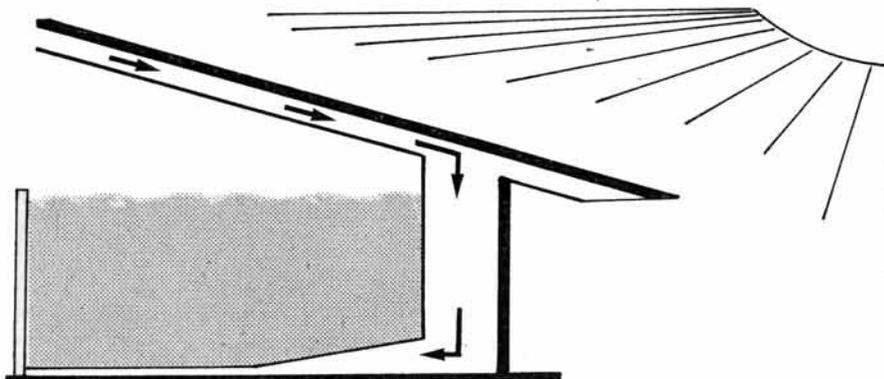


Sonnenkollektoren für die Heubelüftung – Planen und Realisieren

Franz Nydegger



Sonnenkollektoren für die Heubelüftung nutzen die Sonnenenergie während der Monate Mai bis September, also in einer Zeitspanne mit hohem Sonnenenergieangebot. Sie machen die Heubelüftung schlagkräftiger und dadurch wetterunabhängiger, ohne zusätzlichen Fremdenergieverbrauch. Seit 1976 die ersten Pionieranlagen in der Schweiz erstellt wurden, stieg ihre Anzahl auf 1500 Stück. Der vorliegende Bericht soll helfen, bei der Planung und Ausführung landwirtschaftlicher Sonnenkollektoren richtig vorzugehen, damit diese umweltfreundliche Technik weitere Verbreitung findet.

Inhalt:	Seite
1. Grundlagen	2
1.1 Sonnenenergieangebot	2
1.2 Funktionsweise	3
1.3 Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung	4
1.4 Kollektor mit dunkler Abdeckung	4
1.5 Exposition	5
2. Planung von Sonnenkollektoren	6
2.1 Lufterwärmung	6
2.2 Druckverlust durch den Kollektor	6
2.3 Dimensionierung	6
3. Kollektorkonzept	8
3.1 Allgemeines	8
3.2 Ideale Luftführung	8
3.3 Ungleiche Ansauglängen	10
3.4 Lüfterhäuschen/Ventilatorraum	10
4. Bau von Sonnenkollektoren	11
4.1 Kollektoren	11
4.1.1 Im Pfettendach	11
4.1.2 Im Sparrendach	11
4.1.3 Unterzug/Luftleitplatte	12
4.1.4 Lufteinlass	13
4.1.5 Abdichtungen	13
4.2 Sammelkanal	13
4.2.1 Im Pfettendach	14
4.2.2 Im Sparrendach	15
4.3 Luftkanäle	16
4.4 Spezialformen	18
4.4.1 Dachraumkollektoren	18
4.4.2 Aufbaukollektoren	18
5. Investitionsbedarf	18
6. Energieertrag/Energiekosten	20
6.1 Energieertrag	20
6.2 Energiekosten	20

1. Grundlagen

1.1 Sonnenenergieangebot

Das Sonnenenergieangebot schwankt einerseits sehr stark im Jahresverlauf, andererseits aber auch im Tagesverlauf. Pro m^2 horizontale Fläche strahlen zum Beispiel in den fünf Monaten Mai bis September im Mittelland durchschnittlich 100 bis 180 kWh/m^2 Energie ein (Abb. 1). An Schönwettertagen beträgt die Einstrahlung auf Kollektorebene bis zirka 1000 W/m^2 .

Der grosse Vorteil der landwirtschaftlichen Sonnenenergieanwendung für die Heubelüftung liegt darin, dass sie in die Jahreszeit mit hohem Strahlungsangebot der Sonne fällt. Da aber Schönwetterperioden oft durch Gewitter gestört oder unterbrochen werden, ergeben sich nur wenige Heuerntegelegenheiten mit drei und mehr Tagen, welche für die Bodenheubereitung ausreichen würden. Um die Heubelüftungsanlagen schlagkräftiger zu machen, lassen sich verschiedene Hilfsmittel wie Ölöfen, Wärmepumpen, Luftentfeuchter oder Sonnenkollektoren einsetzen. Der Energieertrag eines Sonnenkollektors hängt einerseits vom Energieangebot der Sonne, vom Wirkungsgrad des Kollektors und von der Dauer der Belüftung ab. Sonnenkollektoren für die Heubelüftung können Zeitabschnitte mit einer Einstrahlung von mindestens 200 W/m^2 gut nutzen. In Abb. 2 sind die unter dieser Bedingung ausgewählten Einstrahlungswerte aufgeführt. Dabei handelt es sich um 10-Jahres-Mittelwerte aus Stundenwerten der meteorologischen Daten der Stationen

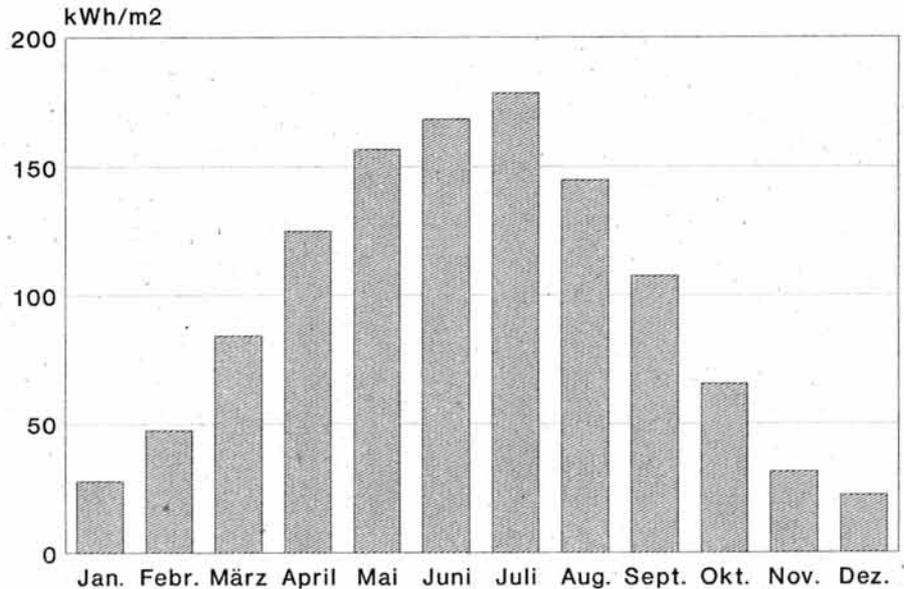


Abb. 1: Monatsmittelwerte der Globalstrahlung (W/m^2) in der Gemeinde Aadorf.

Payerne, Güttingen und Altdorf. Im Durchschnitt der 153 Tage (Mai bis Sept.) fallen pro Tag acht für den Sonnenkollektor verwertbare Stunden mit einer Einstrahlung von 573 W/m^2 an. Daraus kann ein Kollektor mit einem Wirkungsgrad von 45% rund 260 W/m^2 gewinnen.

Der Sonnenkollektor stellt die einzige Lösung dar, welche auf zusätzliche Fremdenergie verzichten kann. Zudem kann die Heubelüftung gezielt an Tagen mit gutem Strahlungsangebot eingesetzt werden. In der übrigen Zeit erfolgt der Betrieb intervallmässig.

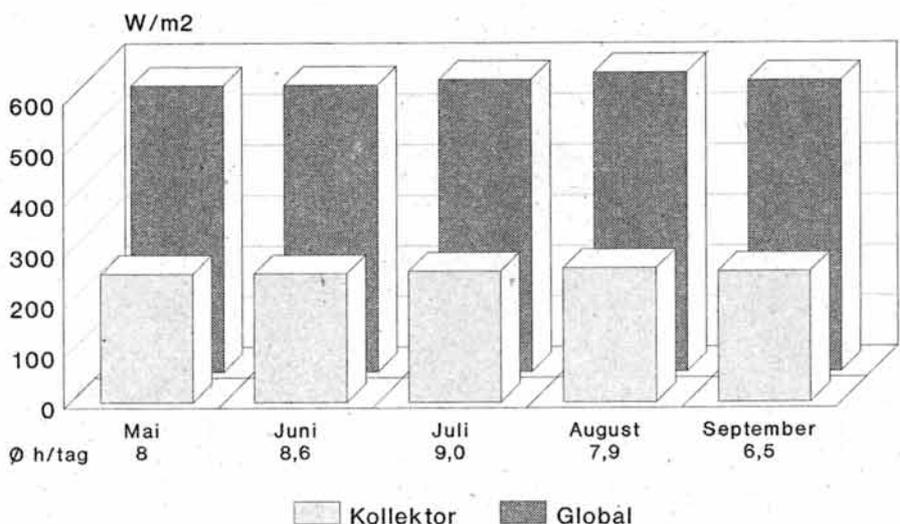


Abb. 2: Sonnenkollektoren können Zeitabschnitte mit einer Sonneneinstrahlung von 200 W/m^2 gut nutzen. Die Grafik zeigt einen Auszug aus den meteorologischen Daten der Stationen Payerne, Güttingen und Altdorf. Das 10-Jahres-Mittel der für Kollektoren nutzbaren Einstrahlungswerte betrug gut 570 W/m^2 (hintere Balkenreihe). Ein Kollektor kann daraus ca. 260 W/m^2 thermische Leistung erbringen. Dafür stehen ihm im Mittel 6,5 – 9h/Tag zur Verfügung.

