

14

**Aus der Bayer. Arbeitsgemeinschaft
Tierernährung e. V.
Freising-Weihenstephan**

**Unterdachtrocknung von Heu
mit vorgewärmter Luft**

Sonderdruck aus „Das wirtschaftseigene Futter“ - 16, Heft 1/1970

Unterdachtrocknung von Heu mit vorgewärmter Luft

Als Hilfsmittel für die landwirtschaftliche Beratung erarbeitet vom Arbeitsausschuß „Futterkonservierung“ unter Mitwirkung folgender Herren:

BAUER, D., RD, Dr., Amt für angew. landw. Betriebswirtschaft, München

BURGSTALLER, G., Dr., Institut für Tierernährung, Weihenstephan

DEURINGER, F., RD, Bayer. Staatsministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München

GFRÖRER, F., ORR, Dr., Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub

HOFMANN, P., RD, Dr., Bayer. Staatsministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München

RUDER, L., Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub

VOIGTLÄNDER, G., Prof., Dr., Institut für Grünlandlehre, Weihenstephan

ZEISIG, H.-D., Dipl.-Ing., Bayer. Landesanstalt für Landtechnik, Weihenstephan

Verstärkte Düngung und früher Schnittzeitpunkt erhöhen die Leistungsfähigkeit der Grünlandflächen. Sie erschweren aber auch gleichzeitig den Trocknungsablauf. Hinzu kommt die erhöhte technische Schlagkraft der Betriebe, die eine raschere Einfahrfolge gegenüber früher erlaubt.

Bei der Unterdachtrocknung mit Kaltluft wird die Selbsterwärmung des Futterstapels zur Endtrocknung zu Hilfe genommen. Dabei sind Nährstoffverluste unvermeidlich. Um Stromkosten zu sparen, wird in der Praxis die Belüftung vielfach vorzeitig unterbrochen. Dementsprechend erhöhen sich die durch Selbsterwärmung entstehenden, aber nicht genau erfaßbaren Verluste.

In feuchten Klimazonen (z. B. wöchentlich bis 80 Belüftungstunden unter 85% rel. Luftfeuchte) bietet die Unterdachtrocknung von Heu mit Kaltluft keine ausreichende Sicherheit für den Trocknungserfolg. Die Vorwärmung der Luft bringt in diesen Gebieten eine zusätzliche Hilfe und Sicherheit des Verfahrens. Dabei wird das zu trocknende Gut mit 35 bis 40% Wassergehalt eingefahren.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich nur auf die Vorwärmung der Luft bei der normalen Unterdachtrocknung, da beim sog. „Welkheu-Verfahren“ völlig andere Vorbedingungen beachtet werden müssen.

Physikalisch-technische Grundlagen

Das Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft ist von Temperatur und relativer Feuchte abhängig. Erwärmung der Trocknungsluft, die durch künstliche Heizquellen erfolgt, bedingt daher ein höheres Wasseraufnahmevermögen. In *Übersicht 1* sind diese Zusammenhänge dargestellt.

Übersicht 1: Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft bei unterschiedlicher Erwärmung der Außenluft und einer relativen Feuchte der Abluft von 90% (Barometerstand = 750 mm Hg)

Außenluftzustand		Wasseraufnahmevermögen in g je m ³ Luft		
Temperatur ° C	rel. Luftf. %	ohne Erwärmung	Erwärmung um	
			5 ° C	10 ° C
10	90	0,0	1,4	2,9
	70	0,9	2,2	3,6
15	90	0,0	1,5	3,0
	70	1,1	2,5	4,0
	50	2,3	3,5	4,8
20	90	0,0	1,6	3,2
	70	1,2	2,8	4,4
	50	2,6	4,0	5,3
25	90	0,0	1,7	3,3
	70	1,4	3,1	4,7
	50	2,8	4,4	5,9

Zur Ermittlung des Wasseraufnahmevermögens von 1 m³ Luft wurde davon ausgegangen, daß der Mittelwert der Abluftfeuchte für den gesamten Trocknungsprozeß 90% beträgt. Diese vereinfachte Annahme ist berechtigt, obwohl zu Beginn der Trocknung je nach Stapelhöhe eventuell höhere Werte vorkommen können. Andererseits treten aber auch Luftverluste auf, die durch ungleichmäßige Einlagerung bedingt sind. Weiterhin wurde die geringfügige Wärmemenge, die durch Veratmung frei wird, nicht berücksichtigt.

