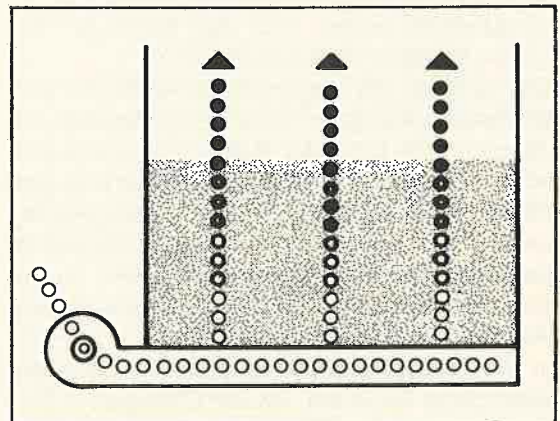


ABC der Heubelüftung

J. Baumgartner

Wirtschaftliches Belüftungsheu mit einem hohen Nährstoffgehalt hängt ab vom frühzeitigen Schnittzeitpunkt, sauberen Mähen und schonenden Bearbeiten auf dem Feld, verlustarmen Einbringen von unverregnetem Welkheu, sorgfältigen Beschicken des Heustocks, von einer gut geplanten Anlage ohne grobe Mängel und schliesslich einer optimalen Bedienung der Belüftung. Dieses ABC enthält in erster Linie eine praktische Anleitung zum Bau von Heubelüftungen und im weiteren einige Ratschläge zur Beschickung und Bedienung einer Anlage.



Inhaltsverzeichnis	Seite	Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Einleitung	2	2.5 Luftansaug- und Zuführkanal	11
1.1 Obenbelüftungsanlagen	2	2.5.1 Luftansaugkanal	11
1.2 Heuturm oder Heuberg	3	2.5.2 Zuführkanal	12
1.3 Anlagen mit Sauggebläse	3	2.5.3 Luftaustritt	12
2. Flächentrocknungsanlage mit natürlicher Aussenluft	3	2.6 Rost	14
Q "1 1-4eit 1ofAnLz	3	2.7 Kamine	15
2.1.1 Heubedarf	3	2.8 Luftdruckkontrolle	16
2.1.2 Raumgewicht	4	2.9 Schaltuhr oder Steuergerät	16
2.1.3 Stockvolumen	4	3. Warmbelüftung	16
2.1.4 Stockfläche	4	3.1 Sonnenkollektor	16
2.1.5 Funktionshöhen	4	3.1.1 Exposition und Dachneigung	16
2.1.6 Empfohlene Stockgrösse	4	3.1.2 Luftführung	17
2.1.7 Heu- und Emdstock	4	3.1.3 Kollektortyp	17
2.1.8 Stockform	5	- Kollektor mit durchsichtiger Kunststoffabdeckung und dunklem Absorber	17
2.2 einwanuung	5	- Kollektor mit freiliegendem Absorber	17
2.2.1 Funktion	5	3.1.4 Druckerhöhung des Ventilators	18
2.2.2 Balkenkonstruktion	5	3.2 Schlauchkollektor	18
2.2.3 Wandverkleidung	6	3.3 Luftentfeuchtungsgerät	18
2.2.4 Öffnungen für die Futterentnahme	7	4. Bedienung	18
2.3 Boden	7	4.1 Beschickung der Anlage	18
2.4 Ventilator	7	4.2 Trocknungskapazität	18
2.4.1 Auswahlkriterien für den Ventilator	7	4.3 Ein- und Ausschalten des Ventilators	19
- Luftmenge	7	4.4 Stockkontrolle	19
- Luftdruck	8	5. Schluss	20
- Elektrische Leistungsaufnahme	8		
- Wirkungsgrad	9		
- Lärm	9		
- Radial- oder Axialventilator?	10		
- Weitere Auswahlkriterien	10		
2.4.2 Standort des Lüfters	10		

1. Einleitung

Frisch gemähtes Gras enthält ungefähr 15% Trockensubstanz (TS) und 85% Wasser. Bis lagerfähiges Heu mit 88% TS entsteht, müssen rund 487 kg Wasser pro 100 kg Heu verdunstet werden. Diese grosse Wassermenge kann innert nützlicher Frist nur mit viel technischem Aufwand, zum Beispiel in einer Grastrocknungsanlage, entfernt werden. Es wird zwar immer wieder versucht, mit einer Heubelüftungsanlage Gras zu trocknen. Nebst einem hohen Energieaufwand lassen sich auf diese Art nur kleine Mengen risikolos trocknen.

Die billigste Art bleibt immer noch die **Vortrocknung** auf dem Feld mit Sonnenwärme. Je nach dem Grad der Vortrocknung bleiben ebenfalls hoch erhebliche **Wassermengen** mit der Heubelüftung zu verdunsten, wie Tabelle 1 zeigt. Nach dem Anwelkgrad richtet sich auch das **Trocknungsverfahren**, wobei die angegebenen Grenzen nur als grobe Richtlinien anzusehen sind.

In der Landwirtschaft sind oder waren verschiedene Arten von Heubelüftungen in Betrieb.

Tabelle 1: Zu verdunstendes Wasser auf dem Heustock
(kg Wasser pro 100 kg Heu)

Vortrocknung auf dem Feld auf % TS	Trocknungsverfahren	Wassermenge kg
40	Warmbelüftung	120
45		95,6
50		76
55		60
50	Kaltbelüftung	76
55		60
60		46,7
65		35,4
65	Obenbelüftung, Heuturm	35,4
70		25,7
75		17,3
75	Bodentrocknung	17,3
80		10

1.1 Obenbelüftungsanlagen (Abb. 1)

Eine solche Anlage ist dadurch gekennzeichnet, dass sie weder Kanäle noch einen Rost oder eine Einwandung benötigt. Diese Art Anlage ist mobil und kann leicht in verschiedenen Scheunen eingesetzt werden. Sie ist in den Anschaffungskosten relativ billig und kann für einen Pächter oder in Betrieben mit mehreren Scheunen interessant sein.

Die Obenbelüftung verlangt einen gut durchlüfteten Scheunenraum. Da die Trocknungsluft direkt oberhalb des Heustockes

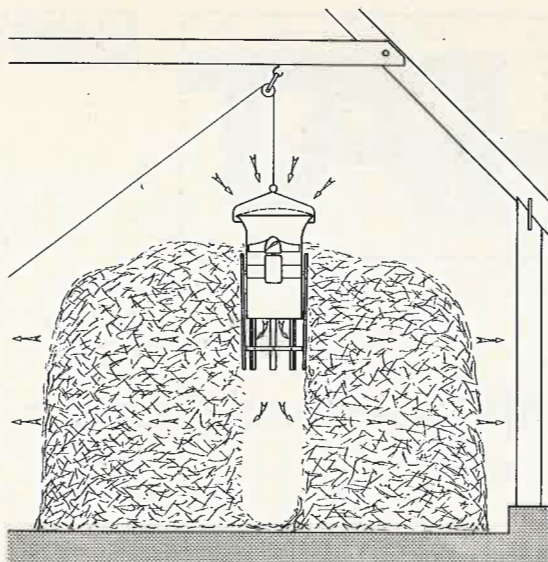


Abb. 1: Obenbelüftungs-Anlage.

angesogen wird, ist zu befürchten, dass bereits befeuchtete Luft wieder in den Stock gelangt. Obenbelüftungen eignen sich deshalb eher für eine zeitweilige Durchlüftung des Stockes, um dessen Selbsterwärmung zu verhindern. Für eine Belüftung von Welkheu mit weniger als 65% TS kommen sie nur in Ausnahmefällen und für kleine Stöcke bis ungefähr 50 m² in Frage. Das Einführen von Welkheu mit Gebläse auf einen Stock ohne Einwandung ist kaum möglich, weil der Gebläsewind das Heu verstreuen würde.

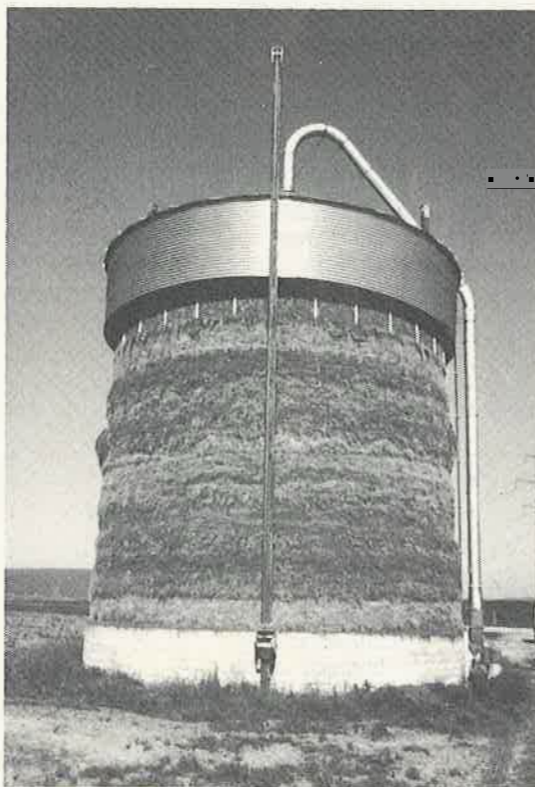


Abb. 2: Gesamtansicht des Heuberges. (Foto: FAT)

1.2 Heuturm oder Heuberg (Abb. 2)

Diese Systeme erfüllen die in sie gesetzten Erwartungen nicht. Aus belüftungstechnischen Gründen (Zentralrohrsystem) ist selbst mit einer Luftanwärmung mit Ölofen eine niedere Trocknungskapazität zu erwarten. Das Welkheu soll auf wenigstens 70% vorgetrocknet werden. Ähnlich wie bei der Oberbelüftung sind diese Systeme eher im Sinne einer leichten Nachtrocknung und zur Verhinderung der Selbsterwärmung einzusetzen.

Der Heuturm und der Heuberg sind Futterlagerungsstätten, die eine sehr weitgehende Automation ermöglichen. Trotzdem kann nicht mit grossen Arbeitseinsparungen gerechnet werden, weil die Einstell- und Überwachungsarbeiten sehr aufwendig sind.

1.3 Anlagen mit Sauggebläse (Abb. 3)

Entlüftungsanlagen, bei denen die Luft abgesogen statt eingeblasen wird, bewährten sich nicht. Der Trocknungsvorgang lässt sich nicht kontrollieren, und eine gezielte Luftführung ist unmöglich.

2. Flächentrocknungsanlage mit natürlicher Aussenluft

Die Untenbelüftung mit Flächenrost nach Abbildung 4 ist bei uns am meisten verbreitet. Anlagen mit Haupt- und Nebenkanälen setzten sich nicht durch, weil die Heustöcke

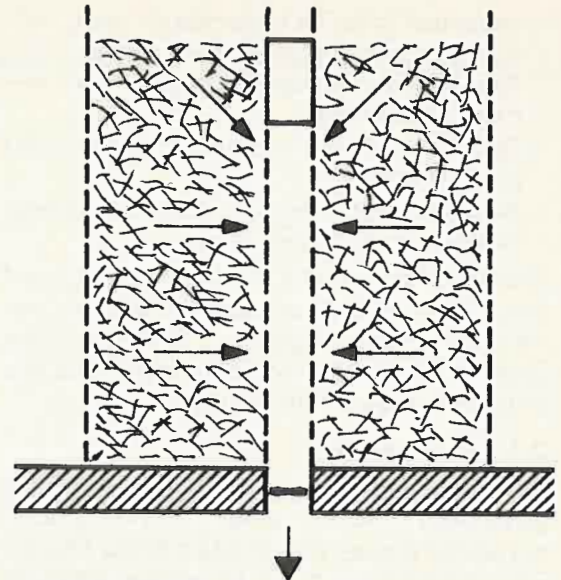


Abb. 3: Diese Art Entlüftung des Heustocks ist nicht zu empfehlen.

ungleichmässig abtrockneten. Die Planung einer Belüftungsanlage kann in den unten beschriebenen Teilschritten geschehen.

2.1 Heustock

2.1.1 Heubedarf

Die richtige Vorausschätzung des Stockinhaltes ist schwierig. Das Volumen hängt von folgenden Faktoren ab:

- Zahl der rauhfutterverzehrenden Grossvieheinheiten (Kühe, Rinder, andere Tiere).