1.2 Funktionsweise

Ein dunkler Gegenstand (Absorbier) wird von den Sonnenstrahlen erwärmt und kann diese Wärme wieder an die Umgebung abgeben. Der Sonnenkollektor nutzt diese Effekte aus. Beim Luftkollektor gibt der dunkle Körper die Wärme an die daran vorbeiströmende Luft ab (Abb. 3). Die Erhöhung der Lufttemperatur bewirkt ein Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit und erhöht dadurch das Wasseraufnahmevermögen der Luft. Je nach Anlagebedingungen kann der Wasserentzug je m^3 Luft um 50 bis 75% erhöht und der Stromverbrauch des Ventilators entsprechend reduziert werden. Dadurch ist es möglich, entweder feuchter einzuführen oder schneller zu trocknen. Der Landwirt wählt in der Regel eine Kombination der beiden Vorteile. Es stehen grundsätzlich zwei verschiedene Kollektorbauweisen zur Verfügung.

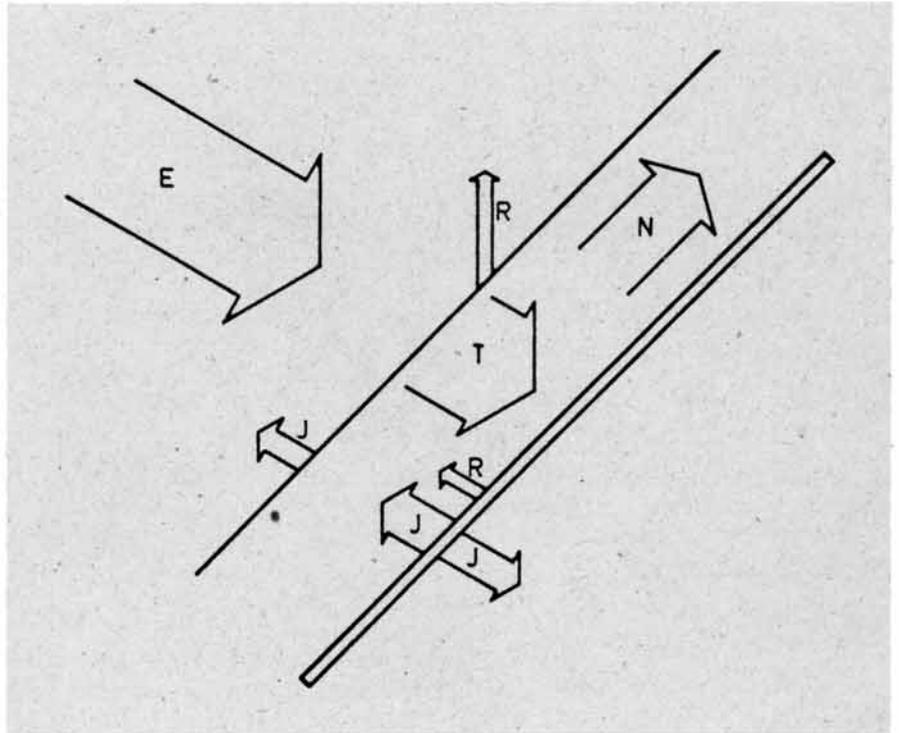


Abb. 3: Kollektor schematisch

E = Einstrahlung

R = Reflexion

J = Wärmeabstrahlung

N = Nutzenergie

T = beim durchlässigen Kollektor durchgelassene Strahlung

T = beim Kollektor mit dunkler Abdeckung Wärmeübertragung an Luft

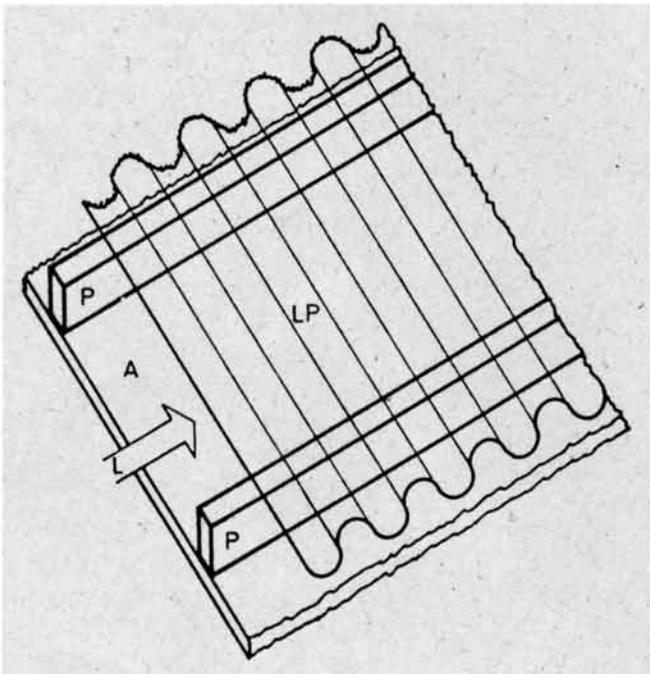


Abb. 4: Lichtdurchlässiger Kollektor

P = Balken

LP = Lichtplatten

A = Absorber (Spanplatte schwarz)

L = Luft

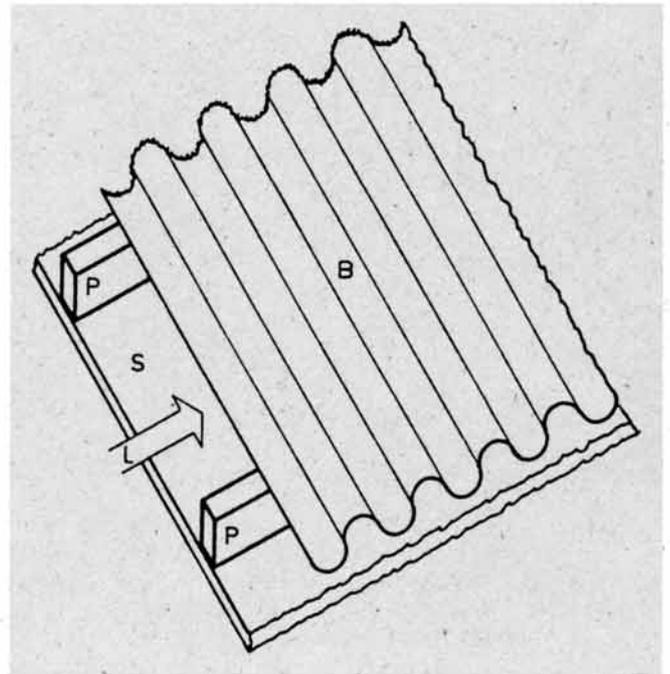


Abb. 5: Kollektor mit dunkler Abdeckung

P = Balken

B = Eternit oder Blechplatte

S = Spanplatte

L = Luft

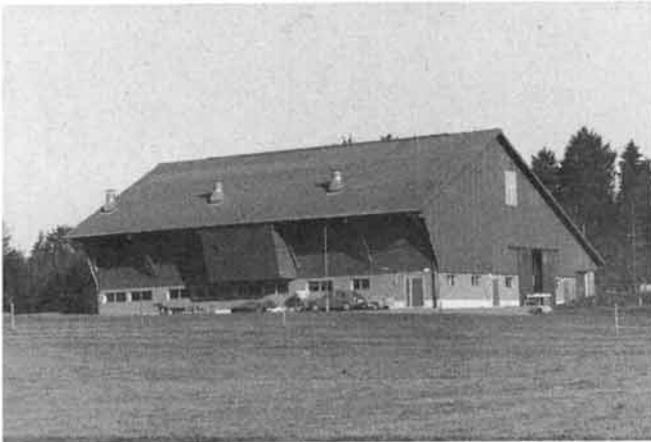


Abb. 6: Eternitkollektoren sind von aussen nicht zu erkennen und eignen sich deshalb auch in Lagen mit hohen Anforderungen an das Erscheinungsbild der landwirtschaftlichen Gebäude.



Abb. 7: Blechkollektor als Ersatz des alten Ziegeldaches. Luft-eintritt auf der Rückseite des Firsts. Der Sammelkanal führt die Luft unter dem Vordach von beiden Seiten zum Lüfter.

1.3 Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung

Der Kollektor mit der lichtdurchlässigen Abdeckung (Abb. 4) nützt den sogenannten Treibhauseffekt aus. Das heisst, die Sonnenstrahlen dringen durch die Abdeckung auf die dunkle Absorberplatte. Von dieser werden sie absorbiert, d.h. das kurzwellige Licht wird in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. Die Wärmestrahlung kann die Abdeckplatte nicht mehr durchdringen. Dadurch kann die eingestrahelte Energie gut ausgenutzt werden, da die Abstrahlung an die Umgebung

gering bleibt. Weil die lichtdurchlässigen Kollektoren in der Landwirtschaft aus ästhetischen Gründen praktisch nicht mehr erstellt werden können, wird hier nicht auf weitere Details wie selektive Beschichtungen etc. eingegangen.

