die Vor- und Nachtrochnung von Wichtigkeit sind

Bei der Grünfüttertrochnung handelt es sich um eine thermische Trocknung [3]. Bei dieser Trocknungsart kommt die zur Trocknung auf dem Felde notwendige Wärme hauptsächlich durch die Einstrahlung der Sonne auf die Erde [4]. **Bild 1** zeigt die Wärmemenge, die an einem wolkenlosen Mittsommertag eingestrahlt wird. Es ergibt sich, daß im westlichen Deutschland zwischen 7³⁰ und 12³⁰ Uhr und zwischen 12³⁰ und 17³⁰ Uhr jeweils eine Wärmemenge von etwa 2500 kcal/m² Grundfläche übertragen wird, während in der Zeit von 17³⁰ bis 7³⁰ Uhr die restlichen 1000 kcal/m² übertragen werden. Bei einer Verdunstungswärme von 600 kcal/kg Wasser könnten etwa 4150 g/m² in den ersten fünf Stunden, und die gleiche Menge in den folgenden fünf Stunden verdunstet werden, während über Nacht 1600 g/m² verdunstet könnten.

Bei bedecktem Wetter findet eine geringere Wärmeeinstrahlung statt, und die Wärmeübertragung an das Grüngut geschieht mehr durch Konvektion, d. h., die Luft gibt durch Berührung die Wärme an das Grüngut ab, wodurch die Verdunstung vor sich gehen kann. Bei der künstlichen Nachtrochnung ist die Trocknung fast ausschließlich durch diesen Wärmeaustausch zwischen Luft und Grüngut bedingt.

Wie kommt die Feuchtigkeit des Gutes nun an den Ort der Verdunstung? Die Pflanze schützt sich gegen Verdunstung besonders in den dickeren Teilen, in denen der vegetative Wassertransport vor sich geht. Wird die Pflanze abgeschnitten, so muß die Feuchtigkeit radial aus dem Inneren durch teilweise sehr undurchlässige Häute an die Pflanzenoberfläche wandern, wo sie von der Luft aufgenommen wird. Dieser Weg aus dem Inneren erfordert viel Zeit [5]. Die Zeitspanne wird um so größer, je weiter der Weg bis zur Oberfläche ist, und je trockener die Pflanze ist, da die Kapillaren sich bei der Trocknung zusammenziehen, die Wände sich verhärten und einknicken. Daher ist ein größeres Dampfdruckgefälle erforderlich, um dieses Wasser zum Verdunsten zu bringen, als das Dampfdruckgefälle, das zur Verdunstung des Wassers an der Oberfläche benötigt wird. Ein größeres Dampfdruckgefälle besagt aber, daß die relative Feuchte der Luft erheblich niedriger sein muß, um das Wasser aus dem Inneren zu verdunsten, als die zum Verdunsten des Oberflächenwassers erforderliche relative Feuchte.

Die Sorptionsisothermen in **Bild 2** für verschiedene konstante Lufttemperaturen sind Gleichgewichtslinien zwischen dem Wassergehalt im Grüngut und der relativen Feuchte der Luft,

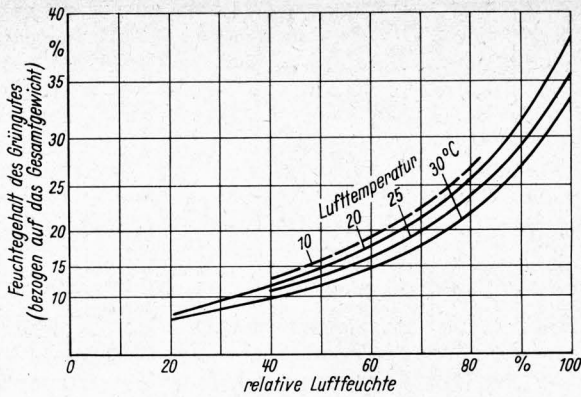


Bild 2. Sorptionsisotherme von Wiesengras nach Segler [6]. Isotherme bei 10°C geschätzt.

unterhalb deren keine Trocknung mehr erfolgen kann. Während ein Wassertropfen an der Luft noch verdunsten kann, wenn die relative Luftfeuchte über 90% und höher liegt, wird die Verdunstung des im Grünkut gebundenen Wassers nur möglich bei niedrigeren Luftfeuchten. Bild 2 zeigt die Sorptionsisothermen für Wiesengras nach Segler [6]. Bei Berichten über die landwirtschaftlichen Trocknungsfragen hat sich eingebürgert, den Feuchtegehalt des Grünkutes in Prozenten des Gesamtgewichtes anzugeben, daher ist dieser in Bild 2 eingetragen. Die Gleichgewichtskurven verschieben sich mit der Temperatur. Die Gleichgewichtskurve für 10°C ist vom Verfasser nach einer Formel von Krischer [3] errechnet worden.

Die Sorptionsisothermen lassen erkennen, daß bei einem Feuchtegehalt des Gutes bis herunter auf etwa 40% eine Außenluft von hoher Feuchte noch trocknend wirkt. Damit ist aber nichts über die Zeit gesagt, die erforderlich ist, um die Feuchtigkeit zu verdunsten. Man ersieht ferner daraus, daß bei einer Lufttemperatur von 10°C und einer Luftfeuchte von 70% ein Feuchtegehalt des Gutes von nur 22% zu erreichen ist. Dies dürfte der Grund sein, daß in Gegenden mit feuchterem Klima manche Schwierigkeiten bei der Nachtrocknung mit Kaltluft auftreten.

Das Vortrocknen auf dem Felde

Erfahrungsgemäß müssen auf dem Felde 9/10 der Wassermengen verdunstet werden und nur 1/10 auf der Nachtrocknungsanlage. Die Vortrocknung auf dem Felde ist also mit weitem Abstand der wichtigste Prozeß, weshalb im folgenden einige Bemerkungen über das Vortrocknen vorausgeschickt werden.

Bild 3 zeigt, welche Wassermengen noch im vorgewelkten Grünkut vorhanden sind. Bei der Trocknung ist zu spüren, ob das Grünkut stark mit Stickstoff getrieben wurde. Ein solches Grünkut hat einen höheren Wassergehalt, wie die Untersuchungen von Th. de Groot zeigen, und bringt eine größere Trocknungsmenge je m² Grundfläche; beides erschwert die Trocknung auf dem Felde. Die höhere Stickstoffgabe bringt allerdings mehr Nährwerte.

Die Schnelligkeit der Vortrocknung auf dem Felde ist abhängig von dem Aufwuchsgewicht je m² Bodenfläche und dem Wassergehalt des Aufwuchses. Wie sehr die Vortrocknung auf dem Felde darüber hinaus durch geeignete Bearbeitung gekürzt werden kann, zeigt Beckhoff in seinem Bericht über Trocknungsverlauf, Masse- und Nährstoffverluste bei verschiedenen Heuwerbeverfahren [7]. Aus diesen Unterlagen ist auf Bild 4 die spezifische Verdunstungsleistung in g Wasser je m² Bodenfläche in Abhängigkeit von vier Bearbeitungsvarianten dargestellt.

Die Versuche zeigen folgendes: Beginnt die Trocknung um 17³⁰ Uhr, so ist in der Nachtperiode zwischen dem gemähten (A, B, C) und geschlegelten (D) Gut in der Trocknungsleistung kaum ein Unterschied, wie Versuch I und V darlegen. Das ist

darauf zurückzuführen, daß bei der geringen Wärmezufuhr des Nachts genügend Zeit vorhanden ist, um aus dem Inneren der Pflanzenteile, die noch einen hohen Feuchtegehalt haben, das Wasser an die Oberfläche zu führen und zu verdunsten. Die geöffneten Pflanzenteile des geschlegelten Gutes, bei denen das Wasser vorzugsweise an der Oberfläche ist, sind bei der Verdunstung in diesem Falle nicht im Vorteil. Vergleicht man die des Nachts erzielte Wasserverdunstung (i. M. zwischen 330 und 480 g/m²) mit der aufgrund der zur Verfügung stehenden Wärmemenge von 1000 kcal und der möglichen Wasserverdunstung von 1600 g/m², so wurde während der Nacht ein Wirkungsgrad von 20 bis 30% erreicht.

Wird morgens gemäht und geschlegelt, so könnten bis 17³⁰ Uhr maximal etwa 6600 g/m² Wasser verdunstet werden. Versuch II (Sonnenschein) zeigt, daß in der obigen Zeit bei den ersten drei Verfahren (Mähen und Wenden) i. M. 930 g/m² und nach dem Schlegeln 1200 g/m² verdunstet sind. Das entspricht einem Wirkungsgrad von etwa 14% bzw. 18%. Da der Feuchtegehalt des Gutes nach dem Schlegeln auf 39% absank, und in der Nacht keine Feuchteaufnahme eintrat, ist daraus zu schließen, daß die freie Wassermenge verdunstet und die Oberfläche des Gutes verkrustet war. Beckhoff zieht daraus den gewiß richtigen Schluß, daß eine nochmalige Quetschung einen größeren Erfolg gebracht hätte.