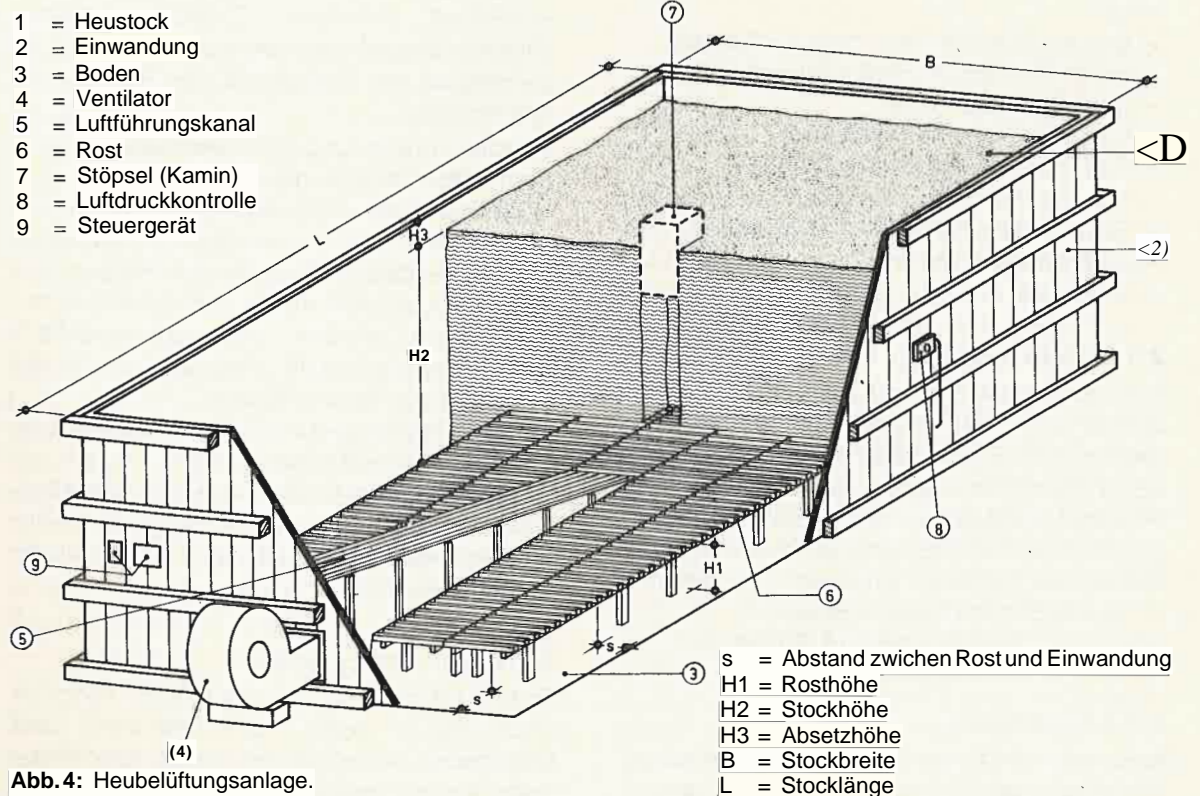


Abb. 4: Heubelüftungsanlage.

- Heuanteil in kg TS in der Futterration (unter Berücksichtigung der Silage, des Trockengrases, des Kraftfutters oder anderer Futtermittel).
- Dauer der Winterfütterungsperiode (150 bis 210 Tage).
- Allfälliger regelmässiger Verkauf von Heu.
- Raumgewicht des Heus.

Die Gesamtmenge für den Rohfutterbedarf (kg TS) lässt sich daraus einfach berechnen. Ein zweiter Weg zur TS-Menge führt über den geschätzten Ernteertrag und die entsprechenden Heuflächen.

2.1.2 Raumgewicht

Schwieriger ist die Schätzung des Raumgewichtes. Nach einer FAT-Erhebung schwankt dieses von 51 bis 129 kg TS/m³, also im Verhältnis 1:2,5. Es ist deshalb nicht möglich, eine Normzahl für die ganze Schweiz anzugeben, die für alle Betriebe gültig sein kann.

Für Stöcke mit Gebläsebeschickung oder mit Handverteilung wird mit einem durchschnittlichen Raumgewicht von 78 kg TS/m³ gerechnet. Rund zwei Drittel der Betriebe schwanken im Bereich von 65 bis 91 kg TS/m³.

Bei Greifereinlagerung liegt der Durchschnitt bei 65 kg TS/m³, der Bereich zwischen 54 bis 76 kg/m³.

In der Ostschweiz sind in der Regel die höheren Werte, in der Westschweiz die tieferen zu wählen.

Einflüsse, die das Raumgewicht erhöhen, sind:

- grosse Schichthöhen beim Einführen,
- tiefer TS-Gehalt (hohe Einfuhrfeuchte),
- feines, junges Futter,
- kurzgeschnittenes Welkheu,
- Futter mit viel Klee oder Kräutern,
- die mechanische Bearbeitung auf dem Feld, zum Beispiel durch Quetschen,
- eine gewisse Vorpressung durch den Ladewagen.

2.1.3 Stockvolumen

Sind Raumgewicht und die TS-Menge bestimmt, kann das Stockvolumen berechnet werden. Die Stockhöhe (H₂ in Abb. 4) soll, wenn irgendwie möglich, auf 4 bis 5 m Höhe begrenzt werden. Höhere Stöcke bedingen grössere Luftdrücke, um die Trocknungsluft durch den Stock zu pressen. Die Berechnung des Stockvolumens lautet:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Gesamtmenge TS in kg}}{\text{Raumgewicht in kg/m}^3}$$

2.1.4 Stockfläche

Aus dem Volumen wird bei gegebener Stockhöhe die Grundfläche oder bei gege-

bener Fläche die Stockhöhe ermittelt. Bei einer Neuplanung können bei reiner Heufütterung als Richtzahl 7 bis 8 m² Stockfläche pro GVE angenommen werden. Bei einem hohen Raumgewicht darf die Richtzahl um 1 bis 2 m² unterschritten, bei einem niederen sollen 1 bis 2 m² zugeschlagen werden. Mit der Richtzahl erreicht man für die Belüftung günstige Stockhöhen.

2.1.5 Funktionshöhen

Unterhalb des Stockes darf das Mass H₁ für den Rost nicht vergessen werden. Die Rosthöhe H₁ soll für Stöcke bis 50 m² Grundfläche ungefähr 30 cm betragen, bis 100 m² 35 cm und darüber 40 cm.

Über dem Stock sind ungefähr 50 cm - die Distanz H₃ - für das Absetzen des Heus während des Trocknungsvorganges vorzusehen. Dieser Absetzraum kann auch als Reserveraum für gute Futterjahre verwendet werden.

Ausserdem ist der Funktionsraum für die Einlagerungsgeräte einzuplanen. Für Gebläse mit Schwenkbogenverteiler beträgt die Durchfahrtshöhe zwischen Oberkante Einwandung und Aufhängung des Teleskoprohres 1 bis 1,5 m, je nach Ausführung des Endbogens. Bei Greifern ist mit einer entsprechenden Höhe von 2 bis 2,5 m zu rechnen.

2.1.6 Empfohlene Stockgrösse

Stöcke über 150 m² Grundfläche werden vorteilhaft unterteilt. Zwischen beiden Stöcken braucht es keine Einwandung. Es genügt, an der Trennstelle den Rost zu unterbrechen.

Für die Unterteilung grösserer Stöcke sprechen folgende Gründe:

- Bei einer kleinen Einfuhrmenge kann eine gleichmässige, dünne Schicht praktisch nicht realisiert werden. An Stellen, die kaum oder nicht durch das feuchte Futter überdeckt werden, entweicht unverhältnismässig viel Luft ungenutzt durch die bereits trockenen Flächen.
- Die Luftansaug- und Zufuhrkanäle müssten sehr gross dimensioniert werden, um nicht zu hohe Druckverluste zu erhalten. Schon bei einem 15 kW-(20 PS-) Ventilator würde der Kanalquerschnitt ungefähr 4 m² gross.

2.1.7 Heu- und Emdstock

Trotz Unterteilung von grossen Stöcken über 150 m² sollten separate Heu- und Emdstöcke vermieden werden. Die Trennung in einen Heu- und Emdstock würde die

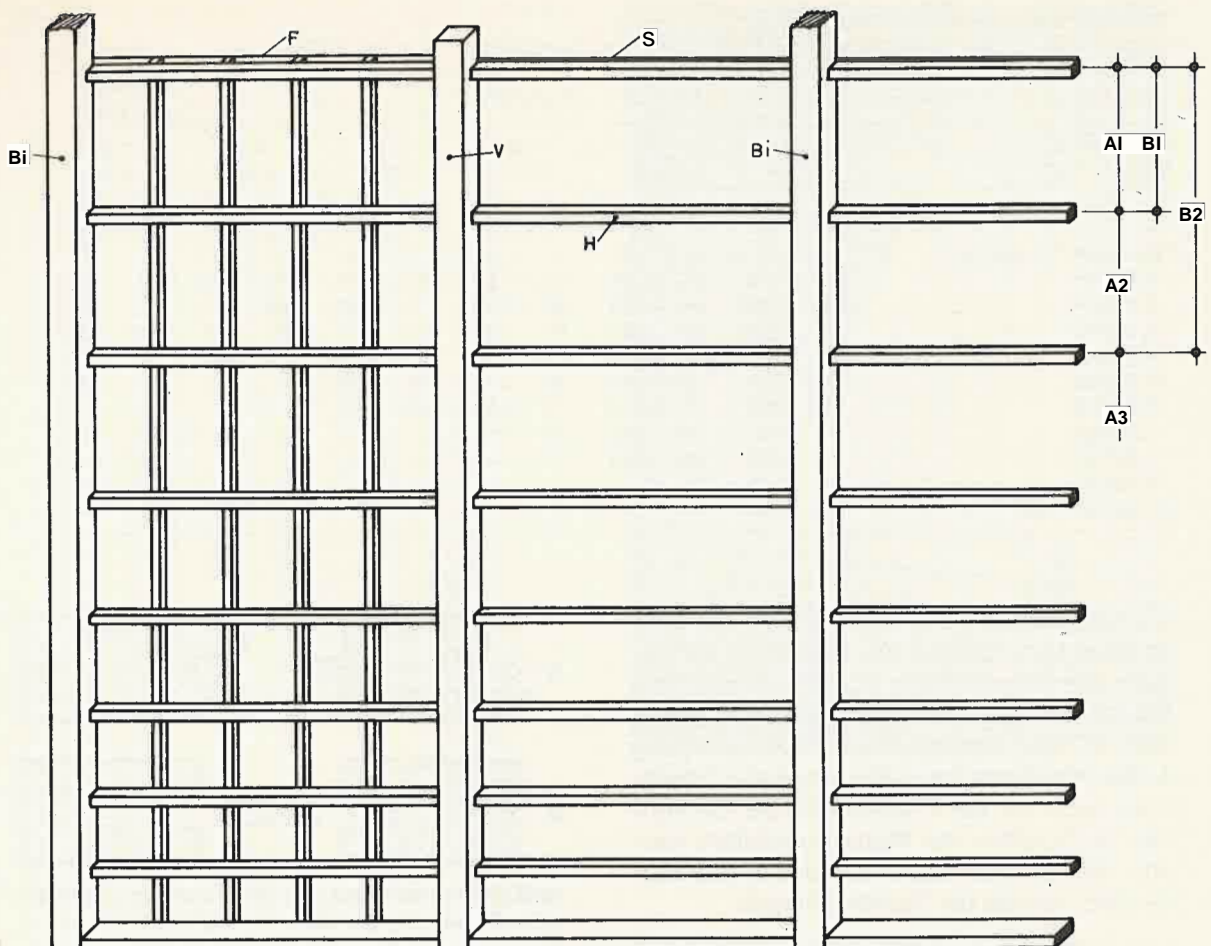


Abb. 5: Konstruktionsbeispiel einer Einwandung.
 S = Ausführung mit Spanplatten
 F = mit zusätzlichem Rost für Hartfaserplatten
 H = Horizontalbalken
 Bi = Binder

V = Vertikalstützen
 A = Balkenabstände
 B = Stockhöhen

Halbierung der Trocknungskapazität bedeuten und die Trocknungsdauer verdoppeln. Zwei gleichzeitig beschickte Stöcke mit zwei Ventilatoren bringen dagegen eine grosse Trocknungsleistung. Beim Einführen von Heu auf die Hälfte der gesamten Stockfläche entstehen grosse Schichthöhen pro Einfuhrtag mit erhöhten Luftdrücken.

2.1.8 Stockform

Schmale lange Stöcke sind schwieriger zu belüften. Quadratische bis rechteckige Grundflächen mit einer Länge L gleich maximal 1,5 mal Breite B sind anzustreben. Ferner ist auf die Abladeeinrichtung Rücksicht zu nehmen. Die automatischen Futtermittelverteiler eignen sich für eine Streubreite bis ungefähr 14 m. Bei neuen Anlagen sollte diese Breite ausgenutzt werden.

2.2 Einwandung

2.2.1 Funktion

Die Einwandung verhindert Luftverluste. Dann muss die Trocknungsluft den Stock

gleichmässig von unten nach oben durchströmen. Ferner nimmt die Einwandung den Seitendruck des eingelagerten Futters auf.

2.2.2 Balkenkonstruktion

Eine Einwandung kann auf manche Art erstellt werden. Die Verhältnisse bei den einzelnen Heubelüftungen sind derart verschieden, dass sich nur einige Richtlinien aufzeigen lassen.

Bekanntlich nimmt der Seitendruck des eingelagerten Heus von Oberkant Stock nach unten zu. Für 1 m Höhe wird mit einer Zunahme von 80 daN (80 kg) gerechnet, so dass bei einem 5 m hohen Stock im untersten Meter eine Flächenpressung von 400 daN/m² (400 kg/m²) zu erwarten ist.

Normalerweise werden für alle Horizontalbalken (H in Abb. 5) die gleichen Abmessungen gewählt. Entweder sind die Abstände der Balken gemäss Tabelle 2 nach unten enger zu nehmen, oder alle Abstände müssen dem kleinsten Wert bei einer bestimm-

Tabelle 2: Abstände der Horizontalbalken

(Beginn beim oberen Wandabschlussbalken. A = vertikaler Balkenstand / B = Stockhöhe in cm)

Plattendicke, cm Preis, Fr./m ²	Spanplatten								Hartfaserplatten			
	1,0		1,6		1,9		2,2		4,0	0,5		
	12.30		14.40		15.70		17.20		31.80	5.50		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Wandabschlussbalken:	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0	—	0
1. Balken	75	75	105	105	110	110	125	125	190	190	105	105
2. Balken	75	150	95	200	100	210	115	240	160	350	95	200
3. Balken	70	220	85	285	90	300	100	340	140	490	85	285
4. Balken	60	280	80	365	85	385	95	435	125	615	80	365
5. Balken	55	335	75	440	80	465	85	520	—	—	75	440
6. Balken	55	390	70	510	75	540	85	605	—	—	70	510
7. Balken	55	445	65	575	75	615	—	—	—	—	65	575
8. Balken	50	495	65	640	—	—	—	—	—	—	65	640
9. Balken	50	545	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10. Balken	50	595	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ten Gesamthöhe entsprechen, um ein allzu grosses Durchbiegen der Platten zu verhindern. Die Gesamthöhe ergibt sich aus dem Zusammenzählen von Rosthöhe H1, Stockhöhe H2 und Absetzhöhe H3 aus Abbildung 4. Die Abstände hängen neben der Stockhöhe auch von der Plattendicke ab. Oft können Restposten von Platten erworben werden, die deutlich unterhalb der angegebenen Richtpreise der Tabelle 2 liegen.