1.4 Kollektor mit dunkler Abdeckung

Beim Kollektor mit dunkler Abdeckung (Abb. 5) fällt die von den Sonnenstrahlen erzeugte Wärme auf der Abdeckung an. Sie kann somit an die Aussenluft wie auch an die durch den Kol-

lektor strömende Luft abgegeben werden. Die Wärmeübertragung vom Absorber an die vorbeiströmende Luft erfolgt hauptsächlich durch Konvektion (Wärmeleitung). Deshalb ist eine gute Verwirbelung der Luft im Kollektor wichtig. Je höher die Luftgeschwindigkeit im Kollektor ausfällt, desto besser wird der Wirkungsgrad, desto höher wird aber auch der Druckverlust im Kollektor.

1.4.1 **Eternitkollektoren** (Abb. 6) stellen bei Neubauten die weitaus grössten Anteile. Sie sind unproblematisch im Aussehen. Der Wirkungsgrad liegt in der Regel bei 40 bis 50%. Zum Erreichen eines hohen Wirkungsgrades ist eine sorgfältige Planung mit der richtigen Kanalhöhe resp. Luftgeschwindigkeit notwendig.

1.4.2 Der **Ziegelkollektor** kommt an Standorten mit extremen Anforderungen an das Erscheinungsbild der Dächer und bei Umbauten zum Zug. Generell muss hier mit relativ niedrigen Wirkungsgraden von 30 bis 40% gerechnet werden. Eine optimale Auslegung und Luftführung wie beim Eternitkollektor

Tabelle 1: Kollektoreigenschaften

Lichtdurchlässige Abdeckung z.B. Polyester Polycarbonat Glasplatten	Dünkle Abdeckung z.B. Eternit Blech Ziegel
<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Wirkungsgrade - Verhältnismässig kleine Verluste bei niedrigen Luftdurchsätzen und über den Kollektor streichenden Windbewegungen - Mangelhafte Festigkeit gegenüber Hagelschlag - Vergilbung und Alterung - Brennbares Material - Aussehen ungünstig 	<ul style="list-style-type: none"> - Unauffällige Erscheinung - Lange Lebensdauer - Feuer- und Hagelfest - Etwas tieferer Wirkungsgrad - Höhere Druckverluste vor allem bei Eternit - In windexponierten Lagen verminderte Leistung

tor ist wegen der Gefahr von «Falschluff» (Ziegelzwischenräume) nicht möglich. Ebenso stösst man mit dem Ausgleichen des schlechten Wirkungsgrades durch mehr Fläche an Grenzen des Machbaren. Etwas schwierig zu beurteilen ist das Verhalten nach Niederschlägen. Es ist davon auszugehen, dass Ziegel relativ langsam trocknen und dass Feuchtigkeit durch die Ritzen angesaugt wird.

1.4.3 Der **Blechkollektor** (Abb. 7) aus einbrennlackiertem Alu- oder Stahlblech liegt sowohl im Wirkungsgrad wie im Erscheinungsbild zwischen dem Eternitkollektor und dem kaum mehr neu erstellten durchsichtigen Kollektor. Für Betriebe an industrienahen Standorten oder in Gegenden mit traditionell vorhandenen Blechdächern ist er eine gute, kostengünstige Lösung. Eine dachziegelähnliche Prägung hilft mit, das Erscheinungsbild zu verbessern.

1.5 Exposition

Eine günstige Exposition setzt den Sonnenkollektor möglichst lang und vollständig dem Sonnenlicht aus. Für die Zeit von Mai bis September ergibt eine Dachfläche mit Südexposition und 20° Neigung die beste Ausnutzung der einfallenden Sonnenenergie (Abb. 8). Die gesamte Sonneneinstrahlung setzt sich aus der direkten und der diffusen (indirekten) Strahlung zusammen. Da in der landwirtschaftlichen Trocknung vor allem Schönwettertage mit hohem Anteil an direkter Strahlung interessieren, sind in Tab. 2 die Ausnutzung der einfallenden Direktstrahlung für verschiedene Expositionen und Dachneigungen aufgeführt. Dies immer in Prozenten der Ausnutzung bei optimaler Stellung (Süd/20°

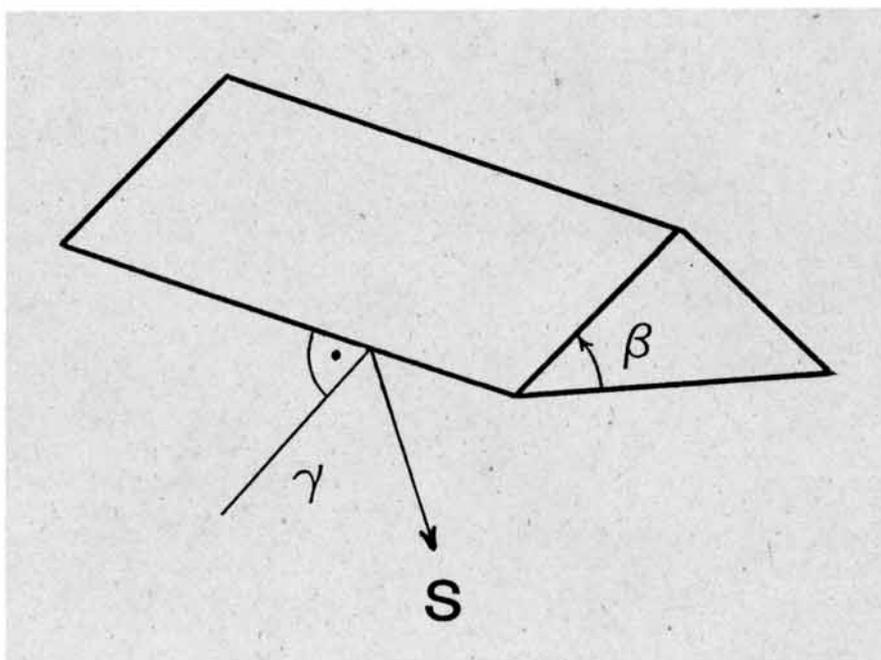


Abb. 8: Exposition des Kollektors.
Die Ausrichtung (Exposition) eines Daches wird mit zwei Winkeln definiert:
 γ = Abweichung der Dachfläche von der Süd-Exposition
 β = Dachneigung

Dachneigung). Daraus geht hervor, dass zum Beispiel eine nach Westen oder Osten (90°) ausgerichtete Dachfläche mit 10° Neigung gut 90% der Energie einer Südfäche mit 20° Neigung erbringt; bei 90° und 50° Dachnei-

gung sind es nur noch gut 70%. Es ist auch ersichtlich, dass dank dem hohen Sonnenstand im Sommer selbst Nordflanken eine Leistung von bis 85% einer Südfäche erbringen, sofern sie nur leicht (10°) geneigt sind.

Tabelle 2: Relative Ausnutzung der direkten Strahlung bezogen auf die ideale Exposition Süd und Dachneigung 20°

Exposition (Abweichung von Süd)	Dachneigung				
	10°	20°	30°	40°	50°
Grad					
0 Süd	98	100	99	96	89
30	97	99	98	94	88
60	95	94	92	89	83
90 West/Ost	91	88	84	79	72
120	88	81	73	65	57
150	86	76	65	52	39
180 Nord	85	74	62	47	32

2. Planung von Sonnenkollektoren

2.1 Lufterwärmung

Die Aufgabe des Sonnenkollektors besteht darin, die Trocknungsluft für die Heubelüftung aufzuwärmen. Dadurch kann diese mehr Wasser aufnehmen, also den Stock schneller trocknen. Wird zum Beispiel Luft mit 90% relativer Luftfeuchtigkeit von 15°C um 6°C auf 21°C erwärmt, fällt ihre rel. Feuchtigkeit auf ca. 60%. Solche Luft genügt für eine Fertigtrocknung des Welkheus bis etwa 88% TS. (Aus Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit lässt sich das Sättigungsdefizit, auch Wasseraufnahmevermögen genannt, berechnen.) Erfahrungsgemäss befriedigt die Leistung eines Kollektors, wenn er bei 800 W/m² eine Luftanwärmung von 6°C erreicht.

2.2 Druckverlust durch den Kollektor

Die zu erwärmende Trocknungsluft saugt der Heubelüftungs-Ventilator zwischen dem Dach und der darunter liegenden Luftleitplatte (Spanplatte) ab. Der Lufteinlass aus dem Freien und die Luftbewegung an der meist welligen Dachunterseite verursacht einen Druckverlust. Dieser Verlust steigt sehr rasch bei grösseren Luftgeschwindigkeiten an (im Quadrat der Geschwindigkeit!). Üblich wird der Druckverlust bei 1 mbar limitiert. Ausnahmsweise, d.h. beim zeitweiligen Betrieb von zwei Ventilatoren, liegt die Grenze bei 1,5 mbar. Diese Verlustwerte umfassen auch die Druckverluste im Sammelkanal bis zum Ventilator, wenn die Luftleitungen gemäss den Richtlinien (Kapitel 4.3) dimensioniert werden.

Welche Faktoren beeinflussen nebst der Sonneneinstrahlung und der Exposition noch die Leistung des Kollektors?

- Die **Fläche**. Ein grossflächiger Kollektor kann mehr leisten als ein kleiner.
- Der **Wirkungsgrad**. Je höher der Wirkungsgrad, desto besser fällt die Nutzung der eingestrahlten Energie aus. Besonders bei Kollektoren mit dunkler Abdeckung kann der Wirkungsgrad durch eine optimale Wahl der Luftgeschwindigkeit beeinflusst werden.
Hohe Geschwindigkeit im Kollektor
 - gute Verwirbelung der Luft
 - gute Wärmeübertragung von der Abdeckung an die Luft = hoher Wirkungsgrad.
- Die **Kanalhöhe**. Sie wird dazu benutzt, die richtige Luftgeschwindigkeit zu erreichen. Je niedriger die Kanalhöhe, desto höher der Wirkungsgrad, aber desto höher auch der Druckverlust durch den Kollektor!
- Die **Kollektorlänge**. Bei langen Kollektoren nimmt der Wirkungsgrad mit zunehmender Länge ab. Zudem sind wegen dem zunehmenden Druckverlust relativ hohe Kollektorkanäle notwendig.