Versuch III (bei 80% Sonnenschein) zeigt, daß bei den ersten drei Verfahren (Mähen und Wenden) 200 g/m² und nach dem Schlegeln 940 g/m² verdunsteten, also ein Wirkungsgrad von 3% bzw. 14%. Hier kommt das Trocknen von geöffnetem Grünkut voll zur Wirkung, weil nur auf 67% heruntergetrocknet wurde. Stellt die Natur genügend Wärme zur Verfügung, so ist bei hohen Feuchtegehalten des Grünkutes die Trocknungsleistung bei geöffnetem Grünkut etwa 5 mal größer, als bei Grünkut, das gemäht und gewendet wurde. Ist das Grünkut auf 50 bis 60% Feuchtegehalt abgetrocknet, sollte es nochmals gequetscht werden. Der niedere Wirkungsgrad der Wärmeausnutzung bei allen vier Verfahren liegt zum Teil darin begründet, daß von der zugeführten Wärmemenge ein großer Teil verbraucht wird, um die Bodenfläche abzutrocknen und die Schnittwunden der stehengebliebenen Stengel zu verkrusten. Wieneke und Dervedde weisen darauf hin, daß die Trocknung auf dem Felde etwa dreimal schneller verläuft, wenn der Boden mit Plastikfolien abgedeckt wird [8].

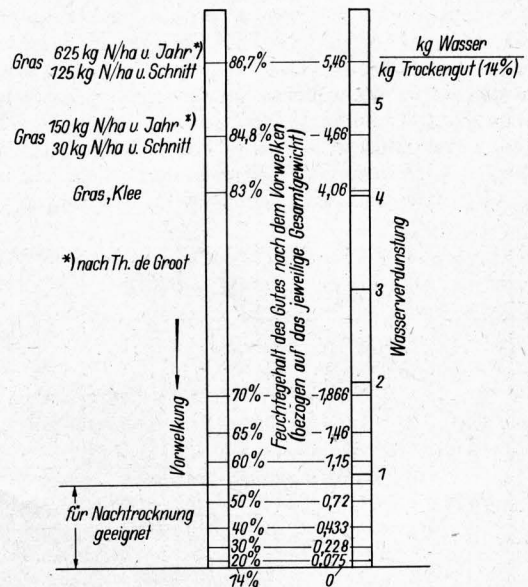
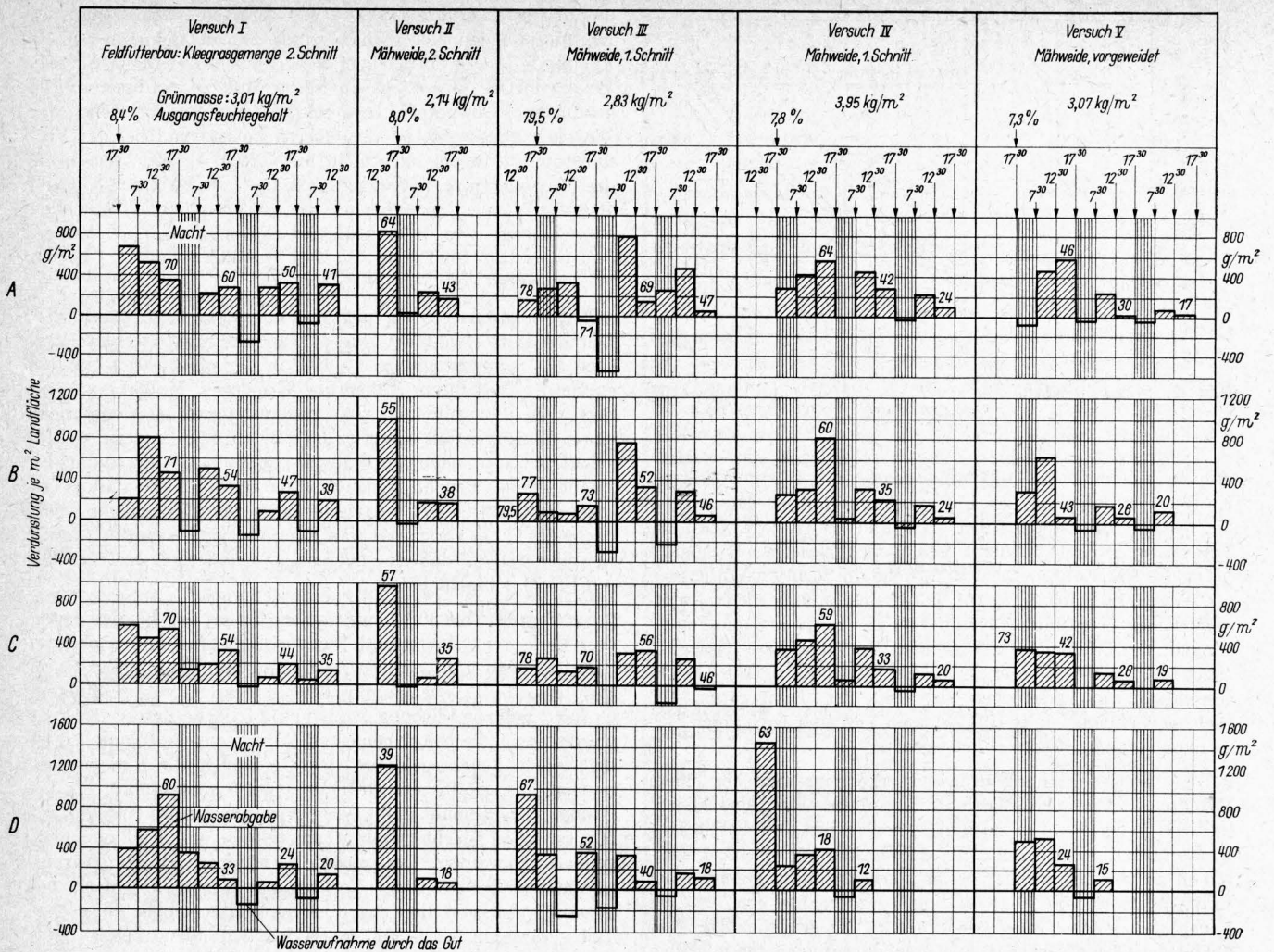


Bild 3. Die bei der Nachtrocknung zu verdunstende Wassermenge zur Erhaltung eines Trockengutes mit 14% Feuchtegehalt in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt des Grünkutes nach der Vorwelkung.

Zahlenwerte für den unteren Teil des Diagrammes:
 Vorwelkfeuchtegehalt des Gutes 50 45 40 35 30 25 20 14%
 Wasserverdunstung 0,72 0,56 0,43 0,32 0,23 0,15 0,07 0,0 kg



Es ist aus Bild 4 nicht abzulesen, aber aus der Abhandlung von Beckhoff zu ersehen, daß das dreimalige Wenden gegenüber dem einmaligen Wenden nur geringen Vorteil bringt. Das mehrmalige Wenden würde großen Vorteil bringen, wenn die Luft die Grüngutmatratze durchströmen würde, da dann die Wärmezufuhr in der ganzen Stärke der Grüngutmatratze und nicht nur an deren Oberfläche erfolgen würde. Die Untersuchungen zeigen, daß dies ein Wunschtraum ist. Erst, wenn das Grüngut unter 40% Feuchtegehalt hat, ist es so sperrig, daß eine gewisse Durchströmung zustande kommt. Dies kann man an der schnelleren Trocknung von mehrmals gewendetem Gut bei niedrigerem Feuchtegehalt erkennen. Beckhoff weist darauf hin, daß in der Praxis die Vortrocknung auf dem Felde in der bisherigen Be-

Bild 4. Spezifische Verdunstungsleistung auf dem Felde in g Wasser, bezogen auf 1 m² Grundfläche; berechnet nach Versuchsergebnissen von Beckhoff [7].

Bearbeitungsart:

A Mähen mit Mähbalken, anschließend täglich einmal Wenden.

B Mähen mit Mähbalken, anschließend täglich dreimal Wenden.

C Mähen mit Mähbalken, anschließend täglich zweimal Wenden, abends auf Schwad ziehen.

D Mähen mit Schlegelfeldhäcksler, anschließend täglich zweimal Wenden.

Zahlen an den Säulen entsprechen dem erreichten Feuchtegehalt des Gutes in Prozenten des Naßgewichtes nach der Verdunstung.

arbeitungsart 100 bis 200 Stunden dauert. Die Vortrocknung auf dem Felde braucht bei Öffnen der Pflanzenteile nur noch 12 bis 30 Stunden in Anspruch zu nehmen.

Je schneller getrocknet wird, um so mehr Nährstoffe bleiben erhalten [9]; **Bild 5** zeigt diese Zusammenhänge. Die Vortrocknung ist deshalb so ausführlich behandelt, weil sie Auskunft darüber gibt, welche Grüngutqualität auf die Nachtrocknungsanlage kommt. Bei langen Vortrocknungszeiten kann nur Heu in der Qualität von Bodenheu zur Nachtrocknung kommen. Dann ist der Unterschied zwischen Warm- und Kaltbelüftung kaum mehr feststellbar, da alle wertvolleren Substanzen bereits ausgebleicht und ausgewaschen sind. Durch das Offenlegen der Pflanzenteile ist eine grundlegende Änderung eingetreten und die Möglichkeit geschaffen, dem Grünkraftfutter nahezu gleichwertiges Grüngut auf die Nachtrocknungsanlage zu bringen.

Bezeichnung der Heuqualität

Durch die Verbesserung des Futterwertes der Gräser, durch die intensivere Düngung und besonders durch das schnellere Vortrocknen auf dem Felde mit nachfolgender schneller Nachtrocknung, sei es mit Warmluft oder Kaltluft, ist eine neue Futterkonserve geschaffen, deren hohe Qualität und große Menge in früheren Jahren nicht erreichbar waren. Diese Futterkonserve

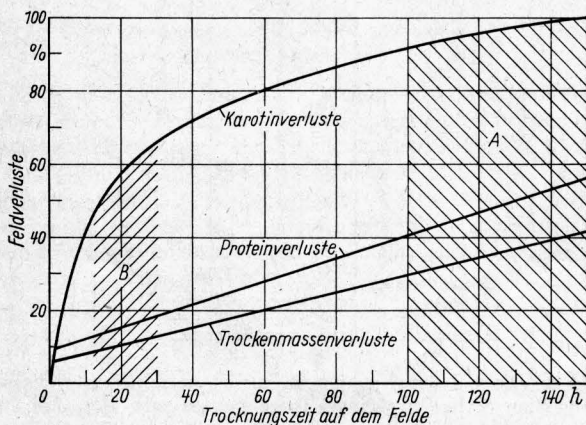


Bild 5. Verluste bei der Trocknung auf dem Felde in Abhängigkeit von der Trocknungszeit.