In Scheunen beträgt der Binderabstand in der Regel 4,4 m bis maximal 5 m. Wird für die Einwandung eine zusätzliche Vertikalstütze V gemäss Abbildung 5 zwischen die Binder eingesetzt, so verringert sich die Spannweite für die Vertikalbalken auf maximal 2,5 m. Bis zu 6 m hohe Zusatzstützen können folgende Dimensionen in cm aufweisen: 10/26, 14/22, 12/24 oder 18/20.

Tabelle 3 enthält die Querschnitte für die Horizontalbalken, abhängig von der Spannweite für 1,6 cm dicke Spanplatten. Bei dünneren Platten können kleiner dimensionierte Horizontalbalken, bei den dickeren müssen stärkere verwendet werden. Die Preise der Balken sind schwer anzugeben; viele Landwirte besitzen dafür ohnehin eigenes Holz.

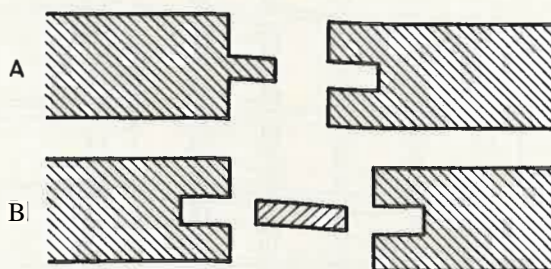


Abb. 6: Vorteilhaft sind Spanplatten mit Nut und Kamm (A) oder Nut und Feder (B).

2.2.3 Wandverkleidung

Für die Wandverkleidung eignen sich Spanplatten (Novopan, Homplex) verschiedener Dicken. Dem Luftverlust muss besondere Beachtung geschenkt werden. Zu diesem Zweck werden die Platten vorteilhaft mit Nut und Kamm (Abb. 6) gekauft, oder man nutzt die Platten selber und legt eine Feder dazwischen.

Auch 5 mm dicke Hartfaserplatten (Pavatex) werden für die Wände eingesetzt. Um ein Durchbiegen dieser dünnen Platten zu verhindern, ist ein Rost anzubringen, der aus senkrechten Latten (4,8 x 4,8 cm) im Abstand von 50 cm bestehen kann (Abb. 5). Diese Art der Verkleidung ist empfindlich gegen mechanische Einwirkungen und zum

Tabelle 3: Balkendimensionen, abhängig von der Spannweite (Abstand der senkrechten Stützen)
für 1,6 cm dicke Spanplatten

Spannweite in cm	Querschnitt der Horizontalbalken in cm						
	8/10	6/12	8/12	14/16	12/18	8/22	10/20
200	X	X	—	—	—	—	—
250	—	X	X	—	—	—	—
440	—	—	—	X	X	X	X
500	—	—	—	—	X	X	X

X = geeignet — = nicht geeignet

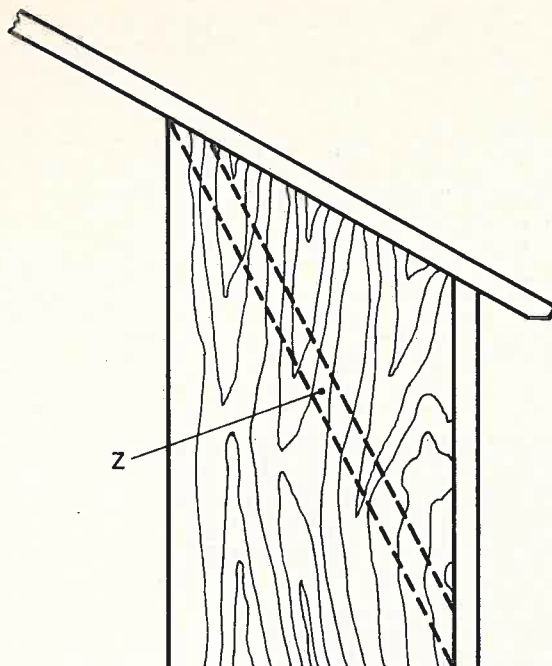


Abb. 7: Schräge Balken (Z = Zange) werden so eingewandt.

Beispiel für eine Greifereinlagerung nicht geeignet.

Die Hartfaser- und Spanplatten sind in der Grösse 260 x 205 cm erhältlich, letztere auch 413 x 183 cm, die 1 cm dicke 410 x 180 cm. Bei der Konstruktion des Balkengerüsts und der Planung der Gesamthöhe ist darauf zu achten, dass ein möglichst kleiner Plattenverschnitt entsteht.

Auch Balken oder in den Stock hineinragende Zangen müssen mit Platten verkleidet werden. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel,

2.2.4 Öffnungen für die Futterentnahme

Das Heu muss in der Fütterungsperiode bis zum Tier gebracht werden. Die Entnahme ohne Greifer erfordert Öffnungen in der Einwandung. Bei Greiferbeschickung ist mindestens ein Einstiegloch in Bodenhöhe für die Reinigung und das Verlegen der Rostelemente vorzusehen. Entnahmeöffnungen können demontierbare Wandelemente oder Teile davon sein (Abb. 8).

Weil während der Belüftung der Heustock täglich kontrolliert werden soll, ist eine festangebrachte Leiter an der Einwandung aus der Sicht der Unfallgefahr empfehlenswert.

2.3 Boden

Beim Einbau einer Heubelüftung in bestehende Gebäude ist bei Holzböden auf Luftverluste zu achten. Besonders Abwurfschächte sind auf ihre Dichtheit zu überprüfen und allenfalls mit Gummiprofilen zu versehen.

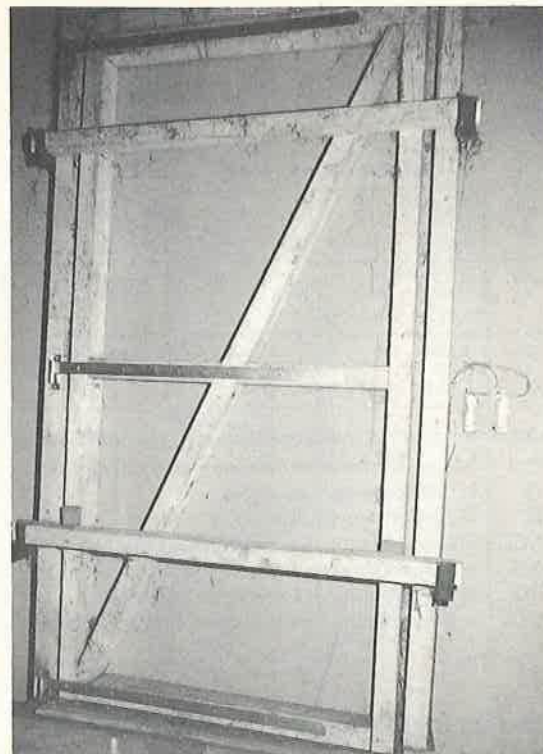


Abb. 8: Demontierbare Wandelemente erleichtern die Entnahme des Heus. (Foto: FAT)

Bei erdlastiger Lagerung ist bei nicht isolierten Betonböden mit einer Abkühlung der Trocknungsluft zu rechnen. Der Wärmeverlust beträgt ungefähr $\frac{1}{10}$ Grad pro Laufmeter Luftweg. Vom Ventilator bis zur hintersten Ecke eines 20 m langen Stockes kühlt sich die Luft um rund 2 Grad ab. Bei Neubauten ist je nach Baugrund ein Steinbett oder Isolierbeton vorzusehen. Bei bestehenden Anlagen kann die Verlegung von Spanplatten Abhilfe schaffen.

2.4 Ventilator

2.4.1 Auswahlkriterien für den Ventilator

Luftmenge

Zuwenig Luft verlängert die Trocknungszeit. Zuviel Luft ergibt einen erhöhten Druck mit entsprechendem Stromverbrauch. Als notwendige Luftmenge kann mit $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ pro m^2 Stockgrundfläche gerechnet werden. Wer viel Welkheu unter 60% TS trocknen will, soll $0,11 \text{ m}^3/\text{s}$ wählen, weil dann die Trocknung rascher erfolgt. Die FAT gibt jährlich eine Liste mit den zur Zeit geprüften und im Handel befindlichen Ventilatoren heraus. In dieser Liste (Abb. 9) sind die Luftmengen Q auf eine Luftdichte von $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$ bezogen. Im Sommer steigen die Luftdichten selten über $1,1 \text{ kg}/\text{m}^3$.

I	FAT	VENTILATORENLISTE	SEITE	1	1	STAND	B1/82	1	*P	1	MMWS	20	1	30	1	40	1	50	1	60	1	70	1
1	000	FIRMA A		1	N U/MIN	2850	f	0	1	M3/S	3,8	1	3,5	1	3,1	1		1	5	1		1	
1	AV	TYP V		1	NELN KW	4,0	1	NEL	1	KW	2,7	1	2,9	1	3,0	1		1		1		1	
1		LAERM DB(A) V 74 S 74		1	PG MMWS	49	1	ETA	1	X	26	1	37	1	42	1		1		1		1	
1	000	FIRMA B		1	N U/MIN	1440	1	Q	1	M3/S	4,3	1	4,1	1	3,9	1	3,7	1		3,6	1	3,3	1
1	RE	TYP W		1	NELN KW	3,0	1	NEL	1	KW	3,2	1	3,4	1	3,7	1	3,8	1		3,8	1	3,9	1
1		LAERM DB(A) V 68 S 71		1			1	ETA	1	X	26	1	35	1	42	1	48	1		55	1	58	1
1	000	FIRMA C		1	N U/MIN	1420	1	Q	1	M3/S	5,0	1	4,8	1	4,6	1	4,3	1		3,7	1		1
1	A	TYP X		1	NELN KW	4,0	1	NEL	1	KW	4,2	1	4,3	1	4,3	1	4,3	1		4,3	1		1
1		LAERM DBIA) V 72 S 71		1	PG MMWS	63	1	ETA	1	x	25	1	34	1	41	1	48	1		51	1		1
1	000	FIRMA D		1	N U/MIN	950	1	Q	1	M3/S	5,2	1	4,9	1	4,6	1	4,2	1		3,8	1	3,4	1
1	RE	TYP Y		1	NELN KW	4,0	1	NEL	1	KW	3,1	1	3,3	1	3,4	1	3,5	1		3,6	1	3,6	1
1		LAERM DBIA) V 62 S 68		1			1	ETA	1	X	33	1	44	1	52	1	58	1		62	1	65	1
1	000	FIRMA E		1	N U/MIN	960	1	Q	1	M3/S	5,3	1	5,1	1	4,8	1	4,4	1		4,0	1	3,6	1
1	RE	TYP Z		1	NELN KW	3,0	1	NEL	1	KW	3,6	1	3,7	1	3,9	1	4,0	1		4,0	1	4,0	1
1		LAERM 08(A) V 61 \$65		1			1	ETA	1	X	29	1	40	1	48	1	55	1		59	1	61	1

Abb. 9: Ausschnitt aus einer Muster-Liste der FAT-gemessenen und umgerechneten Heulüfter-Daten.

*P = Druck in mm WS (Wassersäule) 10 mm WS = 1 mbar
N = Lüfterdrehzahl in U/min
Q = Luftfördermenge in m³/s
NELN = Nennleistung des Elektromotors in kW
NEL = aufgenommene Leistung des Elektromotors in kW
PG = Pumpgrenze des Ventilators in mm WS
ETA = Gesamtwirkungsgrad von Lüfter und Elektromotor in %

Die tatsächliche Luftmenge wird deshalb in der Praxis rund 10% tiefer sein. Deshalb ist folgende Luftmenge anzustreben:

0,10-0,11 m³/s pro m²

Stockgrundfläche bei über 60% TS

0,11-0,12 m³/s pro m²

Stockgrundfläche bei unter 60% TS.

Luftdruck

Den Druck beeinflussen die Futterart, die Stockhöhe und die Luftmenge gemäss Abbildung 10. Geschätzt wird der Druck bei halber Stockhöhe. Im Beispiel 1 (Abbildung 10) ist bei einem 4 m hohen Stock mit ausgewogenem Futter ein Druck von 2 (halbe Stockhöhe) x 1,5 (Druck bei 0,1 m³/s x m² und pro m Stockhöhe) = 3 mbar zu erwarten. Bei einer höheren Luftmenge als 0,1, das

heisst bei 0,12 m³/s (Beispiel 2) würde der Druck bereits 4 mbar erreichen. Ebenso erhöhen grosse Schichthöhen, tiefer TS-Gehalt usw. den Druck, ähnlich wie in Kapitel 2.1.2 das Raumgewicht beeinflusst wird.

Etliche Ventilatoren gehen in der Luftleistung bei einem höheren Druck, das heisst bei grösserer Stockhöhe, unverhältnismässig zurück. Ein Lüfter sollte nach dem letzten Emd immer noch mindestens 0,07 m³/s pro m² Stockfläche fördern. Mit anderen Worten muss in Beispiel 3 der Ventilator bei 4 x 0,9 = 3,6 mbar noch mindestens 0,07 m³/s pro m² liefern.