In Übersicht 2 sind in Abhängigkeit von der Anlagegröße technische Angaben zum Lüfter und zum Brutto-Wärmebedarf gemacht. Dieser Wärmebedarf ist mit einem 80%igen Wirkungsgrad des Lufterhitzers (indirekte Lufterhitzung) berechnet, wobei die in Übersicht 1 angegebenen Außenluftzustände zugrunde gelegt wurden.

Übersicht 2: Luftmenge, Motornennleistung und Wärmebedarf bei einer Einfahrfeuchte bis 40% und unterschiedlicher Anlagegröße

Grundfl. d. Anlage m ²	erforderl. Luftmenge m ³ /sec.	Motor- Nennlei- stung ca. KW	Gesamt- druck ca. mm WS	Wärmebedarf in kcal/h	
				Erwärmung der Luft um 5° C	10° C
40	4,0	3,0	55	25 800	50 200
75	7,5	5,5	55	48 400	95 000
100	10,0	7,5	55	64 500	127 000

Die Übersicht 2 bezieht sich teilweise auf Angaben in der AID-Schrift Nr. 156. Dabei wurde davon ausgegangen, daß intensive Düngung und frühzeitiger Schnitt

ein höheres Raumgewicht bedingen und demzufolge auch eine höhere spezifische Luftmenge von $0,1 \text{ m}^3/\text{sec m}^2$ erfordern. Die erforderliche Motornennleistung wurde aus DLG-Prüfberichten entnommen. Die angegebenen Nennleistungen können nur als Anhaltspunkte dienen, da je nach Kennlinie des Gebläses und Gesamtwirkungsgrad die Motornennleistungen Abweichungen aufweisen.

Der angegebene Gesamtdruck ist erforderlich, um auch bei den in Übersicht 3 verwendeten relativ hohen Raumgewichten eine ausreichende Durchlüftung des Heustockes zu gewährleisten.

In den letzten beiden Spalten der Übersicht 2 ist der Brutto-Wärmebedarf als Mittelwert angegeben. Bedingt durch das verschiedene spezifische Gewicht der Luft infolge unterschiedlichen Feuchtegehaltes der Außenluft werden nach den Angaben in Übersicht 1 z. B. bei $25\ 800 \text{ kcal/h}$ zwischen $25\ 300$ und $26\ 300 \text{ kcal/h}$ benötigt. Die knapp 20%ige Abweichung kann jedoch unberücksichtigt bleiben. Zur Ermittlung des Ölverbrauches ist mit rd. $8\ 400 \text{ kcal/l}$ Heizöl entsprechend $10\ 200 \text{ kcal/kg}$ Heizöl zu rechnen.

Die spezifische Luftmenge ($= \text{m}^3/\text{sec m}^2$) ist unabhängig von der Anlagegröße. Die Trocknungszeit wird bei gleichem Feuchtegehalt und gleicher Stapelhöhe des zu trocknenden Gutes von dessen Raumgewicht direkt beeinflusst. Die Angaben in der Literatur über Raumgewichte von Heu weichen sehr stark voneinander ab und sind auch nicht immer vergleichbar. Die eingangs erfolgten Darlegungen zu einer intensiven Grünlandnutzung bedingen eine höhere Lagerungsdichte und damit auch höhere Raumgewichte des getrockneten Gutes. Für die Angaben in Übersicht 3 wurden daher drei Unterteilungen vorgenommen, wobei 110 kg/m^3 für Wiesenheu 1. Schnitt, 140 kg/m^3 für Wiesenheu 2. Schnitt und 160 kg/m^3 für sehr blattreiches, junges Mähweideheu gelten.