A Vortrocknungsdauer (100 bis 150 h) bei gemähtem, nicht behandeltem Gut.
B Vortrocknungsdauer (12 bis 30 h) bei geschlegeltem oder nach dem Mähen mit dem Quetschzetter bearbeitetem Gut.

ist bisher bei der Nährwertbestimmung durch die zu hohen Abzüge für Rohfaser aus Heu belastet worden, wodurch sie zu niedrige Stärkewerte ausweist. Der Begriff „Heu“ überspannt einen Bereich von strohartem Gut mit 20% StE bis zu Grünkrafftutter ähnlichem Gut mit 50% StE. Daher ist mittels des Begriffes „Heu“ eine Klassifizierung der neuen Futterkonserve nicht möglich. Zur Kennzeichnung ihrer Qualität fehlt zur Zeit noch ein griffiger Name. Vielleicht kann der Ausdruck „Trockengrün“ dafür gewählt werden.

Beurteilungsmaßstab für die Konservierungsverfahren

Das Ziel der Futterkonservierung ist es, ein schmackhaftes und bekömmliches Futter von höchster Nährstoffkonzentration mit geringem Aufwand und möglichst wenig Verlusten den Tieren vorlegen zu können. Unter den Bestandteilen des Futters, die bei den heute gebräuchlichen Untersuchungsmethoden geprüft werden, reagiert das Karotin am empfindlichsten auf die Güte der Konservierungsart. Daher ist zur Beurteilung der Güte des Verfahrens der Karotingehalt zugrunde gelegt. Die hier besprochenen Verfahren werden beurteilt nach der Güteskala für Karotinwerte, die von der Versuchsanstalt für Grünlandwirtschaft und Futterbau in Aulendorf aufgestellt wurde, **Tafel 1**. Die der Skala zugrunde liegenden Karotinwerte sind in den Monaten Februar bis April ermittelt worden.

Tafel 1. Beurteilung der Heuqualität anhand des Karotingehaltes.

Futterkonserve	Karotingehalt mg/kg Trockensubst.
Bodenheu	8 bis 12
Gerüstheu	18
Unterdachtrocknungsheu	42
Grünkrafftutter	135
Zum Vergleich seien die Werte von Silage angeführt:	
Vorwelsilage	115
Frischsilage	197

Das Nachtrocknen unter Dach

Auf der Nachtrocknungsanlage sind nur 10% des ursprünglichen Gesamtfeuchtegehaltes zu verdunsten. Sie ist also am Erfolg der Trocknung nur gering beteiligt, kann jedoch, wenn sie nicht einwandfrei arbeitet, viel verderben. Geschützt vor dem Einfluß der von unten aufsteigenden Bodenfeuchte und vor dem von oben eindringenden Regen, soll das Grüngut auf der Nachtrocknungsanlage möglichst verlustarm soweit heruntergetrocknet werden, daß beim nachfolgenden Lagern nur noch geringe Verluste auftreten.

Die Nährstoffverluste sind auch bei der Nachtrocknung um so niedriger, je schneller sie vonstatten geht. Bei der Lagerung sind die Nährstoffverluste um so kleiner, je trockener das Gut ist, je weniger Luft durch das Gut während des Lagerns hindurchströmt und je niedriger die Lagertemperatur des Gutes ist. Hochwertiges Grüngut sollte deshalb auf 14% Endfeuchte heruntergetrocknet werden. Dieser niedrige Feuchtegehalt ist aber nur mit vorgewärmter Luft zu erreichen, Bild 2.

Um schnell nachtrocknen zu können, muß das Gut allseitig von der Trocknungsluft umströmt werden. Dazu ist Langgut und Häckselgut am besten geeignet. Jedoch trocknen Niederdruckballen, wie von der Mosel [10] bewiesen hat, auch gut bei Warmlufttrocknung. Über Versuche mit Hochdruckballen und Kaltluft gibt Wellmann [11] an, daß die Anfangsfeuchte möglichst unter 35% liegen sollte; weiter weist er darauf hin, daß Hochdruckballen keine wesentliche Lagerraumersparnis bringen, wie **Tafel 2** zeigt.

Bei sämtlichen Nachtrocknungsverfahren konnte bisher das Problem, die Luftmenge gleichmäßig durch den ganzen Heustapel zu blasen, noch nicht gelöst werden. Dieses Problem läßt sich anscheinend nur auf zwei Wegen lösen: Der Heustapel muß

des öfteren umgesetzt werden, damit zugeklebte Stellen aufgelockert werden und getrocknete, sperrige Teile zwischen die nassen Teile kommen. Da es dafür noch keine Vorrichtung gibt, ist dieser Weg wegen der erforderlichen Handarbeit zu arbeitsaufwendig. Oder aber verwendet man Grüngut in vorbereiteter Form (Würfel oder Wickel), bei der die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stücken so groß sind, daß sie durch mechanische und thermische Vorgänge beim Nachtrocknen nicht verstopft werden können.

Tafel 2. Schüttgewicht von Heu.

Bodengetrocknetes Langheu	60 kg/m ³
Unterdachgetrocknetes Langheu	80 kg/m ³
Unterdachgetrocknete Hochdruckballen	90 kg/m ³
Unterdachgetrocknetes Häckselheu	100 kg/m ³
Unterdachgetrocknetes Häckselheu im Heuturm	118 kg/m ³

Unter den derzeitigen Verhältnissen gilt, daß die Luftführung im Heustapel um so gleichmäßiger ist, je trockener das Gut auf die Anlage kommt, je gleichmäßiger es vorgetrocknet wurde und je größer die Luftmenge ist, die durch den Heustapel geblasen wird. Man kann gelegentlich große, zusammenhängende Kegel und andere Formen im Heustock finden, die überhaupt nicht von der Luft durchströmt worden sind und zu Brandherden in Heubelüftungsanlagen werden können, was besonders in nassen Jahren zu geschehen pflegt. Die Ursache dieser Selbsterhitzung liegt in zu dichter Lagerung, die ihren Ursprung im Aufbringen des Heues haben kann. Ballenstöße dagegen trocknen entlang der Ballenoberfläche gleichmäßiger. Die Ballen bilden ein Haufwerk, durch das die Luft an den Ballengrenzen ungehinderter einströmt als durch Langgut und Häcksel. Daher sind größere Stellen, zu denen keine Luft gelangen kann, seltener.

Die Trocknung ist in bestimmten Grenzen selbstheilend. Bleiben während der Trocknung kleine, feuchtere Nester, so erwärmen sich diese und ermöglichen der vorbeiströmenden Luft, mehr Feuchte aufzunehmen. Diese Erscheinung tritt nur dort auf, wo das Heu infolge größerer Feuchte sich selbst erhitzt. Feldmann [12] gibt an, daß 0,8 kg Heu aufzuwenden sind, um 1 kg Wasser durch Selbsterhitzung zu verdunsten.

Vor- und Nachteile der Warmlüftung

Die Nachteile der Warmluftnachtrocknung sind erheblich größer als meist angenommen wird. Ist schon die gleichmäßige Luftführung durch den Grüngutstapel bei Kaltluft schwierig, so wachsen diese Schwierigkeiten bei Warmluft um so mehr, je höher die Luft vorgewärmt wird. Woher kommt das?

Die Warmluft tritt in das Grüngut ein und sättigt sich auf einer kurzen Wegstrecke mit Feuchtigkeit; dabei sinkt ihre Temperatur laufend ab. War die Warmluft nur wenig vorgewärmt, so mag die Lufttemperatur bei der Sättigung vielleicht soweit abgekühlt sein, daß sie gerade die Grünguttemperatur erreicht. In diesem Falle strömt die gesättigte Luft ohne nennenswerten Stoff- und Wärmeaustausch durch die noch nicht getrocknete Grüngutschicht an die Oberfläche.

Je höher aber die Luft vorgewärmt wird, desto höher liegt ihre Temperatur im gesättigten Zustand über der Guttemperatur. Die mit Wasser gesättigte Luft kühlt sich auf der Wegstrecke durch das noch nicht getrocknete Grüngut weiter ab, wobei eine Rekondensation stattfindet. Das kondensierte Wasser wird von den Pflanzenteilen aufgesogen (wobei wieder Wärme frei wird und eine kurze Verdunstung beginnt); die Pflanzenteile quellen und verengen den freien Strömungsquerschnitt. Was die Pflanzen nicht aufsaugen können, bleibt in Form kleinster Tröpfchen im freien Querschnitt hängen und sorgt für eine weitere Verengung. Bei hoher Luftvorgewärmung wird die Luft größere Wassermengen aufnehmen und, da ihre Sättigungstemperatur höher liegt, auch mehr Wasser im noch nicht getrockneten, kühleren Grüngut wieder absetzen.

Das Ergebnis der Warmlufttrocknung ist, daß an der Warmlufteintrittsseite stets eine gleichmäßig trockene Schicht liegt, deren Stärke von der Temperatur und Menge der zugeführten Luft und dem Feuchtegehalt des Grüngutes abhängig ist. In den Schichten darüber findet ein unbeeinflussbares Fortschreiten der Trocknung statt.