In der FAT-Liste (Abb. 9) sind die Drücke P noch in mm WS angegeben. Als neue Masseneinheit für kleine Drücke hat sich das Millibar eingebürgert. Es gilt die Beziehung: 10 mm WS (Wassersäule) = 1 mbar.

Elektrische Leistungsaufnahme

In der FAT-Liste sind die Werte für die aufgenommene elektrische Leistung NEL bei verschiedenen Drücken angegeben. Die aufgenommene Leistung (NEL, Abbildung 9) sollte in keinem Fall die Nennleistung (NELN) um mehr als 20% übersteigen. Wurden die elektrischen Anschlussverhältnisse überprüft? Je nach vorhandener Anschlussleitung und der vorgeschriebenen Absicherung ist die maximale Leistung des Elektromotors gegeben. Tabelle 4 enthält eine Übersicht.

Falls später eine automatische Steuerung oder eine Schaltuhr eingebaut werden soll, darf kein direkter Ein-/Ausschalter (Stern-Dreieck) des Ventilatormotors gekauft werden, sondern eine Schützenkombination.

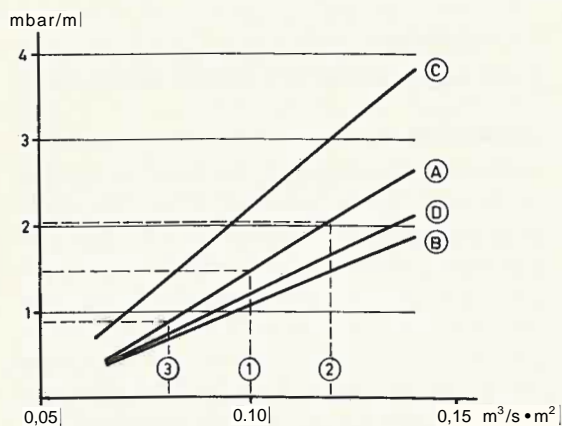


Abb 10: Futterart und Luftmenge (m³/s · m²) beeinflussen den Luftdruck (mbar/m Stockhöhe).

A = ausgewogener Futterbestand | 1 = Beispiel 1
B = gräserreicher Futterbestand | 2 = Beispiel 2
C = kleereicher Futterbestand | 3 = Beispiels
D = kräuterreicher Futterbestand

Tabelle 4: Mindestquerschnitt und Absicherung der elektrischen Zuleitung der Ventilatormotoren
(NELN=Elektromotor-Nennleistung bei gegebenem Leiterquerschnitt)

Elektrischer Leiterquerschnitt in mm ²	Absicherung in Ampere		NELN kW
	Normale Absicherung	Träge Absicherung	
4	20		5,5
6	25		7,5
4		20	9
10/6	40	25	13
16	50		16
10		40	18,5
16	60	50	22



Abb. 11: Der Luftansaug über dem Miststock bewirkt schlechte Trocknungsbedingungen. (Foto: FAT)

Für eine sparsame Belüftung wird mindestens eine Schaltuhr empfohlen.

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von Luftdruck und Luftmenge zur aufgenommenen elektrischen Leistung. Je höher der Wirkungsgrad steigt, desto besser und wirtschaftlicher ist ein Ventilator.

Wie gut ein Ventilator ist, zeigt Tabelle 5. Allerdings dürfen Differenzen von 2 bis 3% nicht zu stark bewertet werden. Verschiedene Motorenfabrikate, nicht gleich gespannte Riemen, gerundete Werte, Fabrikations-toleranzen usw. können diese Unterschiede ausmachen. Differenzen ab 5% fallen jedoch ins Gewicht. Ein Vergleich sollte den gesamten Einsatzbereich des Ventilators, zum Beispiel von 2 bis 5 mbar erfassen.

Tabelle 5: Bewertung der Wirkungsgrade auf der Basis von 169 Belüftungs-ventilatoren - Stand 1. Januar 1982 (10 mm WS [Wassersäule] = 1 mbar)

Anlagedruck in mm WS	Wirkungsgrad in %				Extremwerte	
	ungenügend	genügend	gut	sehr gut	kleinster	grösster
20	unter 26	26-29	30-33	über 33	19	47
30	unter 35	35-38	39-44	über 44	27	53
40	unter 42	42-45	46-51	über 51	34	60
50	unter 48	48-52	53-57	über 57	29	63
60	unter 52	52-55	56-59	über 59	10	65
70	unter 55	55-57	58-61	über 61	16	66
ganzer Bereich	unter 37	37-46	47-56	über 56	10	66

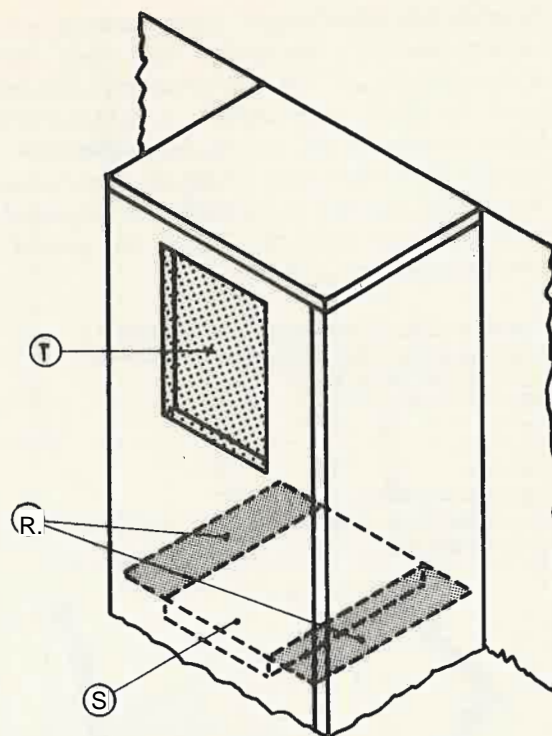


Abb. 12: Ansaugkanal für Ventilatoren.

T = Ansaugöffnung

R = gesamter freier Querschnitt des Kanals

S = Abdeckung zur Verhinderung des Schallaustrittes

Lärm

Bei Lärmproblemen ist sowohl der Standort gegenüber der Nachbarschaft als auch die Lautstärke des Ventilators zu beachten. Die Abbildungen 12 bis 17 zeigen Einbaubeispiele von Lüftern, um übermässigen Lärm zu vermeiden. Die Wände der Ansaugkanäle können zusätzlich mit Schalldämmplatten versehen werden.

Bei Einsparungen gegen die Lautstärke eines Heulüfters ist das Geräusch am offenen Fenster des Klägers massgebend. Die tragbaren Maximalwerte sind in Tabelle 6 aufgeführt. Vor zehn Jahren hat man den Lärm eines Ventilators unter 70 dB(A) als gering eingestuft. (Blätter für Landtechnik Nr. 44 und 89.) Heute liegen die Hälfte aller von vorne gemessenen Radialventilatoren und ein Viertel der von der Seite gemessenen unter diesem Richtwert. Auch einzelne

Axialventilatoren haben diese Grenze unterschritten. Zu bemerken ist, dass die Axialventilatoren im Durchschnitt vorne rund 10 dB(A) und seitlich 7 dB(A) mehr Lärm erzeugen als die Radialventilatoren. Bekanntlich bedeuten 10 dB(A) mehr eine Verdoppelung des Geräusches. In Tabelle 7 wird der Lärm nach dem Stand der geprüften Ventilatoren gewertet.

Tabelle 6: Grenzwertwerte gemessen in dB(A)
(nach Bericht Lärmbekämpfung in der Schweiz vom EJP des Jahres 1963)

Zone	Nacht	Tag
Kurzzone	35	45
ruhige Wohnzone	45	55
gemischte Zone	45	60
Geschäftszone	50	60

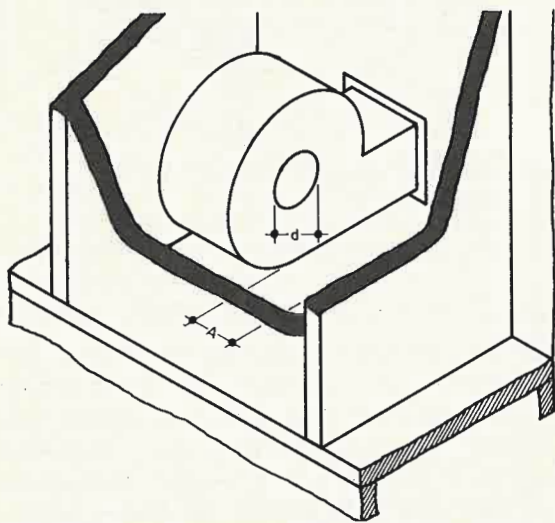


Abb. 13: Radialventilatoren müssen mit dem Mindestabstand $A = d$ von den Seitenwänden entfernt aufgestellt werden.

Radial- oder Axialventilator?

Die Vorteile des Radialventilators sind (Abbildung 13):

- In der Regel nimmt der Druck mit abnehmendem Fördervolumen stetig auf 7 bis 8 mbar zu, ohne ausgeprägte Pumpgrenze wie beim Axialventilator.
- Normalerweise geht die Luftmenge bei steigendem Druck nur wenig zurück.

- Der Lärm ist im Durchschnitt bedeutend geringer.
- Eine gewisse Anpassung der Luftfördermenge an die Stockgrösse ist über die Drehzahländerung des Ventilators gut möglich.

Axialventilatoren weisen folgende Vorteile auf (Abbildungen 14 bis 17):

- Der Platzbedarf ist kleiner.
- Gemäss Tabelle 8 sind Axialventilatoren billiger.
- Axialventilatoren mit verstellbaren Flügeln lassen eine beschränkte Anpassung der Luftfördermenge an die Stockgrösse zu.

**Tabelle 8: Durchschnittliche Preise der Ventilatoren-
Stand 1. Januar 1982**

Nennleistung kW	(PS)	radial Fr.	axial Fr.
3	(4,0)	2500.—	—
4	(5,5)	3500.—	2300.—
5,5	(7,5)	4200.—	2900.—
7,5-8,8	(10-12)	4900.—	3900.—
9,2-11	(12,5-15)	5600.—	4500.—
15	(20)	6400.—	—
18,5	(25)	7200.—	—
22	(30)	7500.—	—

Weitere Auswahlkriterien

Neben den technischen Gesichtspunkten sind auch der Preis, die Garantiebedingungen, der Service und die Beratung der Lieferfirma zu berücksichtigen.

2.4.2 Standort des Lüfters

Mit einem gut gewählten Standort des Ventilators lässt sich Trocknungszeit und damit Strom sparen. Wenn irgendwie möglich, ist der Lüfter auf der Süd- oder Westseite des Gebäudes einzubauen. Wird die Ansaugluft über sonnenbeschienene Flächen wie Dächer, Scheunenwände oder Vorplätze geleitet, erhöht sich die Wasseraufnahmefähigkeit der Trocknungsluft. Im näheren Umkreis sollen keine Miststöcke wie in Abbildung 11, keine Bäume und keine offenen Gewässer vorhanden sein.

**Tabelle 7: Bewertung des Lärms auf der Basis von 169 Belüftungsventilatoren-
Stand 1. Januar 1982**

Messung	Lärm in dB(A)				Extremwerte	
	ungenügend	genügend	gut	sehr gut	kleinster	grösster
vorn radial	über 72	70-72	67-69	unter 67	60	78
vorn axial	über 83	81-83	74-80	unter 74	68	90
vorn alle	über 74	71-74	68-73	unter 68	60	90
seitlich radial	über 74	72-74	70-71	unter 70	63	81
seitlich axial	über 82	80-82	75-79	unter 75	68	89
seitlich alle	über 76	73-76	70-72	unter 70	63	89

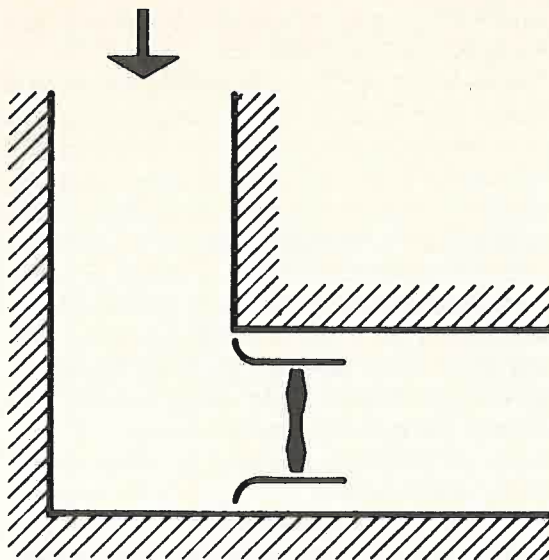


Abb. 14: Eine ungünstige Ausströmung eines Axialventilators ergibt einen schlechten Wirkungsgrad.

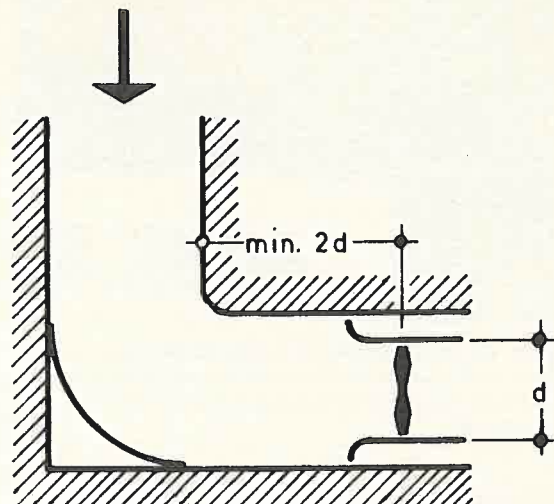


Abb. 15: So kann der Wirkungsgrad verbessert werden.