Bei der Kaltbelüftung ist es wie bei der Bodentrocknung praktisch nicht möglich, unter einer Endfeuchte von 20% zu kommen. Die Folge davon ist, daß sich das Heu im Stock nach Beendigung der normalen Kaltbelüftung erwärmt und zu „schwitzen“ beginnt. Zur Vermeidung extremer Temperaturerhöhungen und damit verbundener Nährstoffverluste muß nachbelüftet werden, da das Heu erst mit 14% Feuchtegehalt lagerfähig ist.

Bei Luftvorwärmung um 5 bzw. 10°C ist eine Endfeuchte von 14% in einem Durchgang zu erreichen. Die Verluste sind deshalb bei Luftvorwärmung geringer. Um die Vergleichsbasis von Kaltbelüftung zur Belüftung mit Vorwärmung zu erhalten, ist in Übersicht 3 bei den Spalten „Erwärmung“ auch die Trocknungszeit für eine Endfeuchte von 20% angegeben, die für einen Trocknungszeitvergleich zugrunde gelegt werden muß. Die entsprechenden Werte für 14% Feuchtegehalt können für die Trocknung mit Kaltluft nicht ermittelt werden.

Zur Errechnung der Zeitangaben in Übersicht 3 wurde für die Kaltbelüftung eine mittlere Wasseraufnahme von 1 g/m^3 Luft zugrunde gelegt. Dieser gebräuchliche Wert entspricht nach Übersicht 1 etwa einem mittleren Außenluftzustand von 15°C und 70% relativer Luftfeuchte. Bezogen auf diesen Zustand, beträgt das Wasseraufnahmevermögen bei Vorwärmung um 5°C nach Übersicht 1 dann etwa $2,5 \text{ g/m}^3$ und bei Vorwärmung um 10°C etwa 4 g/m^3 . Diese Ausgangswerte liegen den Angaben in Übersicht 3 zugrunde.

Übersicht 3: Mittlere Trocknungszeit in Stunden bei einer Einfahrfeuchte von 40% und 2 m Stapelhöhe¹⁾ des lagerfähigen Heues (Außenluftzustand: 15° C, 70% r. L.)

Gewicht d. lagerfähig. Heues kg/m ³	Mittlere Trocknungszeit in Stunden				
	Kaltbelüftung Endfeuchte	Erwärmung um 5° C		Erwärmung um 10° C	
		20%	20%	14%	20%
110	208	83	105	52	66
140	265	106	134	66	84
160	302	121	153	76	96

¹⁾ bei 1 m Stapelhöhe etwa halbe Trocknungszeit

Um den Einfluß des Außenluftzustandes auf die Trocknungszeit zu verdeutlichen, ist in Übersicht 4 zusätzlich die Trocknungszeit für zwei extreme Außenluftzustände zusammengestellt.

Übersicht 4: Mittlere Trocknungszeiten bei einer Einfahrfeuchte von 40% und 2 m Stapelhöhe des lagerfähigen Heues (110 kg/m³) für zwei verschiedene Außenluftzustände

Außenluft- zustand	Mittlere Trocknungszeit in Stunden				
	Kaltbelüftung Endfeuchte	Erwärmung um 5° C		Erwärmung um 10° C	
		20%	20%	14%	20%
10° C, 80% r. L.	(378)	111	(141)	65	82
20° C, 50% r. L.	80	52	66	39	50

Bei einem Außenluftzustand von 10° C und 80% relativer Luftfeuchte kann mit der Kaltbelüftung nur eine Endfeuchte von ca. 35% erreicht werden. Die angegebene Trocknungszeit von 378 Stunden ist daher nur ein theoretischer Wert. Ebenso ist beim gleichen Außenluftzustand und einer Vorwärmung um 5° C nur eine Endfeuchte von ca. 16% zu erreichen.