Hierzu ein Zahlenbeispiel aus einem Abnahmeversuch einer Grünguttrocknungsanlage:

- Grüngut: Luzerne
- Anfangsfeuchte: 70%
- Dicke der Grüngutmatratze: 60 cm
- Temperatur der Außenluft: 16°C
- Temperatur der Trocknungsluft: 51°C
- Temperaturerhöhung: 35 grad
- Luftmenge je m² Fläche: 0,35 m³/s und m².

Die Feuchte der Abluft betrug zu Beginn der Trocknung 88%. Nach 130 min Trocknungsdauer war die Feuchte der Abluft auf 57% gesunken, obgleich noch nicht ¼ der abzuführenden Wassermenge verdunstet war. Damit wird eine wirtschaftliche Weitertrocknung unmöglich. Hier kann nur ein Umsetzen der Grüngutmatratze weiterhelfen.

Wie die Warmlufttrocknung in der Grüngutmatratze etwa vor sich geht, zeigt **Bild 6 bis 8**. In Bild 6 ist der Anlieferungszustand dargestellt. Im Grüngut liegen dunkle Flecke, die aus feuchtem, bei den vorangegangenen Arbeitsgängen zusammengedrücktem Grüngut bestehen (im Bild durch engere Strichelung gekennzeichnet). Dieses Material läßt keine Luft hindurchtreten und bleibt während der ganzen Trocknung unangetastet. Bild 7 zeigt dieselbe Stelle: die Trocknung hat begonnen, unten befindet sich eine trockene Schicht. Sie war bis vor kurzem noch gleichmäßig dick, beginnt jetzt aber unregelmäßig zu werden. In dem darüberliegenden nassen Teil ist es zu ungleichmäßig starker Kondensation gekommen, was auf den unterschiedlichen Feuchtegehalt im vorgetrockneten Gut und auf unterschiedliche Dichte zurückzuführen ist. Bild 8 zeigt den Augenblick, in dem die Trocknungszone die Oberfläche erreicht hat. Diese Stellen werden stark über-

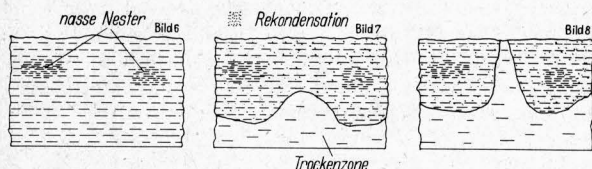


Bild 6 bis 8. Verteilung des Feuchtegehaltes im Grüngut während des Nachtrocknens mit Warmluft.

Bild 6. Vor Beginn der Trocknung. Die engere Strichelung zeigt nasse Nester ohne Luftdurchtritt.

Bild 7. Unten beginnende Trocknungszone; im feuchten Grüngut durch Punktieren die Rekondensation angedeutet.

Bild 8. Die Spitze der Trocknungszone hat die Oberfläche erreicht. Die feuchten Stellen werden auch bei langer Trocknungszeit von der Trocknungsluft kaum angegriffen.

trocknet und werden so locker, daß fast die gesamte Warmluft dort entweicht. Die nassen Stellen werden kaum mehr angegriffen, etwa vergleichbar mit dem Zahlenbeispiel, als die Feuchte der Abluft 57% erreicht hatte.

Ein weiterer Nachteil der Warmbelüftung ist, daß nach Erreichen der Endfeuchte noch weiter getrocknet werden kann und dadurch Wärme vergeudet wird, worauf von der Mosel [10] besonders hinweist. Vor dieser Gefahr schützen Hygrometer, die man über dem Grüngutstapel an mehreren Stellen aufhängt. Sie zeigen an, wann die Feuchte nicht mehr nennenswert fällt.

Nachteilig bei der Warmlufttrocknung ist ferner, daß warmbelüftetes Heu nur etwa 14% Feuchte enthält, während kaltbelüftetes Heu etwa 20% enthält. Bei einer Ausgangsfeuchte von 40% sind aus dem warmbelüfteten Heu 30% Wasser mehr zu verdunsten als aus dem kaltbelüfteten Heu.

Warmbelüftetes Heu in Ballen hat seines geringeren Gewichtes wegen den Nachteil, daß es infolge Unkenntnis seines Wertes nicht so gut bezahlt wird wie kaltbelüftetes Heu.

Zu den Vorteilen der Warmbelüftung gegenüber der Kaltbelüftung ist zu sagen, daß die Verdunstungsleistung bei der Warmbelüftung ein Mehrfaches von der der Kaltbelüftung beträgt. Der Verdunstungsvorgang wird im Gegensatz zur Kaltbelüftung weder durch die Nachtfeuchte, noch durch Regen oder Nebel unterbrochen; auch bei trockenem Wetter wird mehr Feuchte von der Warmluft als von der Kaltluft abgeführt.

Die schnellere Trocknung bedeutet kleinere Trocknungsflächen oder größere Leistungen auf gleicher Fläche. Sie bringt aber gleichzeitig den Vorteil, daß weniger Nährwerte bei der Nachtrocknung verloren gehen, und daß infolge der niederen Endfeuchte die Verluste bei der Lagerung geringer werden. Diese Vorteile sind aber erst dann von ausschlaggebender Bedeutung, wenn es um die Trocknung von hochwertigem Grüngut geht, das dem Kraftfutter nahezu gleichgesetzt werden kann. Hochwertiges Grüngut liegt aber nur dann vor, wenn es in kurzer Zeitspanne auf dem Felde vorgetrocknet wurde, was durch das Öffnen der Pflanzenteile nach dem Schnitt neuerdings möglich ist. Ferner kann Grüngut bei vorgewärmter Luft mit höherer Anfangsfeuchte getrocknet werden, wobei es dann aber zweckmäßigerweise in vorgepreßten Stücken auf die Nachtrocknungsanlage kommen sollte, um Verstopfungen der Luftwege zu vermeiden.

Die gleichmäßige Verteilung der Warmluft

Wie aus dem Vorausgegangenen ersichtlich, müssen besonders bei höherer Luftvorwärmung Wege gefunden werden, um die mit der Temperaturerhöhung zunehmende Ungleichmäßigkeit der Trocknung zu verringern. Das kann dadurch geschehen, daß die Luft möglichst gleichmäßig über die ganze Trocknungsfläche verteilt wird, so daß trotz der Dichteunterschiede des Grüngutes die eingeblasene Luftmenge an jeder Stelle der Fläche nahezu konstant bleibt. Dies ist möglich durch Vorverteilung der Luft beim Austritt aus der Bodenfläche. Der freie Austrittsquerschnitt der Luftmenge wird soweit verringert, daß er zur Drosselung der Luft herangezogen werden kann. Die Strömungsgeschwindigkeit beim Austritt aus dem Boden wird auf 8 bis 10 m/s erhöht. Dadurch wird im unbefüllten Zustande ein Druckverlust von 5 mm WS in Kauf genommen. Die Auströmungsgeschwindigkeit wird im beladenen Zustand geringer, so daß der tatsächliche Druckverlust niedriger liegt.

Da für diese Luftmengenregelung nur kleine, über die ganze Fläche gleichmäßig verteilte Öffnungen erforderlich sind, kann auf Siebböden verzichtet werden. Steinfußböden aus Lochsteinen, wie sie zur Abdeckung von Jaucherinnen gebraucht werden, eignen sich dazu. Bei Nachtrocknungsanlagen mit solchem Belag kann mittels Frontlader oder vom Wagen aus Grüngut aufgebracht werden. So entstand die sogenannte „Trocknungsplatte“, die in der Tenne eingebaut werden kann und in unbenutztem Zustand keinen Raum wegnimmt.

Bild 9 zeigt einen Querschnitt durch eine solche Trocknungsplatte. Die Form der Trocknungsfläche kann ganz beliebig gewählt werden, da die gleichmäßige Luftverteilung nur durch den

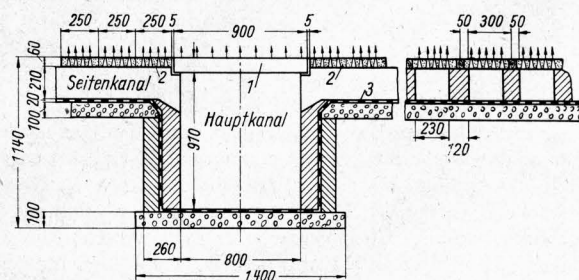


Bild 9. Befahrbare Trocknungsplatte.

Der Hauptkanal ist mit 10 cm dicken, eisenarmierten Platten 1 von 90 cm × 20 cm Fläche belegt. Vom Hauptkanal gehen Seitenkanäle ab, die mit 30 cm × 25 cm × 6 cm eisenarmierten Lochplatten 2 belegt sind. Unter der ganzen Trocknungsplatte ist gegen aufsteigende Bodenfeuchte eine 500er Isolierpappe 3 bzw. eine Kunststoffolie eingebaut. Diese ist auch bei Kaltbelüftungsanlagen zu empfehlen. Der Preis je m² Trocknungsplatte belüftet sich auf 40,— bis 50,— DM.

Austritt aus der Platte selbst und nicht durch den Widerstand der Zuteilungskanäle bestimmt ist. Um eine möglichst gleichmäßige Luftverteilung in den Ausströmöffnungen der Trocknungsplatte zu erhalten, sollten Luftgeschwindigkeiten von 10 m/s im Hauptkanal und 4 m/s in den Seitenkanälen nicht überschritten werden. Die Austrittsgeschwindigkeit in der Trocknungsplatte wähle man zwischen 8 bis 10 m/s.