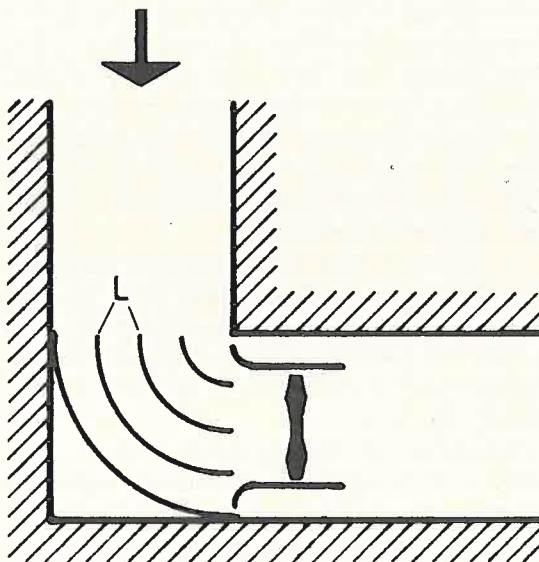


Abb. 16: Bei knappen Embauverhältnissen müssen Leitbleche (L) eingebaut werden.

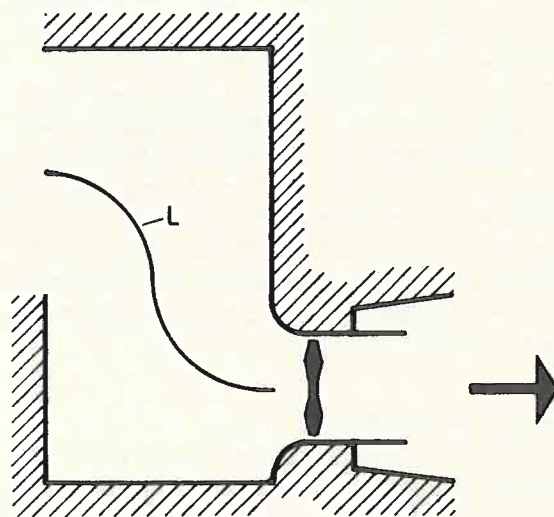


Abb. 17: Ein weiteres Beispiel für eine Verbesserung des Wirkungsgrads (L = Leitblech).

Andererseits ist auf allfällige Lärmbelastigungen der Nachbarschaft zu achten.

2.5 Luftansaug- und Zuführkanal

Kann der Ventilator die Luft nicht direkt von aussen ansaugen, ist ein Ansaugkanal notwendig. Dies ist bestimmt bei Sonnenkollektoren der Fall.

Der Zuführkanal dient zur Überleitung der Luft vom Ventilator unter den Rost.

Die Dimensionierung der Luftkanäle hat so zu erfolgen, dass die mittlere Luftgeschwindigkeit nicht über 5 m/s steigt. Richtwerte, abhängig von der Stockgrundfläche, sind in Tabelle 9 angegeben.

2.5.1 Luftansaugkanal

Die Fläche der Ansaugöffnung T nach Abbildung 12 oder der freie Querschnitt R im

Kanal muss mindestens den Wert der Kolonne 2 der Tabelle 9 erreichen. Trotz Balken, Verengungen, Um- und Ablenkungen dürfen diese Werte auf keinen Fall unterschritten werden.

Tabelle 9: Richtwerte für die Dimensionierung des Ansaug- und Zuführkanals (maximal 5 m/s Luftgeschwindigkeit)

Heustock- grundfläche	Kanal- querschnitt	Innen- masse	Dimension der Balken bei einem Abstand von 50 cm
m ²	m ²	m	cm
40	0,9	0,95 x 0,95	6/ 6
60	1,30	1,15 x 1,15	6/ 6
80	1,80	1,35 x 1,35	6/ 6
100	2,2	1,50 x 1,50	6/ 8
120	2,6	1,65 x 1,65	6/10
140	3,1	1,75 x 1,75	6/10
160	3,5	1,90 x 1,90	6/10

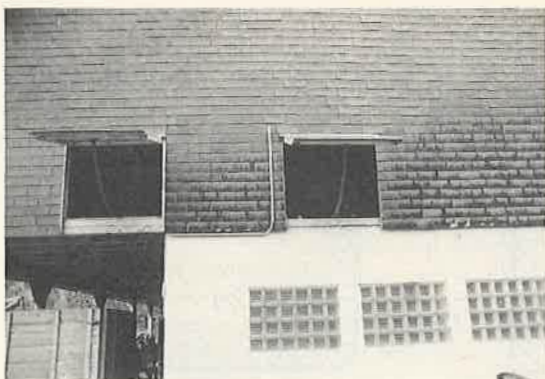


Abb. 18: Ein Luftansaug mit schallgedämmtem Ventilator, Ausnützung der Wandabstrahlungswärme und ohne Vermischung mit Abluft des Stockes ist ideal.
(Foto: FAT)

Radialventilatoren dürfen gemäss Abbildung 13 nicht zu nahe an eine seitliche Wand montiert werden.

Axialventilatoren sind sehr empfindlich gegen ungleichmässige Luftanströmungen (Abb. 14). Verbesserte Anströmbedingungen zeigen die Abbildungen 15 bis 17.

Eine möglichst direkte Luftführung ohne lange Leitungen, Umlenkungen und Hindernisse verhindert Druckverluste. Grosse Verluste bedeuten weniger Trocknungsluft und höheren Stromverbrauch.

Auf keinen Fall darf der Ventilator die feuchte Abluft des Heustocks wieder ansaugen. Auf Abbildung 18 ist eine mustergültige Ansaugöffnung zu sehen.

2.5.2 Zuführkanal

Die Grösse dieses Kanals richtet sich nach Tabelle 9. Er wird am besten aus Spanplatten gefertigt (Abb. 19). Auf der Kanaloberseite werden pro m^2 Oberfläche ungefähr drei Schlitzte von 6×40 cm eingesägt. Für den Übertritt der Luft aus dem Kanal unter den Rost werden Öffnungen freigelassen.

Die Höhe (h) sollte etwa 10 cm weniger hoch als die Rosthöhe sein.

Die Länge des Kanals ergibt sich aus dem nach Tabelle 9 nötigen Kanalquerschnitt und der Höhe (h). Bei einem Kanal mit $2,2 m^2$ Querschnitt und 0,3 m hoher Öffnung (40 cm hoher Rost) wird die Länge (l) bei zweiseitigem Ausblas (Abb. 20, Varianten I und IV) mindestens 3,7 m lang, bei einseitigem Ausblas 7,4 m. Je länger der Kanal, desto besser wird die Luftverteilung. Der Abstand (s) nach Tabelle 10 soll am Kanal geschlossen bleiben. Die Gesamtlänge des Kanals setzt sich aus der Länge der Öffnung (l) und dem Abstand (s) nach Abbildung 19 zusammen.

Am Ende des Kanals wird ein keilförmiger Luftabweiser eingesetzt, der verhindert, dass das Heu dem Ventilator gegenüber zu schnell abtrocknet (Abb. 20). Luftabweiser können auch beim Eintritt in den Stock montiert werden (Abb. 20, Variante IV). Erfahrungsgemäss sind dies Stellen, an denen das Heu am schlechtesten trocknet.

Die Tragkonstruktion des Kanals wird aussen angebracht. Die Dimensionierung der Balken bei 50 cm Abstand kann nach Tabelle 9, Kolonne 4, erfolgen.

Auf die Tragkonstruktion werden oberhalb des Zuführkanals Dachlatten 24×48 mm hochkant mit einem Zwischenraum von ungefähr 7,5 cm aufgenagelt. Dieser Rost ermöglicht den Luftübertritt in den Stock über dem Kanal.

Die Anordnung des Zuführkanals ist in Abbildung 20 dargestellt. Für lange, schmale Stöcke ist nur die Variante III, für kleine Stöcke die Variante II zu empfehlen. -

2.5.3 Luftaustritt

Vielfach wird die Abluftführung vergessen. Die wassergesättigte Luft aus dem Stock

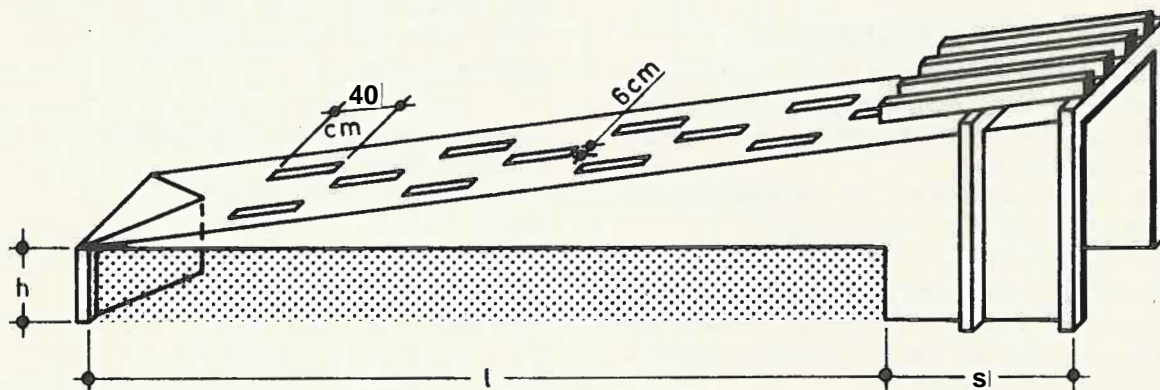


Abb. 19: Konstruktion des Luftzuführkanals.

h = Schlitzhöhe = Rosthöhe - 10 cm

l = Schlitzlänge in m

s = Abstand des Rostes von der Einwand (Tab. 10)

h l = Kanalquerschnitt nach Tabelle 9

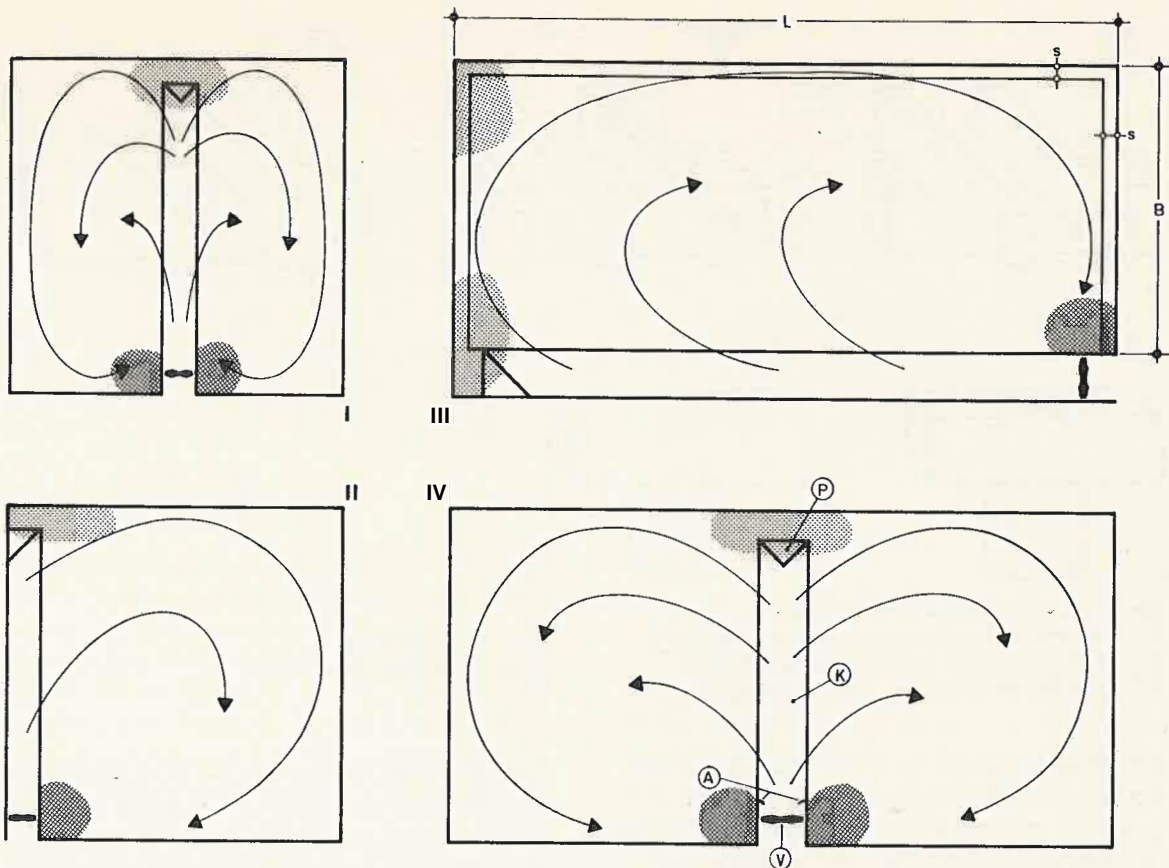


Abb. 20: Anordnung des Ventilators und des Luftzuführkanals nach Stockform.

s = Abstand Rost zur Einwandung
L = Stocklänge
B = Stockbreite
K = Luftführungs kanal
V = Ventilator

P = Luftableitung
A = Ablenkung eines Teils der Luft
= Stellen, die gut abtrocknen
= Orte, die lange Zeit feucht bleiben