Der zusätzliche Druckverlust erhöht die erforderliche Motorenleistung um 25 bis 35%. Diese Mehrleistung wird jedoch mehr als aufgehoben durch die kürzere Trocknungszeit infolge der angewärmten Luft, so dass ein kleinerer Stromverbrauch als bei der Kaltbelüftung entsteht.

2.3 Dimensionierung

Die definitive Dimensionierung erfolgt vorteilhaft mit dem PC-Programm «Sonnenkollektor». Es basiert auf Messungen an Modellkollektoren am Paul-Scherrer-Institut in Würenlingen. Aufgrund der Resultate entstand der FAT-Bericht Nr. 325 «Dimensionierung von Sonnenkollektoren für die Heubelüftung» sowie ein Computer-Programm für Grossrechner. Dieses Programm liegt nun in modifizierter Form für Personalcomputer vor.

Das Programm berechnet je nach Wahl der Kollektorfläche und des Dachmaterials – ausgehend von der grössten Pfetten- oder Sparrenhöhe – die Luftgeschwindigkeit im Kollektor, den Druckverlust, den Wirkungsgrad und die Temperaturerhöhung der Trocknungsluft bei 800 W/m² Einstrahlung der Sonne. Dieser Berechnungsgang wird mehrmals wiederholt, wobei die Kanalhöhe jedesmal um 1 cm abnimmt.

Die Berechnung kann für fünf verschiedene Kolleortypen durchgeführt werden:

- Typ 1: Eternit braun, quergewellt
- Typ 2: Eternit braun, längsgewellt
- Typ 3: Aluminium braun, quergewellt
- Typ 4: Polycarb. transparent, quergewellt
- Typ 5: Ziegelabdeckung

Wenn die Ansauglängen nicht gleich gross sind, erlaubt das Programm, unterschiedliche Kanalhöhen auszuwählen, bei denen die Druckverluste etwa gleich gross sind.

Es können Anlagen mit 1 oder 2 Ventilatoren, welche einzeln und gemeinsam in Betrieb sind, berechnet werden. Resultieren aus der Berechnung eine Temperaturdifferenz von 6°C und ein Druckverlust von ca. 0,7 – 1 mbar, ist, eine gute Lösung gefunden. Ist dies nicht der Fall, kann gemäss Tab. 3 eine Verbesserung erwirkt werden.

Tabelle 3: Massnahmen zur Verbesserung der Kollektorresultate

Problem	Massnahme
1 Lüfter in Betrieb	
Temperaturdifferenz zu gering	Überprüfen der Kollektorkanalhöhen. Wird 1 mbar Druckverlust nicht erreicht, dann Kollektorkanalhöhe verkleinern. Ist Druckgrenze erreicht, dann Kollektorfläche vergrössern.
Druckverlust zu hoch	Wenn max. Kollektorkanalhöhe bereits gerechnet, dann Kollektor kürzer und dafür breiter machen, evtl. durch zweiseitigen Ansaug. Sonst Kollektor verbreitern (und dadurch vergrössern), z.B. durch Ausnutzen des Vordachs.
Temperaturdifferenz zu hoch (z.B. über 10° C)	Verkleinerung des Kollektors durch Verminderung der Breite, sofern vom Druckverlust her möglich. Sonst Wahl einer anderen, kürzeren Kollektorform.
2 Lüfter in Betrieb	
Ungleiche Temperaturdifferenz bei verschiedenen starken Lüftern	Auslegung des Kollektors auf den grösseren Lüfter, sofern nicht mehrheitlich beide Lüfter in Betrieb sind.
Druckverlust mehr als 1,5 mbar	Vergrössern der Kollektorkanalhöhe unter Inkaufnehmen einer etwas kleineren Wirkung beim Betrieb mit einem Lüfter. Oder regulierbare Aussenöffnungen für den Ansaug von Falschluff erstellen (reguliert nach Unterdruck im Lüfterraum)
Temperaturdifferenz unter 6° C	Wenn nicht häufig beide Lüfter laufen, so kann diese vernachlässigt werden.

Tabelle 4: Vergleich Kollektorleistungen

Typ und Lüfrichtung zur Wellung	Zwischenraum bei Druckverlust max. Imbar	Wirkungsgrad in %	Temperaturerhöhung °C
Eternit quer	10 cm	44	7,1
Blech quer	8 cm	52	8,5
Polycarbonat			
durchsichtig quer	8 cm	58	9,5
Eternit längs	12 cm	42	6,9
Ziegel längs	10 cm	37	6,1

Kollektor mit 250 m² für Heustock von zirka 100 m², Sonneneinstrahlung 800 W/m², 500 m ü.M., Ansaugstrecke 10 m. Der Eternitkollektor erreicht bei einem Wirkungsgrad von 44% eine Luftanwärmung von zirka 7°C. Ein Blechkollektor erwärmt die Luft um zirka 8,5°C und ein durchsichtiger Kollektor um 9,5°C. Der heute selten mehr erstellte durchsichtige Kollektor könnte die Temperaturerhöhung des Eternitkollektors von zirka 7°C bereits mit einer Fläche von 180 m² erreichen. Oder anders ausgedrückt: Der schlechtere Wirkungsgrad des Eternitkollektors kann in vielen Fällen durch eine grössere Fläche aufgefangen werden. Die Differenz vom Ziegelkollektor zum Eternitkollektor lässt sich aber schwerlich durch eine noch grössere Kollektorfläche ausgleichen. Die Luftführung sowie die vorhandenen Dachflächen setzen hier oft Grenzen.

3. Kollektorkonzept

3.1 Allgemeines

Beim Entwurf des Kollektorkonzepts empfehlen wir folgendes Vorgehen. Zuerst stellen wir fest, wie gross die Heubelüftungsfläche der Scheune sein soll. Sind zwei Heustöcke vorhanden, taucht sofort die Frage auf, ob beide Stöcke gleichzeitig mit angewärmter Luft versorgt werden sollen. Trifft dies nach Auskunft des Landwirtes nie oder nur in Ausnahmefällen zu, weil selten beide Anlagen in Betrieb sind, so richtet sich die Kollektorauslegung nur nach dem grösseren Stock. Andernfalls müssen Kollektorkanäle und Luftzufuhrkanal für die gesamte Luftmenge ausgelegt werden. Die Leistung eines Kollektors hängt direkt mit seiner Fläche zusammen. Die Fläche sollte nicht zu klein gewählt werden, da sonst die Erwartungen nicht erfüllt werden und unter Umständen auch Schwierigkeiten mit der Luftführung auftreten können (zu wenig Querschnitt). Als grobe Faustzahl für den Einstieg in die Planung gilt:

**Eternitkollektorfläche
= 2,5 × Heustockfläche.**

Bei der Berechnung kann diese Fläche dann noch etwas nach oben oder unten angepasst werden.

Aufgrund der Pläne lässt sich feststellen, welche Dachflächen sich für den Einbau des Sonnenkollektors eignen (siehe Kap. 1.5 Exposition).

Verläuft der First praktisch von Nord nach Süd, so ist eine Verteilung der Sonnenkollektorfläche auf beide Dachflanken sinnvoll. Steht bei Südflanken zu wenig Fläche zur Verfügung (niedrige Luftanwärmung, zu hoher Druckverlust resp. zu

grosse Kollektorkanäle notwendig), so kann ein Teil des Norddachs miteinbezogen werden. Für einen objektiven Vergleich der Varianten mit unterschiedlicher Exposition muss die berechnete Temperaturdifferenz der Teilfläche mit dem Ausnutzungsgrad aus Tabelle 2 multipliziert werden (Wert in % geteilt durch 100).

Lüftungskamine, Hocheinfahrten und Anbauten können den Sonnenkollektor beeinträchtigen. Das heisst sie behindern den Luftstrom in den Kollektorkanälen oder erschweren das Ansaugen der Luft. Solche Hindernisse gilt es schon bei der Wahl der Dachfläche zu erfassen und allenfalls zu umgehen.

Ein Vergleich der Kollektorleistungen anhand eines Beispiels ergibt die in Tab. 4 «Kollektorleistungen» wiedergegebenen Werte.

3.2 Ideale Luftführung

Der Kollektor und die Verbindung Kollektor-Belüftung hängt nun sehr stark vom Gebäudekonzept ab. Wir unterscheiden grundsätzlich zwischen Pfetten- und Sparrendächern. Die nachfolgenden Luftführungsbeispiele sind deshalb in zwei Gruppen nämlich Pfetten- (P) oder Sparrendächer (S) eingeteilt.

P 1: Eine einfache Lösung für eine Dachflanke mit einseitigem, stirnseitigem Ansaug- und Sammelkanal auf der gegenüberliegenden Seite.

P 2: Diese Anordnung findet man oft bei deckenlastigen Scheunen. Die Luft wird von beiden Stirnseiten angesaugt und in der Mitte durch einen unterkant Binder bündigen Sammelteil zum Lüfter gebracht. Bei dieser Variante ist der heruntergehängte Sammelkanal Bestandteil des Kollektors.