Die Wärmeabgabe an das Erdreich ist unbedeutend. Erst nach mehrtägigem Betrieb hat sich eine Wärmemenge im Erdreich gespeichert, die sich nach Abstellen der Anlage dadurch bemerkbar macht, daß infolge der Thermik kleine Luftmengen noch tagelang durch den Grüngutstock quellen.

Eine Trocknungsplatte für die Luftvorverteilung läßt sich besonders billig und einfach bauen, wenn das Grüngut auf einem Boden gelagert wird, der von Holzbalken getragen wird. **Bild 10** zeigt die Herrichtung eines solchen Bodens. Der Boden wird von oben mit Hartfaserplatten abgedeckt, wodurch vermieden wird, daß an anderen Stellen, als vorgesehen, Luft austreten kann. Der Boden bildet eine glatte Oberfläche. Soll zunächst nur ein Teil der Trocknungsplatte befüllt werden, so werden über die Lochreihen der freibleibenden Fläche Tesa-Kreppbänder geklebt, wodurch dort der Luftaustritt verhindert wird.

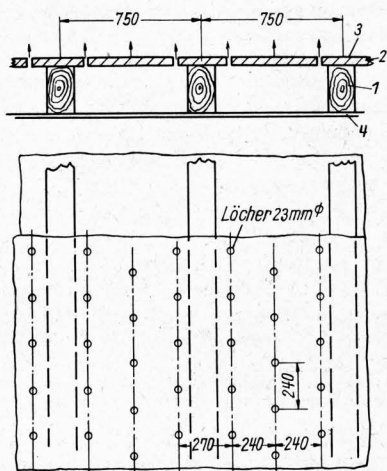


Bild 10. „Trocknungsplatte“ auf einem Holzboden.

Der Boden ist von oben mit Hartfaserplatten bedeckt. Die Löcher in der Trocknungsplatte haben einen Durchmesser von 23 mm. Von unten werden an die Balkenlage Spanplatten von 6 bis 8 mm Dicke geklammert. Der Preis je m² Trocknungsplatte beläuft sich auf 8,— bis 10,— DM.

- 1 Balkenlage
2 Bohlenbelag
3 Hartfaserplatte 3,2 mm
4 Spanplatte 8 mm

Warmluftnachtrochnungsanlagen

Die Warmluftnachtrochnungsanlagen lassen sich nach der Temperaturdifferenz zwischen der Trocknungsluft und der Außenluft in drei Gruppen einteilen:

Gruppe	Temperaturerhöhung grd	Leistungssteigerung gegenüber Kaltluft	Bei den einzelnen Gruppen sind erforderlich:
1	25	ca. 6fach	Umsetzen des Grüngutes Gleiche Luftmenge je Flächeneinheit
2	15	ca. 4fach	Gleiche Luftmenge je Flächeneinheit Kontrolle der Feuchte der Abluft
3	6	ca. 2,5fach	Abschalten der Heizungsquelle, wenn Außenluft unter 60% Feuchte hat Kontrolle der Feuchte der Abluft

Bei den ersten beiden Gruppen 1 und 2 wird, um die Warmluft möglichst sparsam einzusetzen, eine Trocknungsplatte nach Bild 9 oder 10 benötigt. Bei der Gruppe 3 mit einer Lufterwärmung um nur 6 grd sind keine besonderen Vorkehrungen gegenüber der normalen Luftführung der üblichen Anlagen erforderlich.

Gruppe 1 mit etwa 25 grd Temperaturerhöhung

Bei der Gruppe 1 muß, um eine gleichmäßige Trocknung zu gewährleisten, das Trocknungsgut während des Trocknungsprozesses mehrmals umgesetzt werden. Durch das Umsetzen des Grüngutes wird der Wärmebedarf zur Verdunstung von 1 kg Wasser auf 1100 kcal und weniger abgesenkt. Für diese einfache Arbeitsverrichtung ist bis heute noch keine mechanische Lösung gefunden, so daß das Umsetzen von Hand vorgenommen werden muß. Der Betrieb ist also trotz der guten Qualitäten, die solche Anlagen ermöglichen, sehr teuer.

Nachstehend die Analyse eines nachgetrockneten Rotklee, der vormittags gemäht, öfters gewendet, nachmittags eingefahren und über Nacht getrocknet wurde:

Fett	1,9%
Rohprotein	22,5%
Rohfaser	15,1%
N-freie Extraktstoffe	34,8%
verdaul. Rohprotein	16,4%
Stärkeeinheiten	471 g/kg Trockensubst.
Karotin	92,0 mg/kg Trockensubst.

Die Analyse zeigt, daß ein grünkrautfutterähnliches Gut mit einer solchen Anlage gewonnen werden kann. Sie zeigt aber auch die für dieses Trocknungsverfahren kennzeichnende Erscheinung, daß der Karotingehalt meist nicht über 90 mg/kg liegt, während eine Großtrocknungsanlage bei diesem Gut einen Karotingehalt von 200 mg/kg und mehr konservierte hätte. Dies liegt nicht an der Vortrocknung auf dem Felde, die auch bei Großanlagen gelegentlich geübt wird, sondern wahrscheinlich daran, daß Karotin, wenn es längere Zeit einer höheren Temperatur und dem großen Sauerstoffangebot der strömenden Luft ausgesetzt ist, schnell abgebaut wird.

Gruppe 2 mit etwa 15 grd Temperaturerhöhung

Anlagen dieser Art benötigen ebenfalls eine Trocknungsplatte, doch auf das Umsetzen kann verzichtet werden. *Von der Mosel* [10] berichtet über eine solche Trocknungsanlage, **Bild 11**. Diese Anlage besteht aus zwei nebeneinander liegenden Flächen von je 54 m², die mit Niederdruckballen beschickt werden. Die etwa 75 × 40 × 30 cm großen Ballen wiegen im getrockneten Zustand 5 bis 7 kg. Es wird in Schichtstärken von jeweils 1 m getrocknet. Die Ballen werden bis zu 3 m Höhe aufgestapelt. Der Aufwuchs eines ha Weidelandes benötigt einen Raum von etwa 55 m³.

Die nachstehenden Mittelwerte aus einer Reihe von Analysen²⁾ geben über diese Anlage Aufschluß:

Gehalt an:		vor der Trocknung	nach der Trocknung
Rohprotein	%	14,5	14,3
Verdaul. Rohprotein	%	10,6	10,7
Verdaulichkeit des Rohproteins	%	73,0	75,0
Stärkeeinheiten	g/kg Trockensubst.	483,0	453,0
Karotin (1 Probe)	mg/kg Trockensubst.	143,0	151,0

Die Höhe des Karotingehalts weist darauf hin, daß die Vortrocknung auf dem Felde nur 1 bis 2 Tage gedauert haben kann. Beachtenswert gegenüber der Gruppe 1 ist die Höhe des Karotingehaltes; bei der hier angewandten Temperaturerhöhung um 15 grd scheint der Karotingehalt kaum angegriffen zu werden. Die Stärkeeinheiten erleiden während der Trocknung eine Einbuße von 6,2%. Auch hier wird grünkrautfutterähnliches Gut gewonnen. *Von der Mosel* gibt an, daß etwa 6 kWh und 6 Liter Heizöl je dz Trockengut aufzuwenden sind und daß die Betriebs-

²⁾ Die Analysen wurden in Zusammenarbeit mit der Forschungsstelle für Grünland und Futterbau des Landes Nordrhein-Westfalen in Kleve-Kellen ermittelt.

kosten ohne Lohnaufwand sich auf 0,03 DM/kg Stärkeeinheiten belaufen. Es sei noch erwähnt, daß während der Getreideernte die eine der beiden Flächen abgeräumt wird und mit einem Ruppenplan überdeckt wird, um Getreide darauf zu trocknen.

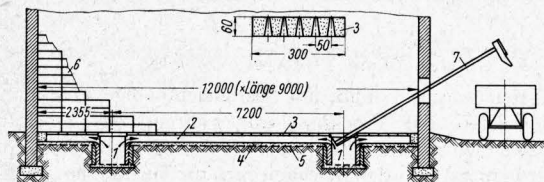


Bild 11. Befahrbare Grünfutter- und Getreidetrocknungsanlage. (Von der Mosel, Gut Rosendahl, Hasselt/Kleve)

Zwei Flächen mit je 54 m²; zur Getreidetrocknung wird die rechte Fläche mit Ruppenplan bedeckt. 60 Mcal/h; 2 × 3,4 m³/s Luft.

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1 Hauptkanäle | 5 Isolierpappe |
| 2 Seitenkanäle | 6 Niederdruckpreßballen |
| 3 Lochsteine 300 × 250 × 60 mm | 750 × 400 × 300 mm |
| 4 Beton | 7 Körnerschnecke |

Gruppe 3 mit etwa 6 grd Temperaturerhöhung

Eine Lufterwärmung in dieser Höhe erfordert keine besonderen Vorkehrungen gegenüber der normalen Luftführung der üblichen Anlagen. Die Erwärmung um 6 grd ergibt etwa eine Sättigungstemperatur der Luft, die gleich oder niedriger als die Grünguttemperatur ist. Über diese Anlagen seien einige Ergebnisse angeführt. *Agna* [14] hat anhand der Arbeit von *Schmitt* [13] den Einfluß der Belüftungsmethode, warm oder kalt, berechnet, **Tafel 3.**

Tafel 3. Einfluß der Heuwerbungsmethoden auf die Verluste an Trockensubstanz und auf die Nährstoffe des getrockneten Gutes.