Der Unterdachtrocknung mit vorgewärmter Luft wird des öfteren die Gefahr der Übertrocknung nachgesagt. Dies könnte zutreffen, wenn hohe Temperaturen und niedrige relative Luftfeuchte der Außenluft bei stärkerer Aufheizung auch noch über längere Zeit wirksam sind. Da diese Zustände erfahrungsgemäß nur selten und dann nur kurzzeitig auftreten, hat die Übertrocknung für praktische Verhältnisse kaum eine Bedeutung. Es wäre falsch, den Endzustand ohne Aufheizung erreichen zu wollen. Dies würde aus den aufgezeigten Gründen Verluste durch Selbst-erwärmen verursachen, die bei Vorwärmung vermieden werden können.

Kostenberechnungen

Die vorstehenden technischen Angaben bilden die Grundlage für die folgenden Vergleichskalkulationen zwischen Unterdachtrocknung von Heu mit Kaltluft und mit vorgewärmter Luft. Für einen Kostenvergleich ist es notwendig, die Gesamtkosten

in vom Benutzungsumfang abhängige (variable Kosten) und unabhängige Kosten (Festkosten) aufzugliedern.

Zu den variablen Kosten zählen im wesentlichen die Betriebskosten für Stromverbrauch und bei der Unterdachtrocknung mit vorgewärmter Luft zusätzlich die Heizölkosten. Bei einem Strompreis von 0,13 DM/KWh ergeben sich die in *Übersicht 5* aufgezeigten Stromkosten/h. Bei Luftvorwärmung sind zusätzlich Ventilator und Brenner zu berücksichtigen.

Übersicht 5: Stromkosten/h von Heubelüftungsanlagen ohne und mit Luftvorwärmung

Grundfl. d. Anlage m ²	Leistungsauf- nahme d. Lüfters ca. KW	Ventilator u. Brenner ca. KW	Stromkosten DM/h	
			Kalt- luft	Vor- wärmung
40	4	0,5	0,52	0,59
75	6	0,5	0,78	0,85
100	8	0,5	1,04	1,11

Die Stromkosten je dz Heu sind in erster Linie von den notwendigen Belüftungsstunden (siehe *Übersicht 3*) abhängig, die nicht nur durch das Wasseraufnahmevermögen der Trocknungsluft, sondern auch durch das Raumgewicht des getrockneten Heues beeinflusst werden. Auf eine Stapelhöhe von 2 m und ein Raumgewicht von 110 kg/m³ bezogen, entstehen je dz getrocknetes Heu die in *Übersicht 6* wiedergegebenen Stromkosten

(Rechengang: $\frac{\text{Stromkosten/h} \times \text{Belüftungsstunden}}{\text{dz Füllung}}$).

Übersicht 6: Stromkosten je dz Heu (Raumgewicht 110 kg/m³, Stapelhöhe 2 m)

Grundfl. d. Anlage m ²	getrock. Heu je Füllung dz	Stromkosten in DM je dz Heu				
		Kaltbelüftung Endfeuchte 20 %	+ 5° C 20 %	14 %	+ 10° C 20 %	14 %
40	88	1,23	0,55	0,70	0,35	0,44
75	165	0,98	0,42	0,54	0,27	0,34
100	220	0,98	0,42	0,53	0,27	0,33

Bedingt durch die starke Verkürzung der erforderlichen Trocknungsperiode mit erhöhter Temperatur der Trocknungsluft fallen die Stromkosten gleichgerichtet ab. Entgegengesetzt dazu verhalten sich die Heizölkosten. Bei einem Preis von 0,12 DM je l Heizöl errechnen sich die in *Übersicht 7* zusammengestellten Heizölkosten. Der Ölbedarf je Stunde ist aus den Angaben über den Wärmebedarf in *Übersicht 2* abgeleitet.