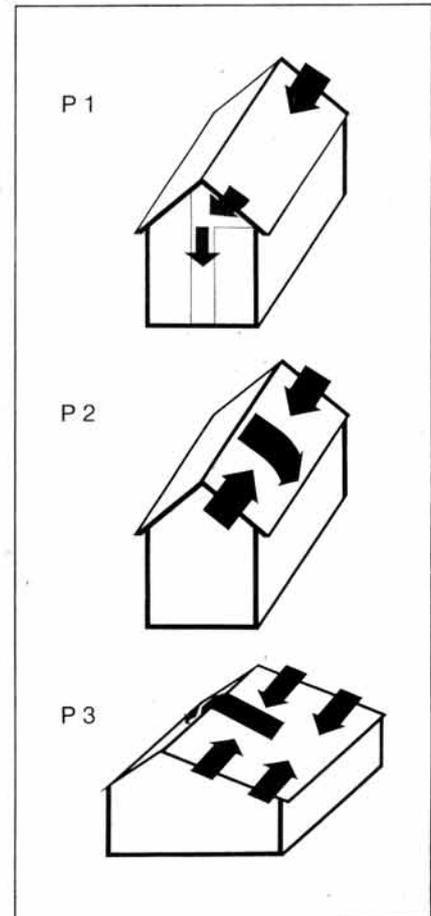


Abb. 9: (siehe P1 - 3) im Text

P 3: Ein Fall, der besonders bei grösseren Bauten wie Boxenlaufställen anzutreffen ist. Der Stall liegt meistens südseitig unter einer nur leicht geneigten Dachfläche. Der Heustock befindet sich auf der Nordseite. Die Lüfter stehen dann, vor allem bei Greiferbetrieben, auch an der kalten, nördlichen Aussenwand, für eine Kaltbelüftung denkbar schlechte Voraussetzungen. Nachteile dieser Lösung sind lange Zufuhrkanäle. Dafür kommt zum Effekt des Sonnenkollektors noch der Vorteil der günstigeren Ansaugbedingungen.

P 4 - 7: Eine sehr kostengünstige Variante von Sonnenkollektoren ergibt sich bei Anbauten von Ställen an bestehende Scheunen oder erdlastige Bergehal-

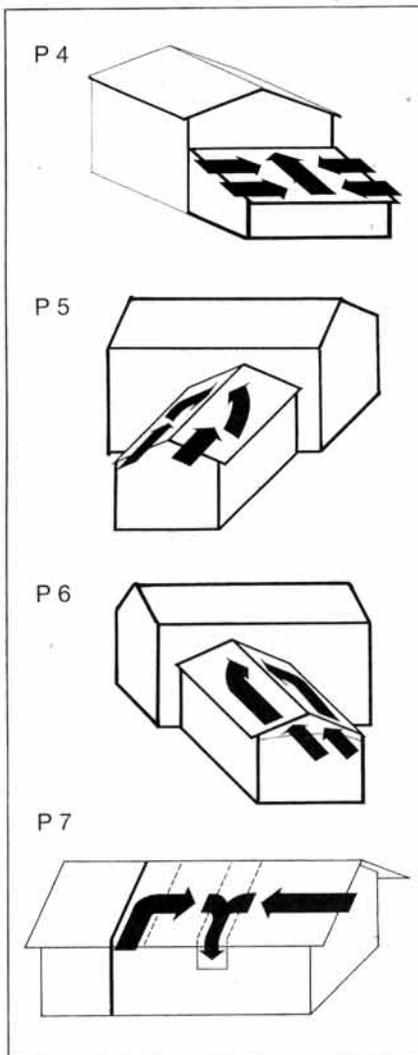


Abb. 10: (siehe P4 - 7) im Text

len. Die meisten Ställe werden als Warmställe gebaut und weisen daher bereits eine isolierte Stalldecke auf.

Bei P 4 saugt der Lüfter die Luft in den Pfettenzwischenräumen direkt zwischen Stalldecke, Isolation und Abdeckung durch. Der Sammelteil kann durch ein Absenken der Decke im obersten Bereich erstellt werden.

Bei P 5 und P 6 fließt die Luft durch das Stalldach und wird lediglich am Ende gesammelt und zum Lüfter geführt. Der bauliche Aufwand ist gering, dafür wird wegen dem schlechten Wirkungsgrad (zu grosser Querschnitt) eine grosse Fläche notwendig.

P 7 kommt bei extrem langen oder durch eine Brandmauer oder einen Anbau begrenzten Dächern in Frage. Das Absenken des Einsaugkanals führt zu zusätzlichen Aufwendungen.

Sparrendächer bilden Luftkanäle, welche vom First zur Traufe verlaufen. Dadurch ist bei Süddächern ein Ost-West-seitiger Ansaug der Luft nicht möglich.

S 1: Hier führt ein Kanal im Firstdreieck die Luft zu den Kollektorkanälen, und ein Sammelkanal bringt sie der Traufe entlang zum Lüfter.

S 2: Eine weitere Möglichkeit, die Luft am First anzusaugen, besteht im über dem First hinauslaufenden Dach (zum Beispiel Alu-Blech). Hier wird das Blech so abgeknickt, dass es eine Firstkappe bildet.

S 3: Die Luft strömt entlang der Traufe in die Kollektorkanäle ein. Ein Firstsammelkanal und ein senkrechter Zufuhrkanal sorgen für die Verbindung zum Lüfter.

S 4: Eine Lösung für Dächer mit einem Nord-Süd-First, also

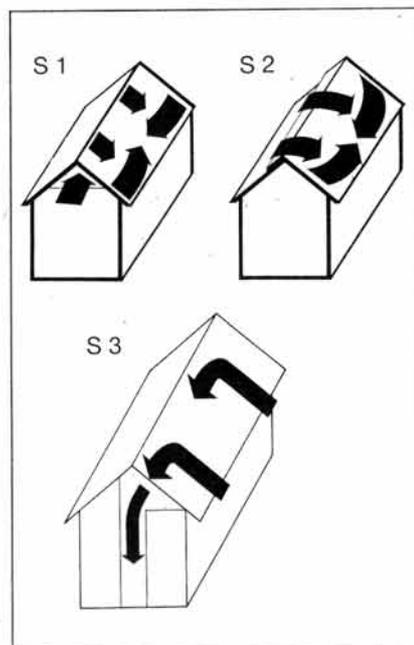


Abb. 11: (siehe S1 - 3) im Text

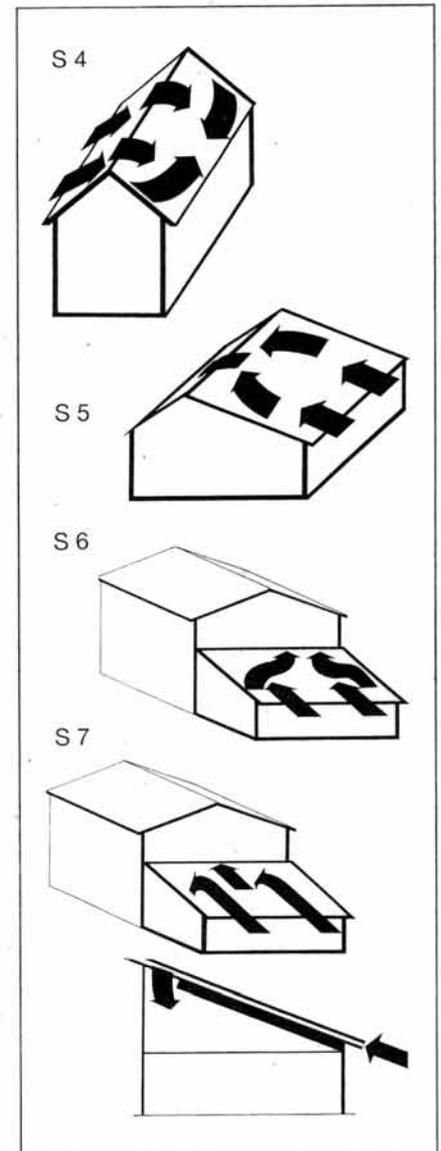


Abb. 12: (siehe S4 - 7) im Text

mit einer Ost- und einer Westflanke des Kollektors.

S 5: Die Luft strömt von der Traufe gegen den First und wird dort gesammelt und auf der Rückseite (oder unter Umständen auch seitlich) zum Lüfter gebracht.

S 6: Eine Anbaulösung mit Nutzung des Zwischenraums Stalldecke-Abdeckung. Ein Sammelkanal übernimmt die Luft im Bereich, wo das Stalldach an die Scheunenwand anschliesst.

S 7: Weist der Anbau (evtl. schon bestehend) eine horizontale Decke auf, so sollte für eine gute

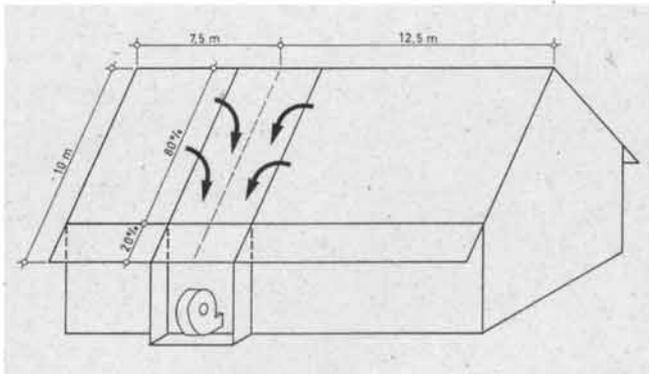


Abb. 13: Unterschiedliche Ansauglängen. Berechnung mit Programm Sonnenkollektor. Ziel: Gleiche Luftanwärmung in beiden Kollektorteilen. Weg: Berechnung mit PC-Programm mit Teillänge. Wahl der Kollektorkanalhöhen mit ca. gleicher Temperaturerhöhung und gleichem Druckverlust.