Art der Heuwerbung	Trockensubstanzverluste		im Trockengut vorhanden:	
	insgesamt %	während der Lagerung %	verdaul. Eiweiß g/kg T. S.	Stärkeeinheiten g/kg T. S.
Bodentrocknung	30,5	10,4	45,5	303
Kaltbelüftung	19,8	13,6	60,0	349
Kaltbelüftung mit Selbsterwärmung	27,7	22,8	61,5	314
Warmbelüftung	12,2	6,3	65,3	418

Mit den in Tafel 3 dargestellten Heuqualitäten konnten je dz warmbelüftetem Heu über 20 Liter Milch mehr als mit kaltbelüftetem Heu erzeugt werden.

Agna berichtet ferner über Untersuchungen in dem trockenen Sommer 1964, der günstig für die Kaltbelüftung war, **Tafel 4.** Gleiche Ausgangsbasis: 14 gleichgelagerte Betriebe, davon 13 mit Kaltbelüftung, ein Betrieb mit Warmbelüftung; gleiche Düngung; erster Schnitt; gleichstarke Heulüfter; Zeitpunkt der Probenahme: Dezember.

Tafel 4. Qualitätsheu durch Warmbelüftung.

Art der Trocknung	Im Trockengut vorhanden:	
	verdauliches Eiweiß g/kg T. S.	Stärkeeinheiten g/kg T. S.
Kaltbelüftung	72	350
Warmbelüftung	126	440

Über dreijährige, sehr gründliche Untersuchungen mit Grün- gut, das nach langanhaltender Vortrocknung auf die Nach- trocknungsanlage kommt, berichtet *Philipsen* [15]. Im Mittel betrug die Vortrocknungsdauer bei warmbelüftetem Heu 6,7 Tage, bei kaltbelüftetem Heu 7,8 Tage. Der Karotingehalt lag bei 5 bis 10 mg/kg. Es handelt sich nach dem Karotinschlüssel

um Heu von Bodenheuqualität. Die relativ hohen Stärkewerte nach **Tafel 5**, die dieses Heu trotzdem noch zum Zeitpunkt der Fütterung enthält, deuten an, welche hohe Qualität dieses Gut beim Mähen gehabt haben muß.

Tafel 5. Bei langer Vortrocknungsdauer verschwindet der Einfluß der Nachtrocknungsart.

Trocknungsart	In der Trockensubstanz des Trockengutes waren vorhanden:	
	verdauliches Eiweiß %	Stärkewert %
Kaltbelüftung	8,3	45,8
Warmbelüftung	9,0	47,3

Je länger die Vortrocknung dauert, desto weniger lohnt sich die Warmbelüftung, d. h., die Unterschiede zwischen warm- und kaltbelüftetem Heu verschwinden bei langer Vorwekldauer.

Warmluftnachtrocknungsanlage für große und ungleichmäßig anfallende Gutsmengen

Unter den vorhandenen Nachtrocknungsanlagen läßt sich die Bauart Schnaitheim³⁾ verhältnismäßig billig herstellen, wie *Kloepfel* [16] berichtet. Diese Bauart wurde in Österreich entwickelt und ist entsprechend dem Sprachgebrauch beim Getreidetrocknen ein Quertrockner (Schachtrockner). Die Trocknungsluft fließt nicht senkrecht durch das Trocknungsgut, sondern parallel zum Erdboden, und die Dicke der durchströmten Grüngutschicht ist stets gleichbleibend, unabhängig von der Grünguthöhe. Dies wird dadurch erreicht, daß der gesamte Luftkanal, der in der Mitte der Nachtrocknungsanlage liegt, mit wachsender Höhe des Grüngutstockes mit hochgezogen wird; er wird daher Ziehkanal genannt.

Außer diesem Vorteil sind aber noch folgende Forderungen zu erfüllen:

1. Bei einer Warmlufttrocknung sollen möglichst wenig Warmluftmengen unausgenutzt verloren gehen, indem sie durch bereits getrocknete Grüngutschichten entweichen.
2. Alle neu aufgebrauchten Grüngutmengen sollten möglichst gleichmäßig durchblasen werden, was gleiche Schichtdicke zur Voraussetzung hat.
3. Möglichst große Mengen vorgetrockneten Grüngutes sollen auf einmal auf die Trocknungsanlage gebracht werden können. Wenn z. B. zum richtigen Schnittzeitpunkt günstige Witterung herrscht, so sollte diese Witterung voll ausgenutzt werden können, ohne auf den Betrieb der Nachtrocknungsanlage Rücksicht nehmen zu brauchen.

Bild 12 zeigt einen Vorschlag, wie diese Forderungen weitgehend erfüllt werden können. Drei Ziehkanäle sind vorgesehen die durch einen Hauptkanal, in den der Lüfter die Warmluft drückt, verbunden sind. Wird der Ziehkanal hochgezogen, so bleibt unter ihm ein rechteckiger Raum, dessen Seitenwände aus Grün- gut bestehen. Seitenwände aus Lang- oder Häckselgut bleiben erfahrungsgemäß ohne jegliche Aussteifung stehen. Man deckt nun bei höher werdendem Grüngutstock die unteren Seitenflächen mit Folien ab, die durch den Winddruck gegen die Seitenflächen gedrückt werden. Daher kann durch die unteren Schichten, die bereits trocken sind, keine Warmluft mehr hindurchströmen; der Weg der Warmluft geht stets durch die obere noch zu trocknende Schicht. Der Hauptkanal ist bekriechbar, so daß man unter jeden Ziehkanal gelangen kann.

Zwischen den einzelnen Stapeln werden gleichzeitig mit dem Ziehkanal Hohlwände hochgezogen, in denen die Abluft emporsteigt. Die Kanaltür ist im Hauptkanal versetzbar, so daß der Hauptkanal nach dem ersten bzw. nach dem ersten und zweiten Ziehkanal durch sie verkürzt werden kann. Auf diese Weise

³⁾ Hersteller: Christian Maier KG, Heidenheim (Brenz)-Schnaitheim.

können kleinere Partien auch dann noch aufgebracht werden, wenn die Anlage schon mehr oder weniger belegt ist. Die Anlage bietet den Vorteil, stets kleinere und auch größere Grüngutmengen aufnehmen zu können. Gerade im Herbst fallen meist kleinere Partien an.

Warmlufterzeugung

Die Wärme spielt in der Veredlungswirtschaft, auf die der landwirtschaftliche Betrieb zusteuert, eine immer bedeutender werdende Rolle. Man sollte daher bei Planungen den Wärmebedarf des gesamten Betriebes berücksichtigen.

Die Wärmebedarfsstellen eines Betriebes liegen meist weit voneinander entfernt: Beheizung der Wohnung und Warmwasser in Wohnung und Stall; Wärme für die Grünfütter- und Getreide-trocknung und, in Zukunft viel stärker in den Vordergrund tretend, Wärme zur Klimatisierung der Rindvieh-, Schweine- und Geflügelställe. Zudem brauchen Betriebe mit kleineren Flächen, die über genügend Arbeitskräfte verfügen, Wärme für Treib- und Vorkeimhäuser, um Sonderkulturen betreiben zu können.

Alle diese Ansprüche können allein von der Warmwasserpumpenheizung erfüllt werden. Sie kann zentral eingerichtet werden und kann billig große Entfernungen zu den einzelnen Bedarfsstellen überbrücken. Da sie völlig automatisch arbeiten muß, wird sie mit Heizöl oder Gas betrieben. Das Wasser im Kreislauf des Heizsystemes wird durch Schutzmittel frost-unempfindlich gemacht, so daß einzelne Heizstränge nicht abgelassen, sondern nur abgeschiebert zu werden brauchen. Für die Klimatisierung der Ställe ist es besonders wichtig, die zugeführte Wärmemenge stufenlos dosieren zu können, was nur über die Warmwasserpumpenheizung erzielbar ist. Warmluft wird bei dieser Heizung über Heizregister erzeugt; durch dieses saugt der Lüfter die Luft für die Trocknung an und drückt sie dann durch das Grüngut.

Die Grünfütter-trocknung erfordert große Wärmemengen wegen des hohen Gehaltes an Wasser, das verdunstet werden muß. Einen Anhalt über die benötigten Wärmemengen gibt folgende Übersicht:

Wärmemenge je Stunde	Trockengutmenge in dz je Tag mit einer Endfeuchte von 14% Anfangsfeuchte		
	30%	40%	50%
40000 kcal/h	34	18	10,5
80000 kcal/h	68	36	21,0

Mit den Wärmemengen soll man sparsam umgehen und lieber mittels einer Auffanganlage und einer kleineren Heizleistung die Trocknung über eine längere Zeitdauer, aber möglichst nicht über 60 Stunden, ausdehnen. Für die Kaltbelüftung werden große Luftmengen und hoher Luftdruck empfohlen. Das gleiche gilt auch für die Warmbelüftung.

Tafel 6. Die festen Kosten und Betriebskosten je dz Trockengut bei Kalt- und Warmbelüftung (ausschl.Heizung).