Übersicht 7: Heizölbedarf und Heizölkosten je Stunde in Abhängigkeit von Anlagegröße und Vorwärmungsgrad

Grundfläche d. Anlage, m ²	Heizölbedarf in l/h		Heizölkosten in DM/h	
	+ 5° C	+ 10° C	+ 5° C	+ 10° C
40	3,1	6,0	0,37	0,72
75	5,8	11,3	0,70	1,36
100	7,7	15,1	0,92	1,81

Nach dem Rechengang $\frac{\text{Heizölkosten/h} \times \text{Belüftungsstunden}}{\text{dz Heu je Füllung}}$ ergeben sich folgende Heizölkosten je dz Heu:

Vorwärmung 5° C, Endfeuchte	20% = 0,35 DM
	14% = 0,44 DM
Vorwärmung 10° C, Endfeuchte	20% = 0,43 DM
	14% = 0,54 DM

Stromkosten und Heizölkosten zusammen ergeben die Betriebskosten. In Übersicht 8 sind sie für Heubelüftungsanlagen ohne und mit Luftvorwärmung aufgeführt.

Übersicht 8: Betriebskosten von Heubelüftungsanlagen ohne und mit Luftvorwärmung in DM/dz Heu

Grundfl. d. Anlage m ²	Kaltbelüftung Endfeuchte 20 %	Erwärmung um 5° C		Erwärmung um 10° C	
		20 %	14 %	20 %	14 %
40	1,23	0,90	1,14	0,78	0,98
75	0,98	0,77	0,98	0,70	0,88
100	0,98	0,77	0,97	0,70	0,87

Aus Übersicht 8 geht hervor, daß die Betriebskosten der Warmlufttrocknung niedriger sind als die der Unterdachtrocknung mit Kaltluft. Die Ursache hierfür liegt in der längeren Trocknungszeit der Kaltlufttrocknung. Diese Aussage gilt generell nicht nur für den vergleichbaren Trocknungsgrad von 20 %, sondern auch noch für eine Endfeuchte von 14 % mit Luftanwärmung. Bei Vorwärmung um 5° C (75 m²- und 100 m²-Anlage) scheint Kostengleichheit zur Kaltbelüftung zu bestehen. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß bei der Trocknung mit Kaltluft zusätzlich Belüftungszeit und damit Stromverbrauch anfällt, um die Selbsterwärmung des Heustapels zu verringern.

Die Betriebskosten sind bei höherem Anwärmungsgrad der Luft um 10° C wegen der wesentlich verkürzten Trocknungszeit noch geringer.

Schließlich ist bei dem Vergleich noch zu berücksichtigen, daß in feuchten Klimabereichen Nährstoffverluste durch Selbsterwärmung bei der Kaltlufttrocknung auftreten. Auf die verfügbaren Netto-kStE bezogen, würde sich damit der Betriebskostenvorteil zugunsten der Luftanwärmung noch vergrößern. Eine rechnerische

Einbeziehung dieses Tatbestandes wird aber nicht vorgenommen, da zuverlässige Angaben über die Höhe dieser Nährstoffverluste nicht zur Verfügung stehen.

Die Festkosten sind vom Anschaffungswert abhängig und ergeben sich aus den Abschreibungen und dem Zinsanspruch. Der Anschaffungswert ist für drei Anlagegrößen aus *Übersicht 9* ersichtlich. Die angegebenen Preise sind mittlere Werte und enthalten die Mehrwertsteuer.

Übersicht 9: Ungefährer Anschaffungswert von Heubelüftungsanlagen ohne und mit Luftvorwärmung