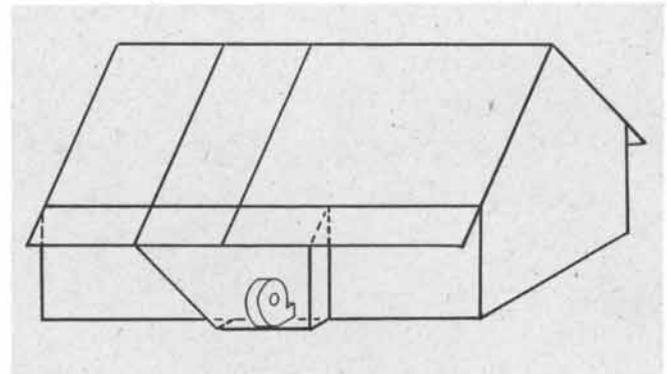


Abb. 14: Mit dem seitlich versetzten Lüfterhaus kann die Luft von einem Binderfeld zum andern umgelenkt werden.

Wirkung (genügend Luftgeschwindigkeit) eine Luftleitplatte unter die Sparren eingezogen werden. Ein spezieller Luftleitkanal ist nicht nötig, wenn der Dreieckraum einigermaßen abgedichtet werden kann. Auch hier gilt es, der Stallentlüftung Rechnung zu tragen.

Da bei einigen dieser Varianten mit Luftführungen über den First hinaus eine Firstentlüftung entfällt, ist für eine genügende Entlüftung an den Stirnseiten zu sorgen.

3.3 Ungleiche Ansauglängen

Bei Kollektoren mit zweiseitigem Ansaug liegt der Sammel-

kanal nicht immer in der Mitte (Abb. 13). In einem solchen Fall wird für jeden Kollektorteil (Ansaug bis Mitte Sammelkanal) die Berechnung der Kanalhöhe durchgeführt (siehe Programm Sonnenkollektor). Dadurch wird ein optimaler Wirkungsgrad des Kollektors erreicht. Es ist darauf zu achten, dass die Ausführung am Bau auch mit den entsprechenden unterschiedlichen Zwischenräumen erfolgt.

3.4 Lüfterhäuschen/ Ventilatorraum

In der Regel steht der Lüfter direkt im Luftzufuhrkanal (Abb. 14). Der Ventilatorraum kann ganz unterschiedliche Masse

aufweisen. Im Gebäudeinnern kann er gleichzeitig als Lagerraum dienen (zum Beispiel Raum zwischen Aussenwand und Heustockeinwandung). Der Ventilatorraum muss nach aussen dicht sein und der Luftstrom zum Ventilator muss gewährleistet sein. Das an die Aussenwand angebaute Lüfterhäuschen und der Ventilatorraum können auch für einen seitlichen Versatz (zum Beispiel um 1 Binderfeld) benutzt werden, wenn das ideale Sammelkanalfeld nicht mit dem Binderfeld, in welchem der Lüfter steht, übereinstimmt. Im weiteren kann die Verteilung der Luft auf zwei Ventilatoren durch den Lüfterraum erfolgen (Abb. 15).

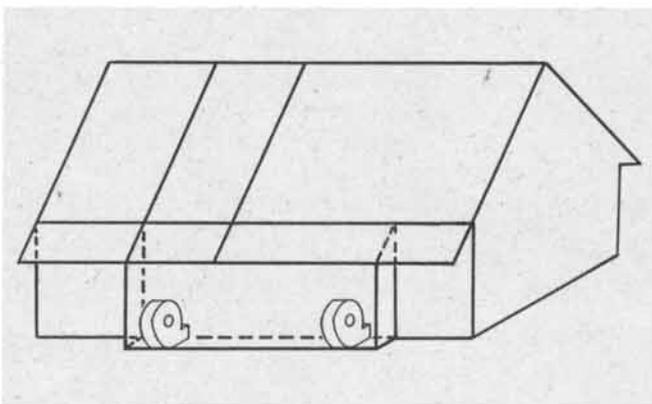


Abb. 15: Breites Lüfterhaus zum Verteilen der Luft auf zwei Lüfter



Abb. 16: Lüfterraum zwischen Heustockeinwandung und Fassade. Eine Türe sichert den Zugang zum Lüfter und erlaubt einen direkten Lufteinlass.

4. Bau von Sonnenkollektoren

4.1 Kollektoren

4.1.1 Im Pfettendach

Als Pfetten bezeichnen wir etwas vereinfachend die Sparren- oder auch Eternitpfetten. Dies sind die horizontal laufenden Balken, welche die Dachhaut (zum Beispiel Eternitplatten) tragen. Sie weisen in der Regel Masse von 16 bis 22 cm Höhe und 8 bis 12 cm Breite auf. Die Stärken und Abstände der Pfetten müssen vom Architekten oder Holzbau-Fachmann gemäss den örtlichen Schneelasten berechnet werden. Es ist von Vorteil, Gerberstösse (Abb. 17 und 18) anstatt Koppelpfetten zu verlegen, da diese einen ungehinderten Luftfluss gewährleisten. Sie bilden die seitlichen Wände der verschiedenen Kollektorkanäle. Als untere Begrenzung der Kollektorkanäle dient eine Luftleitplatte, in der Regel

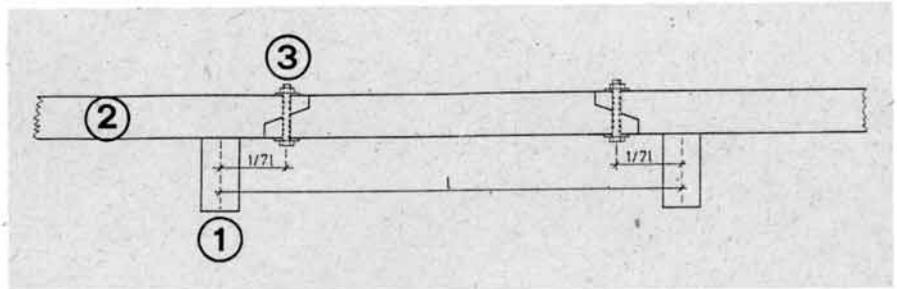


Abb. 17: Gerberstösse

1 = Leimbinder 2 = Pfette 3 = Bauschraube

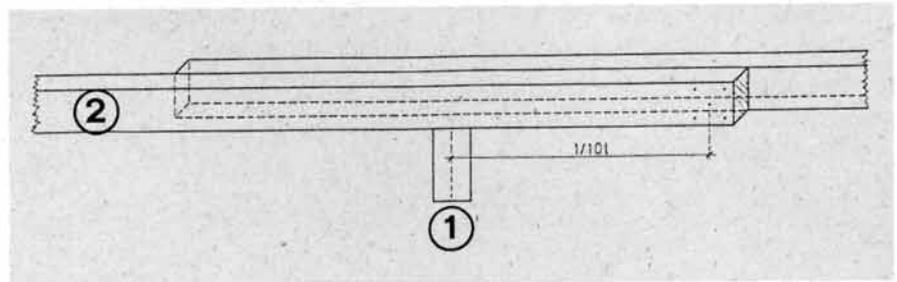
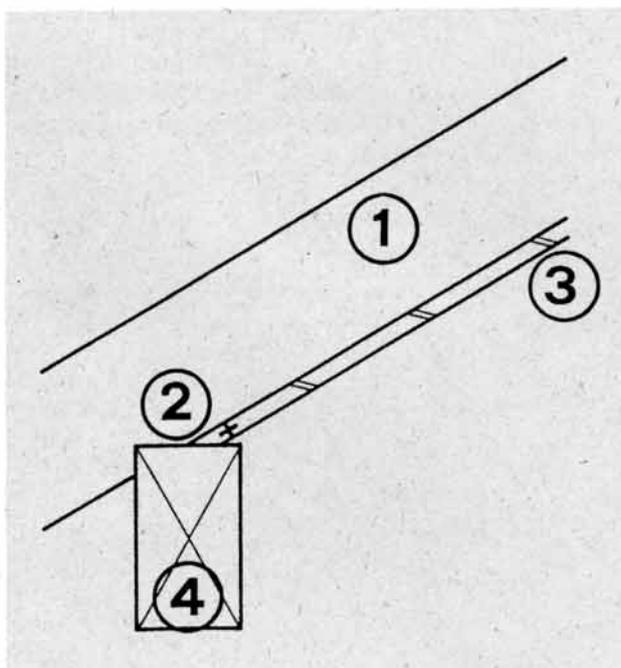


Abb. 18: Koppelpfette

aus Spanplatten. Bei Kollektorkanalhöhen von weniger als Pfettenhöhe minus 2 cm empfiehlt es sich, schon vor dem Aufrichten Latten seitlich an die Pfetten anzuschlagen.