Anfangsfeuchtegehalt des Gutes		Kaltbelüftung				Warmbelüftung 6 grad			
		35%	40%	45%	50%	35%	40%	45%	50%
Endfeuchtegehalt des Gutes	%	20	20	20	20	14	14	14	14
Wasseraufnahme der Luft	g/m ³	1,2	1,2	1,2	1,2	1,7	1,7	1,7	1,7
Wasserentzug je kg Trockengut	g/kg	231	333	455	600	323	433	563	720
Luftmenge je kg Trockengut	m ³ /kg	192	277	379	500	190	255	331	425
Trockengutmenge je Stunde	kg/h	131	91	66,6	50,5	132,8	99	76	59,5
Trocknungsstunden	h/Tag	14	14	14	14	24	24	24	24
Trocknungsmenge	dz/Tag	18,3	12,8	9,3	7,05	32	23,4	18,2	14,3
Betriebsdauer	Tage/Jahr	30	30	30	30	30	30	30	30
Jährliche Trocknungsmenge	dz/Jahr	550	385	279	211	960	702	546	429
Feste Kosten	DM/Jahr	336,—	336,—	336,—	336,—	336,—	336,—	336,—	336,—
Feste Kosten je dz Trockengut	DM/dz	0,61	0,87	1,20	1,59	0,35	0,48	0,615	0,784
Stromverbrauch je dz*)	kWh/dz	4,9	7,04	9,60	12,70	5,28	7,06	9,24	11,75
Strompreis je dz (1 kWh = 0,10 DM)	DM/dz	0,49	0,704	0,96	1,27	0,53	0,71	0,92	1,18
Gesamtpreis der Trocknung je dz	DM/dz	1,10	1,57	2,16	2,86	0,88	1,19	1,54	1,96

*) Bei Kaltbelüftung 6,4 kWh/h; bei Warmbelüftung 6,4 + 0,6 = 7,0 kWh/h **) ohne Heizungskosten

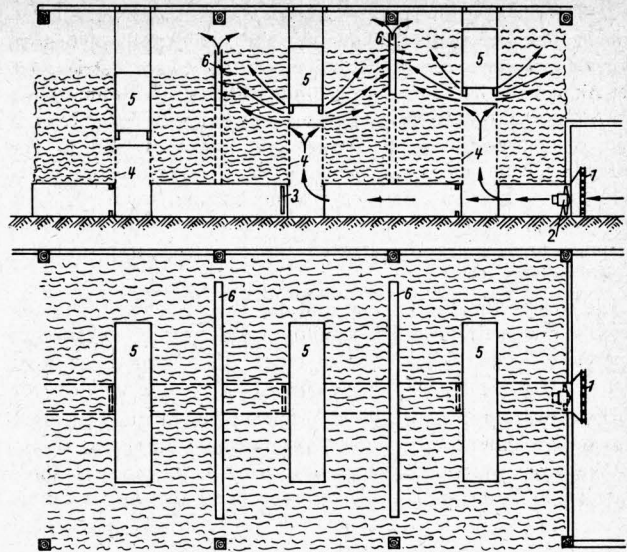


Bild 12. Vorschlag für eine Nachtrocknungsanlage mit Warmbelüftung zum Trocknen großer Grüngutmengen nach dem Prinzip Schnaitheim.

- 1 Heizregister
- 2 Lüfter
- 3 versetzbare Kanaltüre
- 4 Abdeckfolie
- 5 Ziehkanal
- 6 Abluftthohlwand

Kostenvergleich zwischen Warm- und Kaltbelüftung

Lohnt sich der zusätzliche Aufwand für eine Warmbelüftungsanlage? Zur Beantwortung dieser Frage wird eine normale Nachtrocknungsanlage, die kalt und warm belüftet werden kann, zugrunde gelegt. Aus den Kosten für die zusätzlichen Warmbelüftungsapparate und die Betriebskosten kalt und warm ergibt sich der Mehrpreis je dz warmbelüfteten Heues gegenüber kaltbelüftetem Heu.

Daten der Nachtrocknungsanlage:

Trocknungsfläche 80 m²
 Lüfter 7 m³/s
 Gesamtdruckdifferenz 50 mm WS
 Luftmenge 25200 m³/h
 bezogene Luftmenge 0,088 m³/s und m²
 Bei Warmluftbetrieb beträgt die Lufterwärmung 6 grad und die Nutzwärmemenge 46800 kcal/h.

Preise:
 Flächenherrichtung usw. 10,— DM/m²
 Lüfter 30,— DM/m²
 Sonstiges 2,— DM/m²
 Summe: 42,— DM/m²

Anlagekosten:
 80 m² × 42,— DM/m² = 3360,— DM
 Belastung je Jahr:
 20jährige Abschreibung
 Zinsen 6%
 Zins und Tilgung 8,72%
 Reparatur 1,28%
 Festkosten je Jahr 10% oder 336,— DM/Jahr

In **Tafel 6** wird für vorgetrocknetes Grün­gut mit verschiedenen hohem Feuchtegehalt (35%, 40%, 45%, 50%) die jährliche Trockengutmenge ermittelt, bei einer jährlichen Betriebszeit der Anlage von 30 Tagen, wie es im norddeutschen Raum üblich ist. Aus der jährlichen Trockengutmenge werden die festen Kosten und Betriebskosten je dz Trockengut ermittelt und in der untersten Zeile als Gesamtpreis je dz Trockengut bei Kaltbelüftung angegeben. Bei der Warmbelüftung, wenn die Luft um 6 grd erwärmt wird, sind in dem errechneten Trockengutpreis noch nicht die Kosten für das Heizgerät und das Heizöl selbst enthalten.

Die Kosten für die Heizung und das Heizöl richten sich nach der Feuerungsart. Die Erwärmung kann mittels elektrischer Energie erfolgen, sie ist aber zu teuer. Als Wärmeträger wird hier das Heizöl mit einem Preis von 0,12 DM/l zugrunde gelegt.

Die Erwärmung kann direkt erfolgen, indem die Feuergase mit der Trocknungsluft gemischt werden und durch das Grün­gut geblasen werden: Feuergas-Luftgemisch-Heizung. In ihrer einfachsten Form ist sie zwar verboten, wird aber in der Praxis

des öfteren angetroffen. Zur Erwärmung der Luft wird der Druckzerstäuber-Ölbrenner der Zentralheizung direkt vor den Lüfter gestellt. Es gibt aber brauchbare Feuergas-Luftgemisch-Heizer zu kaufen. Sie sind bei diesem Vergleich zugrundegelegt. Sie haben einen hohen Wirkungsgrad von etwa 95%, aber eine kurze Lebensdauer.

Die Erwärmung kann indirekt erfolgen, indem die Feuergase ihre Wärme an die Umhüllungswände abgeben, auf deren Außenseite Luft oder Wasser vorbeiströmt und die Wärme aufnimmt. Die Feuergase verlassen die Anlage in diesem Falle über einen Schornstein. Im ersten Falle erfolgt die Erwärmung der Luft mittels eines Warmluft­heizers. Der Wirkungsgrad liegt bei 80%. Die Lebensdauer einer solchen Anlage kann mit 15 Jahren angegeben werden.

Im anderen Falle wird das Wasser im Zentralheizungskessel erwärmt und mittels Heizungspumpe (Warmwasserpumpenheizung) durch ein Heizregister gefördert, das in der Luftleitung vor oder hinter dem Lüfter eingebaut ist. Die Vorteile dieses Verfahrens sind im vorausgegangenen Abschnitt aufgeführt

Tafel 7. Heizölbedarf und -kosten je dz Trockengut für drei verschiedene Heizgeräte.

Heizungsart	Nettowärmebedarf kcal/h	Wirkungsgrad %	Bruttowärmebedarf kcal/h	Heizölbedarf je Stunde l/h	Heizölbedarf in l/dz Trockengut				Heizölkosten in DM/dz Trockengut			
					Ausgangsfeuchtegehalt				Ausgangsfeuchtegehalt			
					35%	40%	45%	50%	35%	40%	45%	50%
Feuergasluftgemisch	46800	95	49300	6	4,53	6,06	7,93	10,10	0,543	0,727	0,950	1,210
Warmluft­heizer	46800	80	58500	7	5,28	6,95	9,20	11,75	0,634	0,835	1,105	1,410
Warmwasserpumpen­hgz.	46800	70	66800	8	6,04	7,90	10,55	13,45	0,724	0,950	1,265	1,615

Tafel 8. Kapitalaufwand für die Heizgeräte.

Heizungsart	Feuergasluftgemisch DM	Warmluft­erhitzer DM	Warmwasserpumpen­hgz. DM
Ofen- bzw. Heizregister	2500,—	2800,—	1300,—
Rohrleitungen, Isolierungen	—	700,—	900,—
Heizraum, Kamin	—	2300,—	—
Neuer Warmwasserkessel	—	—	1800,—
Pumpe, Ventile, Membran-Druckausgleichgefäß	—	—	600,—
	2500,—	5800,—	4600,—

worden. Der Wirkungsgrad einer solchen Anlage einschließlich der Leitungsverluste in der Warmwasserzuführung zum Heizregister liegt bei 70%. Die Lebensdauer einer solchen Anlage kann mit 25 Jahren angegeben werden.

Unter diesen Annahmen sind die in **Tafel 7 bis 9** aufgestellten Heizmittel- und Festkosten für die Heizung je dz Trockengut in Abhängigkeit von dem Feuchtegehalt des vorgetrockneten Grün­gutes errechnet. In **Tafel 10** sind die sich aus **Tafel 6, 7 und 9** ergebenden Gesamtkosten je dz Trockengut bei Kalt- und Warmbelüftung für die drei Beheizungsarten zusammengestellt und in **Bild 13** übersichtlich dargestellt. Es zeigt sich, daß sich bei Trocknung von Grün­gut mit hohem Feuchtegehalt die Relation der Trocknungskosten zwischen der Warm- und Kaltbelüftung zugunsten der Warmbelüftung bessert.

Tafel 11 zeigt, wieviel teurer das warmbelüftete gegenüber dem kaltbelüfteten Heu wird, und wie diese Mehrkosten durch

Tafel 9. Festkosten der Heizung je dz Trockengut für drei verschiedene Heizgeräte.