	Kaltbelüftung	Erwärmung um	
	DM	5° C DM	10° C DM
40 m²-Anlage			
Lüfter	1.770,—	1.770,—	1.770,—
Motorschutzschalter, Sterndreieck- schalter	125,—	125,—	125,—
Ölheizgerät 25 800 kcal	—	3.165,—	—
Ölheizgerät 50 200 kcal	—	—	3.585,—
Installation und Montage	300,—	650,—	650,—
Öltank 1500 l	—	500,—	500,—
Einbauten	1.435,—	1.435,—	1.435,—
Anschaffungswert insgesamt	3.630,—	7.645,—	8.065,—
Anschaffungswert je m ²	91,—	191,—	202,—
75 m²-Anlage			
Lüfter	2.100,—	2.100,—	2.100,—
Motorschutzschalter, Sterndreieck- schalter	125,—	125,—	125,—
Ölheizgerät 48 400 kcal	—	3.585,—	—
Ölheizgerät 95 000 kcal	—	—	4.760,—
Installation und Montage	300,—	650,—	650,—
Öltank 2500 l	—	700,—	700,—
Einbauten	2.025,—	2.025,—	2.025,—
Anschaffungswert insgesamt	4.550,—	9.185,—	10.360,—
Anschaffungswert je m ²	61,—	122,—	138,—
100 m²-Anlage			
Lüfter	2.965,—	2.965,—	2.965,—
Motorschutzschalter, Sterndreieck- schalter	125,—	125,—	125,—
Ölheizgerät 64 500 kcal	—	4.145,—	—
Ölheizgerät 127 000 kcal	—	—	4.775,—
Installation und Montage	300,—	650,—	650,—
Öltank 2500 l	—	700,—	700,—
Einbauten	2.405,—	2.405,—	2.405,—
Anschaffungswert insgesamt	5.795,—	10.990,—	11.620,—
Anschaffungswert je m ²	58,—	110,—	116,—

Von den Festkosten sind die Abschreibungen der größte Posten; mit 8,5 % des Anschaffungswertes sind ihnen 12 Nutzungsjahre zugrunde gelegt. Der Zinsanspruch wurde mit 3 % des Anschaffungswertes eingesetzt.

Die Höhe der durchschnittlichen Reparaturkosten hängt zwar von dem jährlichen Benutzungsumfang der Anlagen ab, vereinfachend wurden sie jedoch mit 1 % des Anschaffungswertes zu den Festkosten geschlagen.

Die Festkosten für gleiche Anlagegrößen liegen bei Unterdachtrocknung mit vorgewärmter Luft wegen der zusätzlichen Investitionen selbstverständlich höher als für Kaltluftanlagen (*Übersicht 10*).

Übersicht 10: Festkosten (einschließlich Reparaturkosten) in DM/Jahr

Grundfläche d. Anlage, m ²	Kalt- belüftung	Erwärmung um	
		5° C	10° C
40	454,—	956,—	1 008,—
75	569,—	1 148,—	1 295,—
100	724,—	1 374,—	1 453,—

Aufgrund der Degression im Anschaffungswert je m² Grundfläche mit Vergrößerung der Anlagen (s. *Übersicht 9*) sinken bei voller Kapazitätsauslastung die Festkosten je dz Heu, wie aus *Übersicht 11* hervorgeht.

*Übersicht 11: Festkosten (einschließlich Reparaturkosten) in DM/dz Heu
(110 kg/m³, 6 m Stapelhöhe)*

Grundfl. d. Anlage m ²	Kapazität d. Anlage dz Heu	Fest-u. Reparaturkosten DM/dz Kalt- belüftung	Erwärmung um	
			5° C	10° C
40	264	1,72	3,62	3,82
75	495	1,15	2,32	2,62
100	660	1,10	2,08	2,20

Insgesamt ergibt sich nun die Frage, wie sich die teilweise gegenläufige Kostenstruktur auf die Gesamtkosten unterschiedlicher Anlagegrößen auswirkt. In *Übersicht 12* ist das Ergebnis der Gesamtkostenberechnung aufgezeigt.

*Übersicht 12: Gesamtkosten von Heubelüftungsanlagen mit und ohne Luftvorwärmung
in DM/dz Heu*

Grundfl. d. Anlage m ²	Kapazität d. Anlage dz Heu	Kaltbelüftung Endfeuchte 20 %	Gesamtkosten in DM/dz			
			Erwärmung um 5° C		Erwärmung um 10° C	
			20 %	14 %	20 %	14 %
40	264	2,95	4,52	4,76	4,60	4,80
75	495	2,13	3,09	3,30	3,32	3,50
100	660	2,08	2,85	3,05	2,90	3,07

Die *Übersicht 12* zeigt, daß — gleiche Kapazitätsausnutzung vorausgesetzt — die höheren Festkosten zu insgesamt höheren Trocknungskosten der Anlagen mit vorgewärmter Luft führen. Die genannte Voraussetzung einer gleichen Kapazitätsauslastung läßt sich jedoch nur in sehr günstigen Klimatalagen erfüllen.