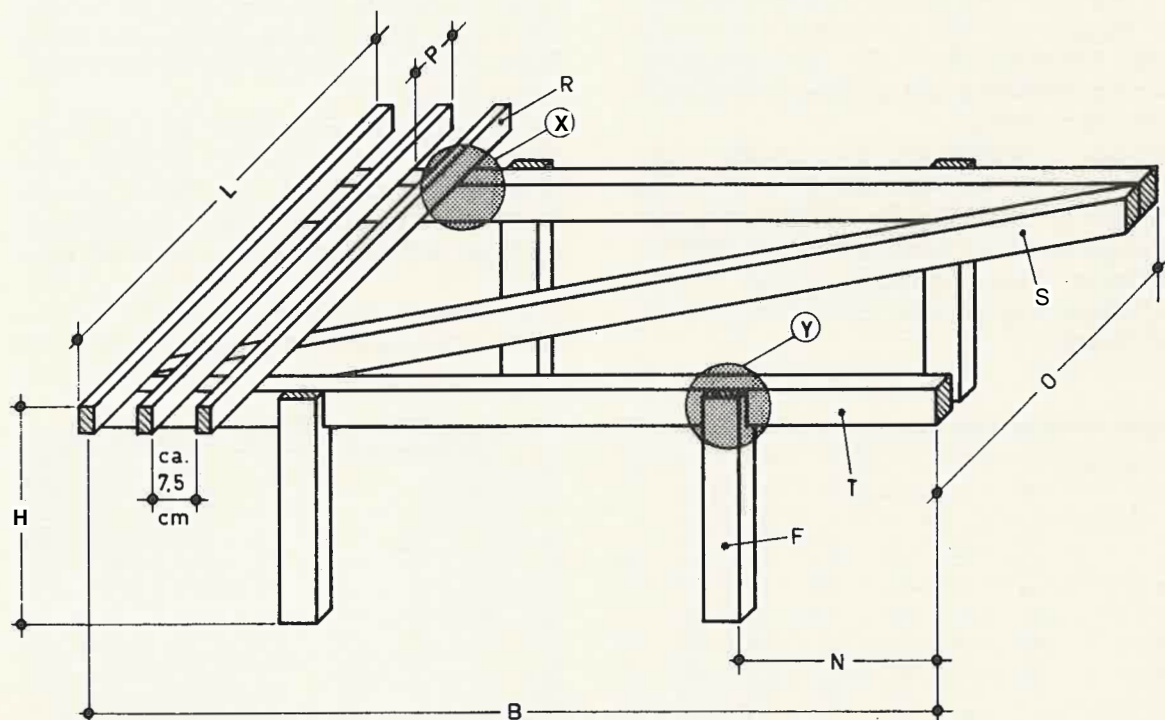


Abb. 21: Bauskizze für Rostelemente.

B = Rostbreite
L = Rostlänge
H = Rosthöhe
N = Ueberkragung der Doppellatten

O = Abstand der Doppellatten
P = Ueberkragung der Dachlatten
R = Dachlatte
S = Strebe

T = Doppellatten
F = Rostfuss
X = Details Abbildung 22
Y = Details Abbildung 22

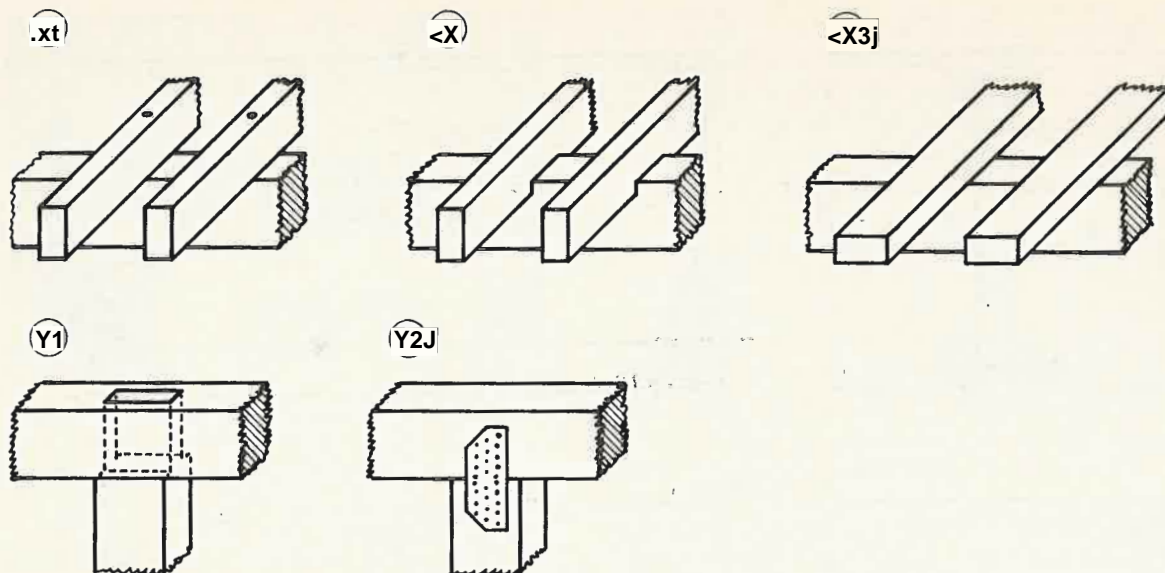


Abb. 22: Detailkonstruktionen des Rostes.

X1 = Dachlatten hochkant genagelt oder geschraubt
 X2 = höhere Latten müssen eingelassen werden
 X3 = Luftübertritt erschwert, wird nicht empfohlen

Y1 = gezapfter Fuss
 Y2 = mit Nagelplatte montiert

soll ohne Umwege ins Freie geleitet werden. Dafür sind Öffnungen über dem Stock vorzusehen, die ungefähr der doppelten Fläche des Kanalquerschnittes nach Tabelle 9 entsprechen.

2.6 Rost

Der Flächenrost mit Rostelementen (Abb. 21) hat sich durchgesetzt. Die gleichmässige Regulierung der Luftmenge mit Haupt- und Seitenkanälen auf der gesamten Stockgrundfläche ist schwierig und deshalb nicht mehr üblich.

Um den Luftkreislauf und -ausgleich unter dem Rost zu ermöglichen, wird über der ganzen Grundfläche die Rosthöhe gleich hoch gehalten. Unterschiedliche Rosthöhen bedingen einen Verlegeplan und können Schwierigkeiten bei der Entnahme mit Greifern bieten.

Zum Ermitteln der Länge (L) und der Breite (B) der Rostelemente nach Abbildung 21 wird eine massstäbliche Skizze gezeichnet. In diese trägt man zunächst die Länge und Breite des Zuführkanals ein. Die Luft hat die Tendenz, den Wänden entlang zu entweichen, ohne das Heu zu durchströmen. Um dies zu verhindern, wird der Rost nur bis zum Abstand (s) (Abb. 4 und 20) nach Tabelle 10 geplant. Man kann den Rost auch bis an die Einwandung ziehen und einen Streifen mit der Breite (s) mit Hartfaserplatten abdecken.

Die verbleibende Rostfläche wird in gleich grosse Elemente aufgeteilt. Verlangt eine ungünstige Stockform verschieden grosse Rostelemente, so sollen diese gut gekennzeichnet und auf dem Boden markiert werden.

Rostelemente können zum Preis von Fr. 12- bis Fr. 40- pro m² eingekauft werden. Wer

Tabelle 10: Abstand (s) in cm von der Einwandung zum Rost in Funktion der Stockgrundfläche

Stockbreite (B) in m	Stocklänge (L) in m												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	30	30	35	35	35	35	35	40	40	40	40	40	40
5	35	40	40	40	40	45	45	45	45	45	45	50	50
6	40	40	45	45	45	50	50	50	50	55	55	55	55
7	45	45	50	50	55	55	55	55	60	60	60	60	65
8	45	50	55	55	55	60	60	65	65	65	65	70	70
9	50	55	55	60	60	65	65	70	70	70	70	75	75
10	55	55	60	65	65	70	70	70	75	75	80	80	80
11	55	60	65	65	70	70	75	75	80	80	85	85	85
12	55	60	65	70	70	75	80	80	85	85	85	90	90
13	60	65	70	70	75	80	80	85	90	90	90	95	95
14	60	65	70	75	80	80	85	90	90	95	95	100	100

← Stöcke über dieser Fläche unterteilen

Tabelle 11: Masstabelle für Rostelemente (nach Abb. 21)

Rostbreite (B) cm	Rostlänge (L) cm	Überkragung der Doppel-latten (N) cm	Abstand der Doppel-latten (O) cm	Überkragung der Dach-latten (P) cm
100	100	15	70	15
100	120	15	90	15
100	150	15	120	15
120	100	20	70	15
120	120	20	80	20
120	150	20	100	25
150	100	25	70	15
150	120	25	80	20
150	150	25	wo	25

sie selber herstellen möchte, kann dies nach folgender Anleitung tun:

An die waagrechten Doppel-latten (T) (Abb. 21) als Träger können die Füsse (F) auf verschiedene Arten befestigt werden. Die Abstände sind in Tabelle 11 angegeben. In die Hälfte (ungefähr 3,3 cm) eingelassen, gezäpft wie in Detail Y1 auf Abbildung 22, oder mit einer Nagelplatte verbunden, gemäss Detail Y2, sind verschiedene Montagearten möglich. So muss nicht die ganze Futterlast von der Schraubverbindung getragen werden. Dann werden die Dachlatten (R) hochkant auf die Träger verschraubt oder genagelt, gemäss Detail X1. Bei höheren Latten müssen diese ungefähr 2 cm eingelassen werden, wie in Detail X2, damit sie beim Betreten des Rostes nicht umkippen. Die Montageart der Latten gemäss Detail X3 ist nicht zu empfehlen. Es braucht stärkere Latten, die Elemente werden somit schwerer und durch die verkleinerte Luftübertrittsfläche (weniger Spaltfläche pro Rost) entsteht ein grösserer Druckverlust der Trocknungsluft. Damit ein Rost genau im Winkel bleibt, wird eine Strebe (S) an die Träger (T) montiert und mit den Dachlatten (R) vernagelt.

Ein Luftzuführkanal mit Rost ist aus Abbildung 23 ersichtlich.



Abb. 23: Flächenrost mit Luftzuführkanal. (Foto:FAT) (FAT-Heubelüftungsanlage; man beachte die Schlitzte auf dem Luftzuführkanal.)

Rosthöhe:

Für Stöcke bis 50 m ²	H=30 cm
Für Stöcke von 50 bis 100 m ²	H=35 cm
Für Stöcke über 100 m ²	H=40 cm

Material:

Doppel-latten (Fr. 1.50/m) >	60	x 60 mm
Dachlatten (Fr. -.75/m)	24	x 48 mm
Holzschrauben für die Füsse	6	x 60 mm
Holzschrauben für die Dachlatten	5	x 80 mm
Nägel für die Dachlatten	3,5	x 90 mm

2.7 Kamine

Kamine oder Stöpsel wären ein ausgezeichnetes Mittel, den Luftdruck auf etwa 4 mbar zu begrenzen. Leider wirken sie störend beim Einlagern mit Gebläse oder Greifer und bedingen einen grossen Mehraufwand an Handarbeit.

Bei Anlagen mit Ventilatoren, die wenig Druck erzeugen, ist der Einsatz von Stöpseln angezeigt. Sie sind möglichst gleichmässig zu verteilen. Als Richtwert gilt: pro 16 bis 20 m² Stockgrundfläche ein Kamin einsetzen. Es ist eine gleichmässige Verteilung der Stöpsel anzustreben, wobei der Abstand zwischen zwei Kaminen das 1,5-fache der Distanz zwischen Stöpsel und Einwandung betragen soll. Es können quadratische oder runde Stöpsel mit 80 cm Seitenlänge bzw. Durchmesser und von 1,6 bis 1,8 m Länge eingesetzt werden.

Gelegentlich gelangen Ventilatoren während der Belüftungszeit an ihre Druckgrenze (Abb. 9, PG = Pumpgrenze). Der Ventilator erzeugt dann nicht ein gleichmässiges, sondern stark wechselndes Geräusch. Auf dem Stock bemerkt man praktisch keinen Luftaustritt mehr. Und mit Hilfe eines Wollfadens kann ein Luftrückschlag beim Ventilator beobachtet werden. In diesem Fall können Löcher durch den Stock geschrotet werden. Ihre Anzahl und Grösse werden gleich wie beim Stöpsel Einsatz bestimmt. Vor dem nächsten Einfüllen von Welkheu werden die Löcher mit einem Rostelement abgedeckt.

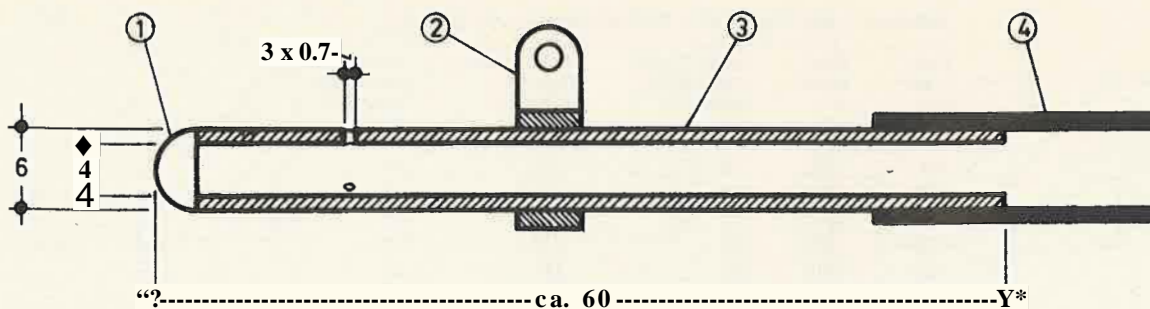


Abb. 24: Sonde zur Ueberwachung des Druckes mit drei Bohrungen für den Lufteintritt (Masse in mm).