Heizungsart	Kapitalaufwand DM	Abschreibung in Jahren	Zins und Tilgung %	Reparatur %	Jährliche Ausgabe %	Festkosten der Heizung DM/Jahr	Festkosten in DM/dz Trockengut Ausgangsfeuchte			
							35%	40%	45%	50%
Feuergasluftgemisch	2500,—	7	17,9	1,6	19,5	487,—	0,507	0,693	0,889	1,130
Warmluft­heizer	5800,—	15	10,3	1,2	11,5	666,—	0,695	0,950	1,220	1,555
Warmwasserpumpen­hgz.	4600,—	25	7,83	0,67	8,5	390,—	0,406	0,555	0,713	0,908

Tafel 10. Vergleich der Gesamtkosten in dz Trockengut bei Kalt- und Warmbelüftung für die verschiedenen Beheizungsarten.

Heizungsart	Gesamtkosten in DM/dz Trockengut Ausgangsfeuchtegehalt des Gutes			
	35%	40%	45%	50%
Kaltbelüftung	1,10	1,57	2,16	2,86
Feuergasluftgemisch	1,93	2,61	3,38	4,30
Warmluft­heizer	2,21	2,98	3,87	4,92
Warmwasserpumpen­hgz.	2,01	2,70	3,52	4,48

einen höheren Gehalt des warmbelüfteten Heues an Stärke­einheiten ausgeglichen wird. Ein Mehr an Stärke­einheiten von 10% deckt bereits die Mehrkosten der Warmluft­trocknung. Durch schnellere Nachtrocknung auf einen niedrigeren Feuchtegehalt von 14%, der nur mittels Warmluft­trocknung erreichbar ist, wird das wertvolle Grün­gut vor größeren Nährstoffverlusten bei der Trocknung und Lagerung bewahrt. Besonders entscheidend aber ist, daß erst Heu mit Stärke­einheiten über 500 g/kg bei der Zusammenstellung einer preiswerten Futterration wirklich interessant wird.

Tafel 11. Mehrkosten für einen dz warmbelüftetes Heu gegenüber einem dz kaltbelüftetem Heu und Deckung dieser Kosten durch einen Mindestmehrgewinn an Stärkeeinheiten des warmbelüfteten Heues gegenüber dem kaltbelüfteten Heu bei einem Preis von 0,40 DM/kStE.

Anfangsfeuchtegehalt des Gutes	Mehrkosten in DM/dz Trockengut				Mindestmehrgewinn an Stärkeeinheiten in g/kg Trockensubstanz			
	35%	40%	45%	50%	35%	40%	45%	50%
Feuergasgemisch	0,83	1,04	1,22	1,44	20,8	26,0	30,5	36,0
Warmluft-erhitzer	1,11	1,41	1,71	2,06	27,8	35,4	42,7	51,5
Warmwasserpumpenhzg.	0,91	1,13	1,36	1,62	22,8	28,3	34,0	40,3

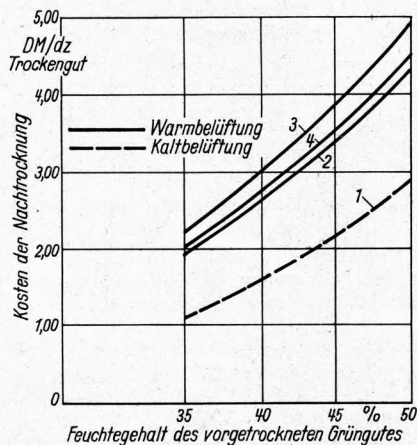


Bild 13. Vergleich der Nachtrocknungskosten zwischen warm- und kaltbelüftetem Heu.

	Heizungsart	Endfeuchtegehalt
1	Kaltbelüftung	20%
2	Warmbelüftung Feuergasluftgemisch	14%
3	Warmbelüftung Warmlufterhitzer	14%
4	Warmbelüftung Warmwasserpumpenheizung	14%

Zusammenfassung

Trotz aller Hilfsmittel ist eine wirtschaftliche Grünguttrocknung bei regnerischer Witterung unmöglich. Unter dem Wetterrisiko leidet am schlimmsten die Grünguternte. Die Grundlagen der Trocknung, soweit sie die Vortrocknung des Grüngutes auf dem Felde und dessen Nachtrocknung betreffen, werden behandelt. Anhand der Untersuchungen der Forschungsstelle für Grünland und Futterbau des Landes Nordrhein-Westfalen [7] werden die Möglichkeiten des Vortrocknens, das über das Gelingen des nachfolgenden Nachtrocknens entscheidet, gezeigt. Durch das Verfahren der Offenlegung der Grüngutteile (Schlegeln, Quetschen) kann die Trocknungsdauer um die Hälfte verkürzt werden, wodurch die Verluste gegenüber den bisherigen Arbeitsverfahren erheblich vermindert werden.

Dank der neuen technischen Möglichkeiten beim Vor- und Nachtrocknen wird eine Futtermittelkonserve geschaffen, die einen dem Kraftfutter ähnlichen Charakter hat, und nicht mit „Heu“ bezeichnet werden kann. Als Beurteilungsmaßstab für die Güte des Trocknungsverfahrens wird die Höhe des Karotingehaltes zugrunde gelegt, da er am empfindlichsten auf die Trocknungsart reagiert. Die Vorteile der Warmlufttrocknung liegen in der größeren Leistung, in der völligen Unabhängigkeit von der Witterung von dem Augenblick ab, von dem das Grüngut auf der Trocknungsanlage liegt, in der niederen Endfeuchte und in den geringeren Nährstoffverlusten beim Trocknen und Lagern.

Bei der Nachtrocknung lassen sich gute Ergebnisse mit Langgut, Häckselgut und Niederdruckballen erzielen. Die Trocknung in kleinerer Preßlingform hat den Vorteil, daß entlang

den Berührungsflächen Luftkanäle von so großen Querschnitten bleiben, daß sie durch mechanische und thermische Veränderungen des Gutes während der Nachtrocknung nicht verstopft werden.

Bei der Nachtrocknung von Grüngut in loser Form ist es sehr schwierig, die Luftmenge gleichmäßig durch den Grüngutstapel zu blasen. Je höher die Luftvorwärmung, desto größer die Gefahr einer ungleichmäßigen Trocknung. Daher benötigt höhere Luftvorwärmung eine gleichmäßige Luftverteilung je Flächeneinheit, wozu eine „Trocknungsplatte“ erforderlich ist.

Die Warmluftnachtrocknungsanlagen werden eingeteilt nach der Höhe der Luftvorwärmung. Anlagen mit 25 grd Temperaturerhöhung erbringen gute Qualitäten, aber das Grüngut muß umgesetzt werden. Da dies zur Zeit noch nicht maschinell erfolgen kann, muß es von Hand geschehen und ist sehr teuer. Bei Anlagen mit 15 grd Temperaturerhöhung kann auf das Umsetzen verzichtet werden. Die Luft wird, wie bei Gruppe 1, gleichmäßig mittels einer Trocknungsplatte verteilt. Für Anlagen mit 6 grd Temperaturerhöhung können normale Kaltbelüftungsanlagen eingesetzt werden.

Auf die mögliche Ausnutzung der Anlagen für die Getreidetrocknung wird hingewiesen.

Die Mehrkosten der Warmlufttrocknung werden gegenüber der Kaltlufttrocknung durch die erzielbaren höheren Nährwerte im Trockengut ausgeglichen, sofern das zur Trocknung kommende Grüngut hochwertig genug ist, und die Vor- und Nachtrocknungsdauer kurz gehalten werden kann.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- *Tiemann, A.*: Der Zwischenfruchtbau. Arb. d. Reichsnährstandes Bd. 9, 1940.
- Kirsch, W.*: Heuwerbung in 15 Stunden. Dt. landw. Presse 71 (1948) Nr. 18, S. 3.
- *Krischer, O.*: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verl. 1963.
- *Raiss, W.*: Rietschels Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik. 14. Aufl. Berlin: Springer-Verl. 1963.
- *Maltry, W. und E. Pötke*: Landwirtschaftliche Trocknungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik. 1962.
- Segler, G.*: Fortschritte in der Heubelüftungstechnik. Landtechn. 13 (1958) H. 19, S. 590/95.
- *Beckhoff, J.*: Trocknungsverlauf, Masse- und Nährstoffverluste bei verschiedenen Heuwerkungsverfahren. Forsch. u. Beratung, Reihe C, Heft 10. Hiltrup/Westf.: Landwirtschafts-Verl. 1965. 46 S.
- Wieneke, F. und W. Dervedde*: Entwicklung und Forschung auf dem Gebiet des Quetschens und Knickens von Halmgut. Grndl. Landtechn. 15 (1965) Nr. 3, S. 69.
- Ars Special Report: High Quality Hay. Ars 22—52, US Dep. of Agr.
- Mosel, B. von der*: Praktische Erfahrungen mit der Warmbelüftung von Heu. Mitt. Dt. Landw.-Ges. 79 (1964) H. 24, S. 899/901.
- Wellmann*: Mechanisierte Heuernte. Mitt. Dt. Landw.-Ges. 79 (1964) H. 16, S. 543/45.
- Feldmann, F.*: Trocknung und Belüftung landwirtschaftlicher Produkte. Landtechn. 11 (1956) Nr. 2, 30 ff.
- *Schmitt, F.*: Vergleichende Untersuchungen über die Verdaulichkeit von belüftetem und bodengetrocknetem Heu. Arb. dt. Tierzucht, Heft 41. Hiltrup. 1958.
- Agana, M. U.*: Unterdachtrocknung ermöglicht Gewinnung von Qualitätsheu. Ldw. Blatt Weser/Ems 111 (1964) Nr. 23, S. 1363/65.
- Philipsen, P. J. J.*: Heubelüftung mit Warm- oder Kaltluft. Das wirtschaftseigene Futter 11 (1965) H. 3.
- *Kloppel, R.*: Die Warmlufttrocknung von Heu. Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft. Schloß Breddeneck ü. Preetz/Holst. 1963/64.