In feuchten Klimazonen ist die Zahl der effektiven Belüftungsstunden begrenzt. Soll eine bestimmte Heumenge getrocknet werden, so wird im Vergleich zur Trock-

nung mit Luftvorwärmung eine größere Kaltluft-Unterdachtrocknungsanlage benötigt. Dadurch entstehen für letztere höhere Festkosten. Die Unterschiede sind standortbedingt, so daß generelle Angaben nicht gemacht werden können. An zwei Modellbeispielen sollen diese Verhältnisse aufgezeigt werden.

Beispiel 1: Mögliche Trocknungskapazität bei 3 Wochen verfügbarer Zeit und wöchentlich 80 Belüftungsstunden unter 85 % relativer Luftfeuchte (240 Trocknungsstunden für Kaltbelüftung).

Danach kann bei Kaltbelüftung in 3 Wochen ein Heustock bis zu 2 m getrocknet werden. Nach Übersicht 3 beträgt bei 70 % relativer Luftfeuchte das Verhältnis der Trocknungszeiten zwischen Kaltbelüftung und Belüftung mit um 5° C vorgewärmter Luft 208 : 83 Stunden bei 20 % Endfeuchte. Mit gleicher Anlagegröße kann demnach bei dieser Vorwärmung die 2,5-fache Menge Heu in derselben Zeit getrocknet werden. Will man die gleiche Heumenge trocknen, so müßte die zweieinhalbfache Anlagegröße für Kaltbelüftung gewählt werden, z. B. 40 m²-Anlage für Warmlufttrocknung und 100 m²-Anlage für Kaltbelüftung. Während jedoch die Anlage mit Luftanwärmung im verfügbaren Zeitraum bis zur Stapelhöhe von 6 m beschickt werden kann, ist bei der Kaltluftanlage nur eine 2 m-Schicht möglich, so daß sich die Festkosten/dz Heu verdreifachen. Diese Verhältnisse sind in Übersicht 13 wiedergegeben.

Übersicht 13: Vergleichbare Trocknungskosten von Heubelüftungsanlagen mit und ohne Luftvorwärmung in feuchten Klimatalagen (Trocknungsvergleich: 20 % Endfeuchte)

Trocknungsart	Grundfl. d. Anlage m ²	Kapazitäts- auslastung dz Heu	Betriebs- kosten DM/dz Heu	Fest- kosten DM/dz Heu	Gesamt- kosten DM/dz Heu
Kaltlufttrocknung Vorwärmung um 5° C	100	220	0,98	3,30	4,28
	40	264	0,90	3,62	4,52

Aus dem Vergleich ergibt sich, daß in ungünstigen Klimatalagen kaum noch ein Unterschied in den Trocknungskosten zwischen Heubelüftungsanlagen mit Kaltluft und Luftanwärmung besteht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die relativ hohen Festkosten der kleinen Anlagen die Gesamtkosten je dz Heu verhältnismäßig stark belasten. Beim Vergleich größerer Anlagen verschiebt sich das Bild zu Gunsten der Vorwärmung.

Beispiel 2: Zu trocknende Gesamtmenge 500 dz Rohfutter, davon 2/3 vom 1. Schnitt und 1/3 vom 2. Schnitt, wöchentlich 80 Belüftungsstunden unter 85 % rel. Luftfeuchte, verfügbar 3 Wochen für 1. Schnitt (240 Trocknungsstunden für Kaltbelüftung).