1 = verlötetes und abgerundetes Ende
2 = Befestigungsbride

3 = Messingrohr
4 = Plastischlauch

2.8 Luftdruckkontrolle

Mit einer einfachen Methode kann man leicht den Luftdruck unter dem Stock überprüfen und Rückschlüsse auf die Luftfördermenge des Ventilators ziehen. Dies hat den Vorteil, dass entschieden werden kann, ob das nächste Mal viel oder wenig, schweres oder gut vorgetrocknetes Futter eingelagert werden darf. Werden die Luftdrücke und die Stockhöhen mehrere Jahre aufgeschrieben, lässt sich gut überblicken, was der Belüftungsanlage noch zumutbar ist.

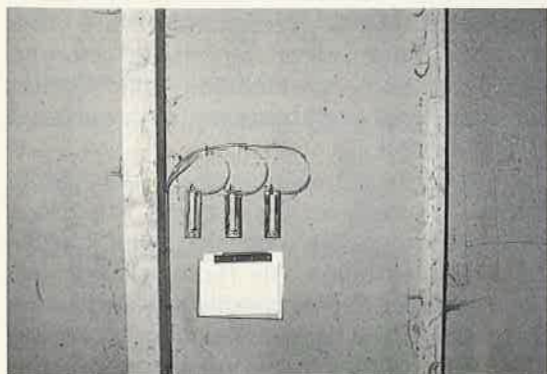


Abb. 25: Einfache U-Manometer erleichtern die Stocküberwachung. (Foto: FAT)

Um den Druck messen zu können, befestigt man die Sonde nach Abbildung 24 mit dem verlöteten Ende gegen den Ventilator gerichtet am Boden, etwa in der Mitte einer Rostfläche. Plastischläuche verbinden die Drucksonden (ein bis zwei pro Stock) mit U-Manometern (Kosten pro Messgerät weniger als Fr. 10.-) gemäss Abbildung 25, worauf drei Druckmessstellen von drei Stöcken zu sehen sind. Während des Laufs des Ventilators verändern sich die Wassersäulen in den Glasröhrchen. Die Differenz der beiden Säulen eines Manometers ergibt den Luftdruck in mm WS.

2.9 Schaltuhr oder Steuergerät

Als Minimallösung wird eine Schaltuhr empfohlen. Diese Uhr schaltet den Ventilator

nach Wahl ein und aus. Die Schaltzeiten sollten viertelstündlich verstellbar sein. Der FAT-Test über Steuergeräte für die Heubelüftung (Blätter für Landtechnik Nr. 205) ergab, dass eine ganze Reihe von Apparaten auf dem Markt vorhanden sind, die gute bis sehr gute Resultate zeigen. Der durchschnittliche Preis liegt bei Fr. 1000-**ohne** und rund Fr. 1650 - **mit** Schützenkombination.

3. Warmbelüftung

Wird Luft mit 90% relativer Feuchtigkeit um 6°C erwärmt, fällt ihre Feuchtigkeit auf ungefähr 60%. Diese Luftfeuchte genügt für eine Trocknung rund um die Uhr, auch bei schlechtem Wetter. Die Trocknungszeit kann wesentlich verkürzt werden und ist wetterunabhängig. Auf der anderen Seite ist für eine Belüftung mit 100 m² Stockgrundfläche eine Ofenleistung von rund 100'000 kcal/h oder 120 kW nötig. Für diesen Wärmebedarf müssen 12 l Öl pro Stunde verbrannt werden.

Die Warmbelüftung setzt eine vollständige Kaltbelüftungsanlage voraus und bedingt einen Warmluftofen im Betrage von Fr. 7000 - bis Fr. 8000.-. Zusätzliche Probleme gibt es mit der Gebäudeversicherung und dem Gewässerschutz. Und durch die steigenden Ölpreise wird die Lufterwärmung mit Öl immer teurer, so dass eine solche Belüftung nur noch in Ausnahmefällen angezeigt ist.

3.1 Sonnenkollektor

3.1.1 Exposition und Dachneigung

Scheunendächer, die gegen Süden oder Südosten geneigt sind, weisen die günstigsten Expositionen auf, um eine Kollektoranlage zu bauen. Läuft der Dachfirst von Norden nach Süden, kann die Nutzung beider Dachhälften in Erwägung gezogen werden. Die Dachneigung sollte 15 bis 30° betragen.

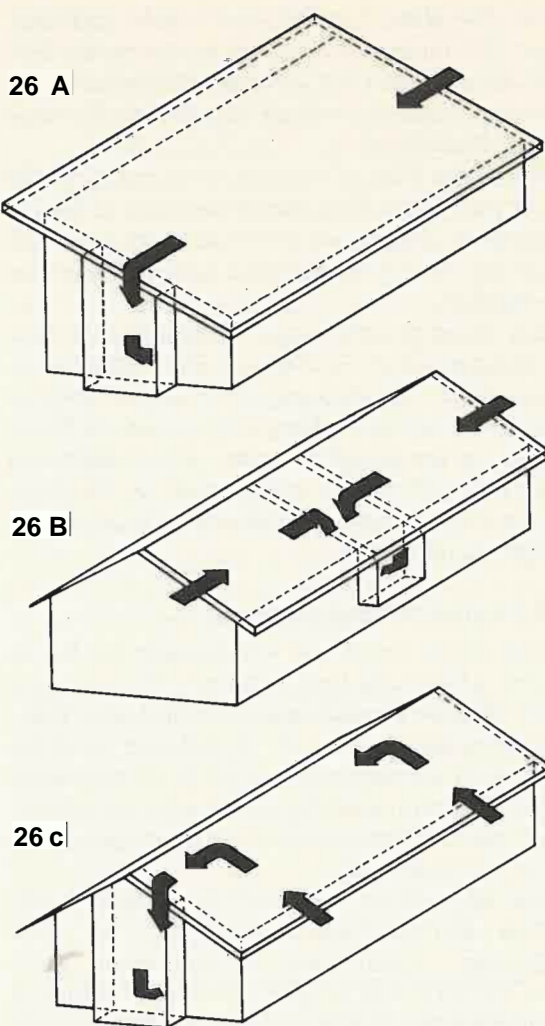


Abb. 26: Luftführung bei Sonnenkollektoren.

26A: Pultdach (Pfettenbauweise)

26B: Firstdach (Pfettenbauweise)

26C: Firstdach (Sparrenbauweise)

3.1.2 Luftführung

Die Trocknungsluft wird vom Belüftungsventilator durch das Dach angesaugt und dann dem Heustock zugeführt. Statt die Luft direkt aus dem Freien zu schöpfen, wird ein Ansaugkanal bis zum Dach verlängert (Abb. 26). Je nach Dachkonstruktion gibt es verschiedene Lösungen.

Beim Pultdach (Abb. 26A) gelangt die Luft horizontal von der einen Stirnseite durch die Pfettenzwischenräume zu einem Sammelkanal auf die andere Seite und von dort zum Lüfter.

Bei langen, schmalen Dächern (Abb. 26B) kann die Luft an beiden Stirnseiten angesaugt und über einen Sammelkanal vom Kollektor zum Ventilator geführt werden.

In Sparrendächern (Abb. 26C) wird die Luft an der Traufe angesaugt. Sie strömt durch den Kollektor, wird dann durch einen Firstkanal gesammelt und zum Lüfter geleitet.

Diese Beispiele zeigen, dass verschiedene Konstruktionslösungen für verschiedene Bauweisen möglich sind.

3.1.2. Kollektortypen

Es werden im Prinzip zwei verschiedene Arten von Kollektoren gebaut:

Kollektor mit durchsichtiger Kunststoffabdeckung und dunklem Absorber

Dieser klassische Kollektor (Abb. 27) hat den höchsten Wirkungsgrad, das heisst von der einfallenden Sonnenenergie werden ungefähr 45 bis 65% in Wärme umgesetzt. Als Richtzahl sollte die Kollektorfläche doppelt so gross wie die Heustockfläche gewählt werden.

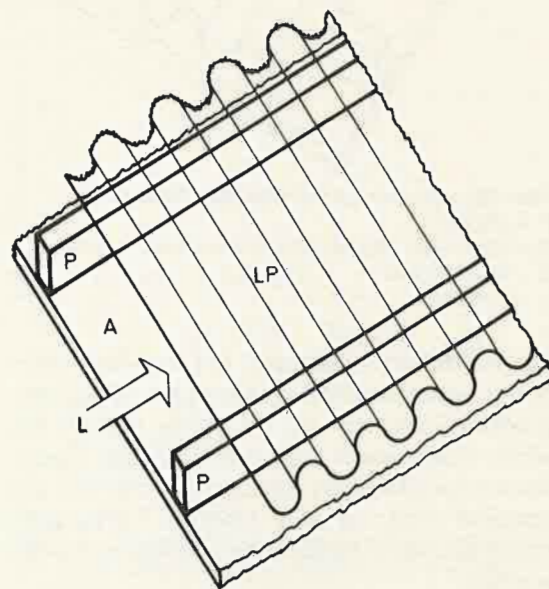


Abb. 27: Kollektor mit Kunststoffabdeckung.

P = Pfetten (waagrecht tragende Balken)

LP = Lichtplatten

A = schwarzer Absorber

L = Luftstrom

Probleme kann es mit Gebäudeversicherungen und mit Landschaftsschutzkreisen geben. Es empfiehlt sich mit diesen Stellen eine vorgängige Rücksprache. In Gebieten mit häufigem oder schwerem Hagelschlag wird diese Kollektorart nicht empfohlen.

Bei Neubauten betrugen nach einer Umfrage die Mehrkosten der Kunststoffdächer - eingeschlossen Absorber und Sammelkanäle - durchschnittlich Fr. 27- mit und Fr. 33- pro m² ohne Eigenleistung.

Nachträglich zu Kollektoren umgebaute Dächer kamen im Durchschnitt auf Fr. 37 - bis Fr. 43 - zu stehen. Zusätzlich auf ein bestehendes Dach aufgebaut kosteten Kollektoren Fr. 47 - bis Fr. 51.- pro m².

Kollektor mit freiliegendem Absorber

(Abb. 28)

Ein Kollektor mit dunklem Blech als Absorber hat einen nur wenig tieferen Wirkungsgrad von 45 bis 55% als der klassische Kollektor. Das Verhältnis von Kollektorfläche zur Stockgrundfläche muss deshalb nicht

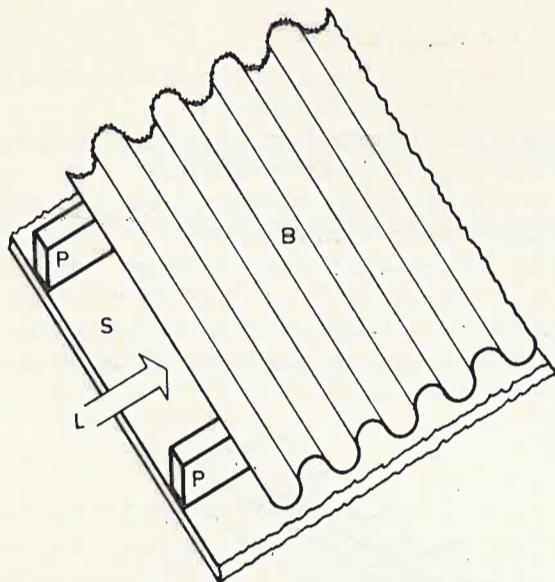


Abb. 28: Kollektor mit freiliegendem Absorber.

P = Pfetten

B = Well- oder Profilblech oder Eternit als Absorber

S = Spanplatten

L = Luftstrom

viel höher als zwei sein. Mit dunklem oder sogar braunem Eternit sinken die Wirkungsgradbereiche von 35 bis 50% auf 25 bis 45%. Auch wenn das Verhältnis der Dachfläche zur Stockgrundfläche mit drei bis vier gewählt wird, ist eine kleinere Luftanwärmung als beim klassischen Kollektor zu erwarten.

Die Mehrkosten betragen für die zusätzlichen Spanplatten und Kanäle Fr. 20,- pro m² Kollektorfläche mit Blech- oder Eternitabsorber.

3.1.4 Druckerhöhung des Ventilators

Die Flächen der Kanäle sollen nach Tabelle 9 dimensioniert werden. Ebenso muss die Summe aller Zwischenräume in der Richtung der Luftströmung (L) (Abb. 27 und 28) dieser Zahl entsprechen. Die Summe berechnet sich aus der Pfetten- oder Sparrenhöhe mal Balkenabstand mal Anzahl Ansaugöffnungen. Durch das Durchströmen der Luft entsteht ein Reibungsverlust. Dieser zusätzliche Druckverlust von 1 mbar ist bei der Ventilatorwahl zu berücksichtigen. Bei zu kleinen Querschnitten der Kanäle und Ansaugöffnungen steigen die Verluste stark an.

3.2. Schlauchkollektor

Ein schwarzer Schlauch aus einer 0,2 bis 0,3 mm dicken Polyäthylenfolie mit einem Durchmesser von 1,9 m wird auf einer Wiese ausgelegt. Dessen Länge beträgt optimal 200 m. Am einen Ende wird ein Hilfslüfter mit 0,75 kW Leistung und einer Fördermenge von ungefähr 7 m³/s angeflanscht. Da-

mit der Wind den Schlauch nicht fortträgt, werden im Innern Sandsäcke mit einem Gewicht von 10 kg/Laufmeter deponiert. Das andere Ende kommt in den Ansaugbereich des Heulüfters.

Wenn die Sonne scheint, erwärmt sich die Luft auf ihrem Weg durch den Schlauch. An schönen Tagen ist eine Leistung von 120 kW beinahe während des ganzen Tages zu erwarten.