4.1.2 Im Sparrendach

Als Sparren bezeichnen wir die Balken, welche von der Traufe zum First laufen und die Lattung der Ziegel oder anderer Abdeckmaterialien tragen. Bei Neubauten kann wie beim Pfettendach verfahren werden. Sparrendachkollektoren kommen aber sehr oft beim Umdecken von alten Ziegeldächern in Frage. Solche Dächer sind in der Regel etwas verzogen und eignen sich nicht für das Einpassen der Spanplatten zwischen die Sparren. Der Aufwand für das Einpassen zwischen die Sparren lässt sich nur rechtfertigen, wenn sonst eine ungenügende Temperaturdifferenz in Kauf genommen werden müsste. Ein besonderes Augenmerk ist bei den Sparrendächern auf die Durchlässe bei den Pfettenaufgaben zu richten. Oft sind die Sparren dort ausgekerbt und der Durchlass wird somit enger. In Abb. 19 «Fusspfettenanschluss» ist dies am Beispiel der untersten Pfette (Fusspfette) aufgezeigt.



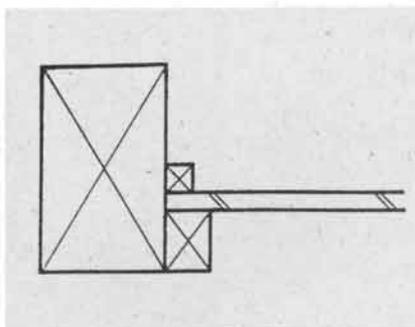
1 = Sparren
2 = Keil
3 = Spanplatte
4 = Fusspfette

Abb. 19: Fusspfettenanschluss

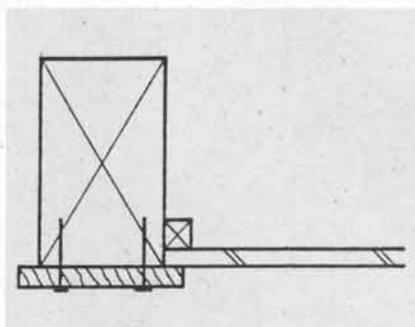
4.1.3 Unterzug/Luftleitplatte

Bei Neubauten empfiehlt es sich, den Unterzug (Spanplatten) direkt vor dem Dachdecken einzulegen (Abb. 20). Der Zimmermann kann seitliche Latten oder Bretter unter den Balken (Sparren/Eternitpfetten) bereits in der Werkstatt vormontieren. Die zugeschnittenen Spanplatten (19 mm) können so sehr schnell von oben verlegt werden. Zwar wird dazu praktisch immer der Zimmermann benötigt (wenig Eigenleistung), doch darf der zusätzliche Aufwand für die Gerüstung und die mühsame Arbeit über Kopf bei der nachträglichen Montage nicht unterschätzt werden. Die Verbindung der Platten erfolgt vorteilhaft mit Nut und Feder. Die Platten sind dabei nur auf zirka 2 mm zusammenzustossen, damit sie «arbeiten» können.

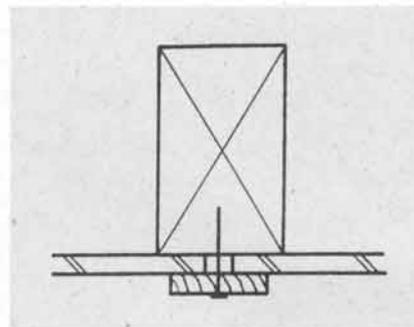
Bei der Plattenmontage von unten können die Windverbände nach den Platten angeschlagen werden, oder es werden Metallbänder eingesetzt. Als Unterzug werden auch andere Materialien als Spanplatten verwendet (z.B. Profilbleche, Hartfaserplatten oder Blachenstoffe). Von dünnen Hartfaserplatten ist eher abzuraten, da gute Verbindungen fehlen. Wenn der Kollektorzwischenraum gleich oder etwas weniger gross ist als die Balkenstärke, ist es möglich, Blachenstoffe aus gewebeverstärktem Polyäthylen zu verwenden (Bigroflex, Nissan, Sarnafil).



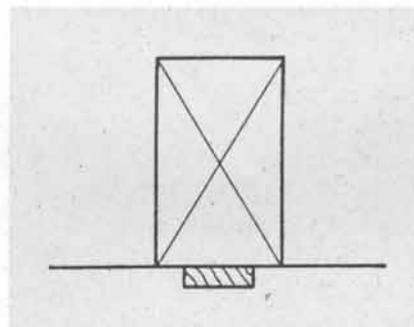
Starke Balken, kleine notwendige Kanalhöhe. Spanplatte liegt auf seitlich angeschlagener Latte. Einlegen von oben vor dem Dachdecken.



Kanalhöhe nur wenig kleiner als Balkenhöhe. Vormontiertes Brett, einlegen der Spanplatten von oben.



Balkenhöhe entspricht der notwendigen Kanalhöhe. Spanplatte unten bündig mit Brett befestigt.



Balkenhöhe entspricht der Kanalhöhe. Unterzug aus Blachenmaterial. Anwendung vor allem bei Altbauten mit Sparrendächern.

Abb. 20: Montage-Arten

Diese sind wesentlich leichter als Spanplatten, sie sollten aber mittels eingerollter Dachlatte und Flaschenzug etwas vorgespannt werden, damit sie im Sommer bei Erwärmung nicht zu stark einbauchen und den Querschnitt der Kanäle verengen. Teilweise ist eine Konfektionierung möglich, das heisst die

Verkaufsfirma bereitet Stücke vor, die zum Beispiel dem Binderabstand und der Dachbreite entsprechen. Blachen sind vor allem geeignet für Eigenmontage und in Altbauten, wo keine mechanische Belastung durch Geräte (Greifer) oder Bewerfen mit Futter (inkl. Steine) durch das Gebläse auftritt.



Abb. 21: Lufteinlass am Ortgang. Ein engmaschiges Netz verhindert das Eindringen von Vögeln.

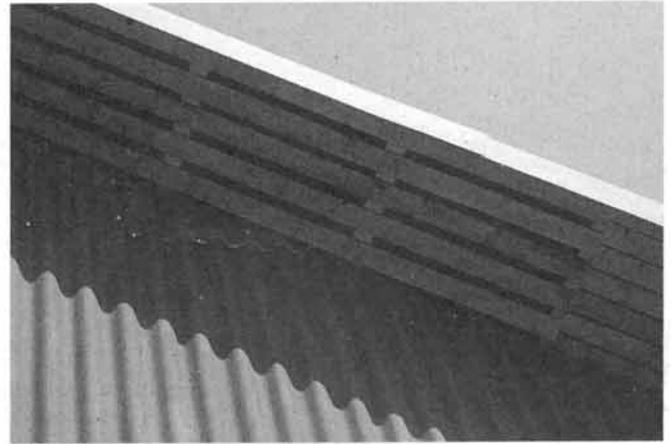


Abb. 22: An windexponierten Lagen oder aus ästhetischen Gründen können auch Bretter auf die hier gezeigte Art montiert werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass die gesamte Schlitzbreite mindestens der Kanalhöhe entspricht.

4.1.4 Lufteinlass

Im Normalfall führen die Kollektorkanäle einfach zur Scheune hinaus und werden dort mit dem Ortgang- oder Traufbrett und einem Vogelschutznetz (Abb. 21 und 22) abgeschlossen. Die Öffnung muss mindestens der Kollektorkanalhöhe entsprechen. Treffen jedoch die Pfetten auf eine Brandmauer, so muss ein Luftzuführkanal erstellt werden. Bei Firsteinlasskanälen sind ebenfalls ein Vogelnetz und zusätzlich Jalousieläden von Vorteil.

4.1.5 Abdichtungen

Die Kollektoren sollen nach außen einigermaßen dicht sein.

Bei Wellprofilen sind den Profilen angepasste Füllteile (Fillerblocks) aus Schaumgummi erhältlich. Diese lassen sich während der Montage zwischen die Auflage und die Abdeckung einschieben. Es genügt, bei der obersten und der untersten Pfette des Kollektors eine Abdichtung vorzunehmen. Die Spanplatten werden in der Regel mit Nut und Feder verlegt und beim Kanal mit Montage- oder Füllschaum abgedichtet. Blachen müssen allseitig mit Latten oder Leisten fixiert werden. Schwitzwasser tritt in der Regel nur in Ausnahmefällen auf. Die Ursache ist in erster Linie in feuchter Stallabluft zu suchen.

4.2 Sammelkanal

Beim Sammelkanal sollen Luftgeschwindigkeiten unter 5 m/s (normal zirka 4 m/s) nicht überschritten werden. Es ist jedoch nur die effektiv in jedem Kanalabschnitt vorhandene Luftmenge zu berücksichtigen. Münden Kollektorkanäle direkt in den Lüfterraum, so ist dieser Anteil für die Berechnung des Sammelkanalquerschnittes von der Gesamtluftrate abzuziehen. Im Sammelkanal sind die Anteile der Kollektorkanäle zu summieren, daraus ergibt sich fallweise ein konischer Sammelkanal.



Abb. 23: A: Am Binder angeschlagene Balkenschuhe tragen die Balken des Sammelkanals.

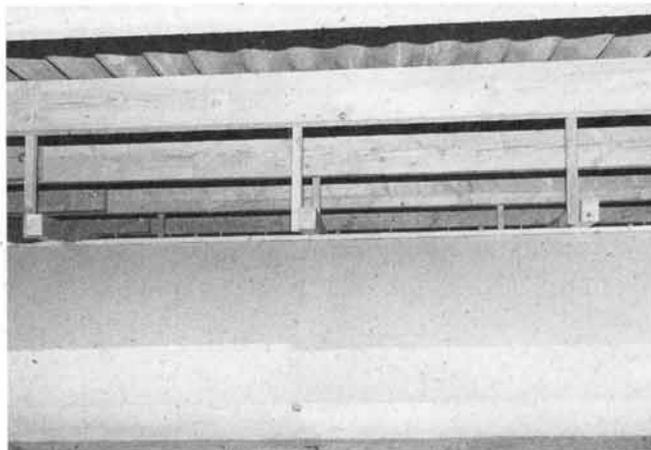


Abb. 24: B: Die Latten, welche die Spanplatten des Sammelkanals tragen, laufen in der Strömungsrichtung und sind mit Metallbändern oder Holzlatten an den Pfetten aufgehängt.