Daraus ergibt sich folgende Situation: Für die Gesamtmenge von 500 dz ist die Kapazität einer 75 m²-Anlage ausreichend. Beim 1. Schnitt fallen rd. 330 dz getrocknetes Gut an. Diese Menge kann bei 5° C Vorwärmung im Zeitraum von 3 Wochen ohne weiteres getrocknet werden, da infolge des rascheren Trocknungsverlaufes die Stapelhöhe nicht zum begrenzenden Faktor wird. Anders dagegen bei der Kaltbelüftung: Nach Übersicht 3 ist bei einem Raumgewicht von 110 kg/m³

Heu eine Trocknungszeit von 208 Stunden erforderlich. Während des Zeitraumes von 3 Wochen kann deshalb nur eine Stapelhöhe von etwa 2 m getrocknet werden. Für 330 dz getrocknetes Heu ist also eine Anlagefläche von 150 m² erforderlich. Dem entsprechen 2 Anlagen zu je 75 m². Daraus ergeben sich die in *Übersicht 14* zusammengestellten vergleichbaren Trocknungskosten.

Übersicht 14: Vergleichbare Trocknungskosten von Heubelüftungsanlagen mit und ohne Luftvorwärmung in feuchten Klimazonen für eine Gesamtmenge von 500 dz lagerfähigem Raufutter (Trocknungsvergleich: 20% Endfeuchte)

Trocknungsart	erforderl. Anlagefläche m ²	Betriebskosten DM/dz Heu	Festkosten DM/dz Heu	Gesamtkosten DM/dz Heu
Kaltlufttrocknung	2 x 75	0,98	2,28	3,26
Vorwärmung um 5° C	1 x 75	0,77	2,32	3,09

Der Vergleich zeigt, daß die Vorwärmung um 5° C bereits zu günstigeren Gesamtkosten je dz Heu führt als die Kaltlufttrocknung. Dies ist vorwiegend durch die geringere Auslastungsmöglichkeit der klimatisch bedingten größeren Kaltbelüftungsanlage begründet.

Der Mehraufwand an Betriebskosten, um von 20% auf 14% Wassergehalt des lagerfähigen Heues mit der Warmluftanlage herunterzutrocknen, beträgt je nach Anlagegröße und Grad der Luftanwärmung nur 0,17—0,24 DM/dz Heu. Diese Kosten werden mit Sicherheit durch die Nährstofferhaltung mit Hilfe der Luftanwärmung gedeckt.

In feuchten Klimazonen kann damit die Wirtschaftlichkeit der Unterdachtrocknung von Heu mit vorgewärmter Luft im Vergleich zu Kaltluftanlagen positiv beurteilt werden.

Zusammenfassung

Auf den physikalisch-technischen Grundlagen aufbauend wird erarbeitet, unter welchen Bedingungen eine Unterdachtrocknung mit vorgewärmter Luft (+ 5° bzw. 10° C) vorteilhafter sein kann als eine Trocknung mit Kaltluft. Sämtliche Angaben gehen von einem Feuchtgehalt des Grünfutters von 35—40 v. H. aus.

In feuchten Klimazonen ermöglicht die Vorwärmung der Luft eine wesentlich kürzere Trocknungszeit und dadurch eine bessere Auslastung der Anlage im gegebenen Trocknungszeitraum. Hinzu kommt, daß Nährstoffverluste durch Selbsterwärmung, wie sie bei Kaltbelüftung während der Endtrocknung auftreten, durch die Vorwärmung vermieden werden können. Trotz Heizölkosten sind die Betriebskosten der untersuchten Anlagen wegen der stark verkürzten Trocknungszeit bei Luftvorwärmung geringer als bei Kaltbelüftung. Infolge der höheren Festkosten sind allerdings die Gesamtkosten der Warmluft-Anlagen höher. Die klimatisch bedingte Größe von Kaltbelüftungsanlagen kann jedoch bewirken, daß diese zu wenig ausgelastet werden. Kleinere Anlagen mit Vorwärmung können somit günstigere Gesamtkosten je dz getrocknetem Heu ergeben. Daher wird in feuchten Klimazonen die Wirtschaftlichkeit der Unterdachtrocknung von Heu mit vorgewärmter Luft im Vergleich zu Kaltbelüftung positiv beurteilt.