Die Anlagekosten eines Schlauchkollektors betragen rund Fr. 2'400.-. Der Arbeitsaufwand für das Verlegen im Frühjahr und für das Abbrechen im Herbst kann auf 28 Stunden veranschlagt werden. Beispielsweise für einen Pachtbetrieb kann er die Möglichkeit bieten, eine Warmbelüftung ohne Öl-ofen zu betreiben.

3.3 Luftentfeuchtungsgerät

Das Gerät saugt Luft von aussen an. Diese wird abgekühlt und scheidet Wasser aus. Die Wasserkondensation bewirkt eine Wärmeabgabe an die Luft. Zusätzlich wird die der Luft entzogene Energie in einem nachgeschalteten Heizregister wieder zugeführt. Mit diesem Prozess gewinnt man trockenere und wärmere Luft.

Die apparative Aufwand ist jedoch hoch. Eine Belüftungsanlage bedingt je nach Grösse zusätzliche Investitionen von Fr. 13'000.- bis Fr. 30'000.- Zum Lüftermotor mit 4 bis 11 kW Leistung ist ein zusätzlicher Anschlusswert von 5 bis 15 kW nötig. Über die Trocknungskapazität einer Belüftungsanlage mit Luftentfeuchtungsgerät sind noch keine genauen Unterlagen verfügbar.

4. Bedienung

4.1. Beschickung der Anlage

Beim Einlagern von Welkheu mit Greifer oder Gebläse ist auf eine gleichmässige lockere Verteilung zu achten. Jedes Futter ist schichtweise einzubringen. Verdichtete Stellen oder einzelne feuchte Nester sind mit der Gabel oder mit dem Greifer zu beseitigen. Kompakte oder verdichtete Stellen lassen sich schwer und schlecht belüften.

4.2 Trocknungskapazität

Die Trocknungsleistung einer Heubelüftungsanlage hängt von folgenden Faktoren ab:

- Fläche der Anlage,
- Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur der Ansaugluft,
- TS-Gehalt des Futters beim Einlagern,
- Luftrate des Ventilators,

- Futterstadium (höherer Rohfaseranteil gleich bessere Wasserabgabe).
- Futterbestand (gut zu trocknen sind ausgewogene und kräuterreiche Bestände).

Für das erstmalige Befüllen einer Heubelüftung gelten Richtwerte nach Tabelle 12. Wenn standortbedingt selten relative Luftfeuchtigkeiten unter 40 bis 50% erreicht werden, sind die Richtzahlen zu reduzieren. Mit Sonnendächern und Schlauchkollektoren lässt sich die Trocknungskapazität fast verdoppeln. Statt mehr, wird eher feuchter eingeführt. Es ist jedoch zu beachten, dass die Sonnenenergie nachts und bei schlechter Witterung ausfällt. Technische Luftanwärmungen wie Ölofen oder Luftentfeuchtungsgerät sind wetterunabhängig. Nach zwei bis drei schönen Belüftungstagen füllt man wieder einen Viertel bis knapp die Hälfte der Richtwerte nach Tabelle 12 nach.

Tabelle 12: Anzahl Ladewagen pro 100m² Stockgrundfläche beim erstmaligen Befüllen

Anzahl Ladewagen	sehr feucht 45%	gut feucht 45%	feucht 40%	mittel
gross (2500 kg)	4	5	7	9
mittel (1800 kg)	6	7	9	12
klein (1000 kg)	10	13	17	22

4.3. Ein- und Ausschalten des Ventilators

Nach jedem Einfüllen von Welkheu soll unabhängig vom Wetter eine Stunde belüftet werden. In der Nacht und während des Regenwetters hat es keinen Sinn, die Kaltbelüftung oder die Belüftung mit Sonnenkollektor dauernd in Betrieb zu halten. Die Ausnützung des Niedertarifs während der Nacht ist nur beim Einsatz eines Warmluftofens oder eines Entfeuchtungsgerätes vertretbar.

Damit der Stock sich bei der Kaltbelüftung nicht zu stark erwärmt, ist jedoch in der Nacht mindestens alle vier bis sechs Stunden ein Lüften von 20 bis 30 Minuten Dauer angezeigt. Dasselbe gilt bei Regenwetter. Dieses Intervallschalten ist nötig, bis der Stock eine Gutfeuchte von ungefähr 20 bis 25% erreicht hat. Damit die Belüftung nicht die ganze Nacht äusser Betrieb ist und sich der Stock nicht übermässig erwärmt, wird mit Vorteil eine Schaltuhr oder ein Steuergerät eingesetzt.

Bei schönem Wetter sind von ungefähr 8.00 bis 20.00 Uhr während der Heuernte in der Regel die Bedingungen für eine Dauerbelüftung gut. Wie es sich auf dem einzelnen Hof mit den Belüftungszeiten während der Rauhfuttersaison verhält, sollte jeder Eigentümer einer Anlage mit einem Luftfeuch-

temesser (Hygrometer) selber bestimmen. Dieses Instrument ist auch eine wertvolle Hilfe bei zweifelhaftem Wetter. Je nach Gutfeuchte kann bei unterschiedlicher Luftfeuchte noch eine Trocknung oder im ungünstigen Fall eine Befeuchtung gemäss Abbildung 29 stattfinden. Ist jemandem die Bedienung der Heubelüftung nach Hygrometer zu kompliziert oder zu mühsam, so kann er eine Steuerung einbauen lassen.

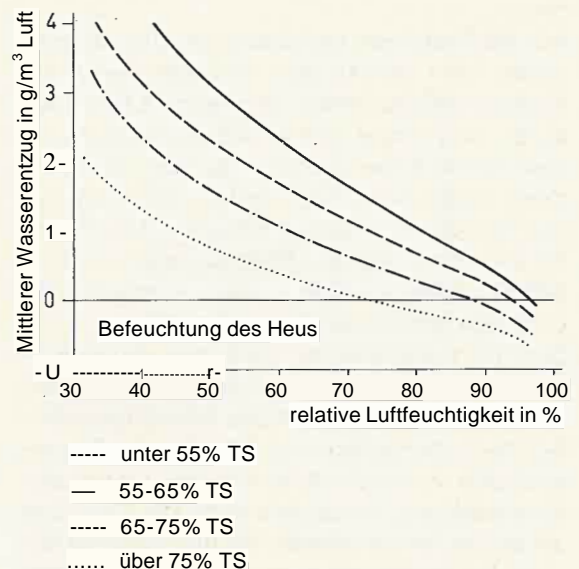


Abb. 29: Durchschnittlicher Wasserentzug in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchtigkeit und verschiedener Trocknungsgrade des Heus.

4.4 Stockkontrolle

Aber auch das beste Steuergerät entbindet nicht von der täglichen Stockkontrolle. Kann dann der Belüftungsbetrieb eingestellt werden, wenn diese Kontrolle ergibt, dass der Stock ganz trocken ist? Nein, das wäre viel zu gefährlich!

Unter der Stockoberfläche können noch einzelne feuchte Stellen verborgen sein. Wenn diese nicht täglich eine Stunde belüftet werden, sind Stockerwärmungen zu erwarten, die bis zur Selbstentzündung des Heus führen. Auf der andern Seite ist es unwirtschaftlich, bei schönem Wetter dauernd «auf Vorrat» zu belüften. Dies bringt nur unnötige Kosten und eine unerwünschte Untertrocknung des Heus. Die Trocknung unter etwa 12% Restfeuchte kann nicht mit allen Steuergeräten verhindert werden. Deshalb soll in der Regel die Endtrocknung mit Handbedienung erfolgen. Erst nach zirka drei bis vier Wochen nach dem letzten Einführen kann die tägliche Stockkontrolle vermindert und auf längere Intervalle ausgedehnt werden. Ergibt dann diese Kontrolle warme, feuchte Abluft auf dem Stock, ist die Belüftung nochmals in Betrieb zu setzen.

5. Schluss

Vor der Planung und dem Bau einer Heubelüftung berechnet man das notwendige Stockvolumen nach den Betriebsverhältnissen. Neben der Stockhöhe sind für die Höhe der Einwandung auch der Absetzraum und die Rosthöhe massgebend. Der Funktionsraum für die Einlagerungsgeräte wie Teleskoprohr mit Schwenkbogenverteiler oder die Greiferzange darf nicht vergessen werden.

Für die Wahl des Ventilators vergleicht man neben den messbaren Grössen wie Luftmenge, Luftdruck, Wirkungsgrad, Lärm usw. auch den Preis oder die Beratung und den Service der Lieferfirma. Der Standort des Lüfters hat einen direkten Einfluss auf die Trocknungsleistung einer Anlage. Richtig dimensionierte Luftführungskanäle und der Flächenrost sind weitere Elemente für eine funktionsgerechte Heubelüftung.

Der Sonnenkollektor und das Entfeuchtungsgerät erhöhen die Trocknungskapazität. Die Schaltuhr oder das Steuergerät erleichtern die Bedienung. Die tägliche Stockkontrolle in Verbindung mit der Luftdrucküberwachung verhindert Verluste. Das Ziel all dieser Massnahmen ist die wirtschaftliche Heukonservierung unter sparsamer Verwendung von Elektroenergie.

Mit einigen Preisangaben werden die Planungsdaten ergänzt. Kosteneinsparungen sind durch Eigenleistungen bei der Einwandung, beim Rost- und Kollektorbau möglich.

Dieses ABC dient zum Planen von Belüftungsanlagen. Funktionelle Fehler an einer bestehenden Anlage können selten mit einem Heizofen, einem Sonnenkollektor, einem Luftentfeuchtungsgerät oder einer Wärmepumpe behoben werden. In diesem

Falle überprüft man alle Anlageteile nach den Richtwerten des zweiten Abschnittes des ABC's.

Allfällige Anfragen über das behandelte Thema, sowie auch über andere landtechnische Probleme, sind an die unten aufgeführten kantonalen Maschinenberater zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der FAT (8355 Tänikon) angefordert werden (Tel. 052 - 47 20 25 Bibliothek).

ZH	Schwarzer Otto, Landw. Schule Weinland, 8408 Wölflingen Tel. 052 - 25 31 21
BE	Brunner Samuel, Bergbauernschule Hondrich, 3702 Hondrich Tel. 052 - 54 11 67 Herrenschwand Willy, Landw. Schule Seeland, 3232 Ins Tel. 032 - 83 32 32 Hofmann Hans Ueli, Landw. Schule Waldhof, 4900 Langenthal Tel. 063 - 22 30 33 Marthaler Hansueli, Landw. Schule Bärau, 3552 Bärau Tel. 035 - 2 42 66 Marti Fritz, Landw. Schule Rütli, 3052 Zollikofen Tel. 031 - 57 31 41 Mumenthaler Rudolf, 3752 Wimmis, Tel. 033 - 57 11 16
LU	Moser Anton, Bergbauernschule, 6170 Schüpfheim Tel. 041 - 76 15 91 Schärli Ueli, Landw. Schule Willisau, 6130 Willisau Tel. 045 - 81 33 18 Wandeier Erwin, 6207 Nottwil, Tel. 045 - 54 14 03 Widmer Norbert, Landw. Schule, Hohenrain, 6276 Hohenrain Tel. 041 - 88 20 22
UR	Zurfluh Hans, 6468 Attinghausen, Tel. 044 - 2 15 36
SZ	Fuchs Albin, Landw. Schule Pfäffikon, 8808 Pfäffikon Tel. 055 - 48 33 45
OW	Müller Erwin, Landw. Schule Giswil, 6074 Giswil Tel. 041 - 68 16 16
NW	Muri Josef, 6370 Stans, Tel. 041 - 63 11 22
ZG	Müller Alfons, Landw. Schule Schluchthof, 6330 Cham Tel. 042 - 36 46 46
FR	Krebs Hans, Landw. Schule Grangeneuve, 1725 Grangeneuve Tel. 037 - 82 11 61
SO	Tschumi Fredi, Landw. Schule Wallierhof, 4533 Riedholz Tel. 065 - 22 93 42
BL	Langel Fritz, Feldhof, 4302 Augst, Tel. 061 - 83 28 88 Speiser Rudolf, Aeschbrunnhof, 4461 Anwil, Tel. 061 - 99 05 10
SH	Hauser Peter, Landw. Schule Charlottenfels, 8212 Neuhausen a. Rhf., Tel. 053 - 2 33 21
AI	Hörler Hansjörg, Loretto, 9108 Gonten, Tel. 071 - 89 14 52
AR	Klee Anton, 9053 Teufen, Tel. 071 - 33 26 33
SG	Haitiner Ulrich, Landw. Schule Rheinhof, 9465 Salez Tel. 085 - 7 58 88 Pfister Theophil, Landw. Schule Flawil, 9230 Flawil Tel. 071 - 83 16 70 Steiner Gallus, Landw. Schule Flawil, 9230 Flawil Tel. 071 - 83 16 70
GR	Stoffel Werner, 7430 Thusis, Tel. 081 - 81 17 39
AG	Müri Paul, Landw. Schule Liebegg, 5722 Gränichen Tel. 064 - 31 52 52
TG	Monhart Viktor, Landw. Schule Arenenberg, 8268 Arenenberg Tel. 072 - 64 22 44
TI	Müller Antonio, 6501 Bellinzona, Tel. 092 - 24 35 53

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Maschinenberatung,
Telefon 052 - 3319 21, 8307 Lindau.

Die «Blätter für Landtechnik» erscheinen monatlich und können auch in französischer Sprache unter dem Titel «Documentation de technique agricole» im Abonnement bei der FAT bestellt werden. Jahresabonnement Fr. 30.-, Einzahlung an die Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, 8355 Tänikon, Postcheckkonto 30 - 520. In beschränkter Anzahl können ferner Vervielfältigungen in italienischer Sprache abgegeben werden.