4.2.1 Im Pfettendach

Bei deckenlastigen Scheunen mit nach Süd exponierter Dachflanke und auf der Südseite angebrachtem Lüfter fällt ein sehr kurzer Kanal an. Als Sammelteil bieten sich mittlere Binderfelder an. Je nach vorhandenem Querschnitt gibt es unterschiedliche Konstruktionsweisen.

A = Die Luftleitplatte wird an die mit Balkenschuhen am Binder befestigten Querbalken angeschlagen (Abb. 23).

B = Die Latten werden an den Pfetten mit Metallbändern oder Holzlatten aufgehängt und verlaufen in Richtung Traufe-First (Abb. 24). Dadurch stören sie die Luftströmung nicht.

C = Die Querbalkchen werden unterkant Binder befestigt und die Spanplatten von oben eingelegt (Abb. 25).

Der Sammelkanal weist durch die Binderform eine nach der Traufe sich erweiternde konische Form auf. Ergibt sich aus der Binderfeldbreite und der Binderstärke ein Querschnitt, welcher grösser als nötig ist, kann Variante A angewendet werden. Ist dieser Querschnitt

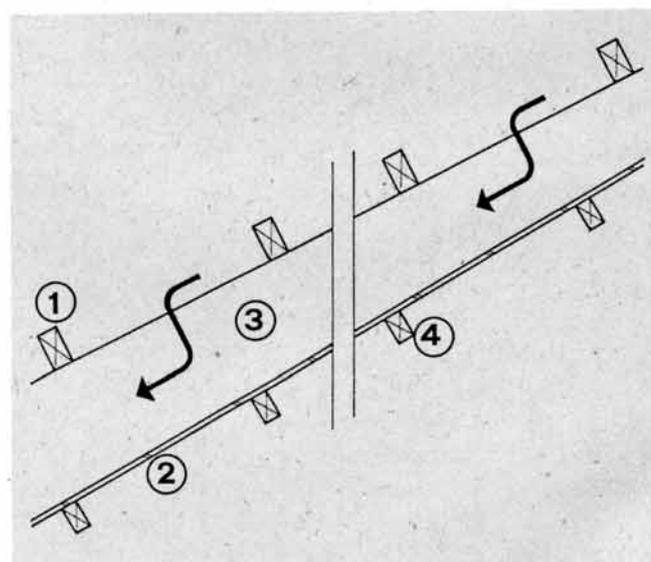


Abb. 25: C: Unterkant Binder angeschlagene Balken tragen die Spanplatten des Sammelkanals.

knapp, so kommen Varianten B und C zum Zug. An die Aussenwand, oder je nach Konstruktion zwischen Aussenwand und Einwandung, kommt das Lüfterhäuschen zu stehen. Bei dieser Bauweise muss vor allem dem Querschnitt in der Aussenwand oder auf der Höhe der Einwandung Beachtung geschenkt werden.

4.2.2 Im Sparrendach

Bei Firstabsaugung strömt die Luft entlang der Traufe in die Kollektorkanäle ein (Abb. 26). Der Sammelkanal im First besteht aus einem Boden, welcher auf vorhandene Zangen oder speziell eingelegte Balken verlegt wird (Abb. 27). Bei neueren Sparrendächern können Balken (8 x 16 cm) mit Hilfe von Balkenschuhen zwischen die längslaufenden Leimbinder eingepasst werden (Abb. 28).

Bei der Traufabsaugung und Firsteinlasskanal strömt die Luft von aussen durch Jalousien in den Firstkanal, verteilt sich auf die Kollektorkanäle und strömt unter dem Vordach in den Sammelkanal (Abb. 29). Dieser Luftweg ist sowohl bei Alt- wie auch bei Neubauten möglich.

Bei Varianten mit Firstansaug besteht die Gefahr, dass Abluft vom Stock direkt wieder angesaugt wird. Die Abluftöffnungen sind deshalb nicht direkt unter dem Ansaug, sondern eventuell auf der gegenüberliegenden Gebäudeseite anzubringen.

Bei allen Varianten mit geschlossener Firstpartie (Firstsammelkanal oder über den First gezogenen Kollektor) muss der Stallentlüftung besondere Beachtung geschenkt werden.

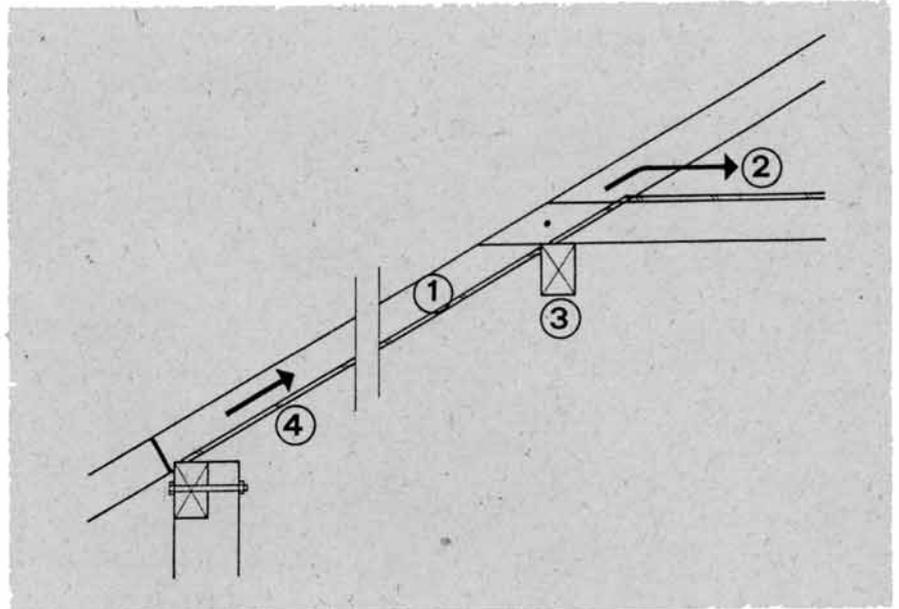


Abb. 26: Sammelkanal (Sparrendach)

- 1 = Sparren
- 2 = Sammelkanal
- 3 = Mittelpfette
- 4 = Spanplatte

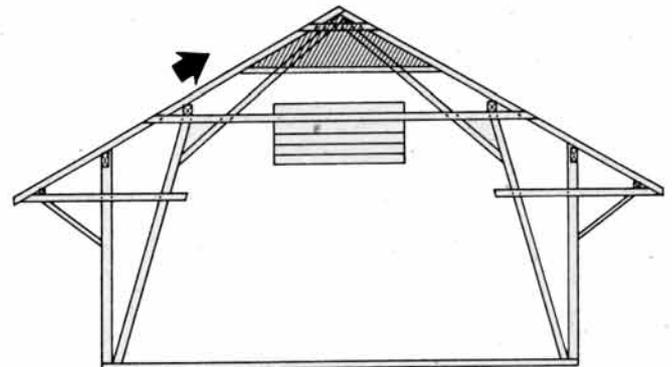


Abb. 27: Firstabsaugung mit Einlass an der Traufe

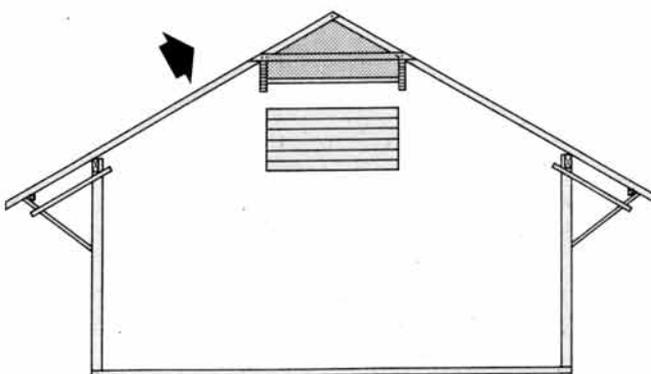


Abb. 28: Firstkanal bei neuen Sparrendächern

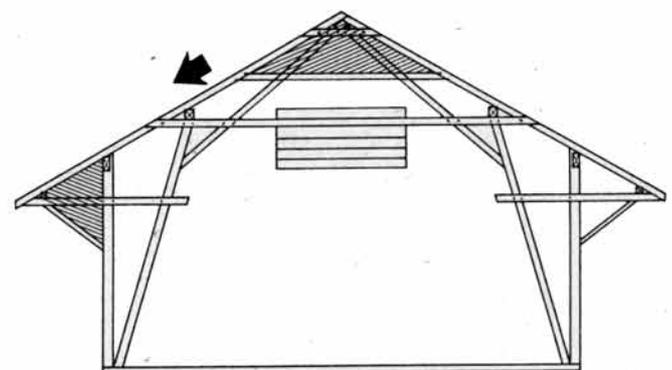


Abb. 29: Traufabsaugung mit Firsteinlass

Beispiel Berechnung Sammelkanal:

Heustock 80 m², Luftrate 0,11 m³/s = 8,8 m³/s Luftdurchsatz

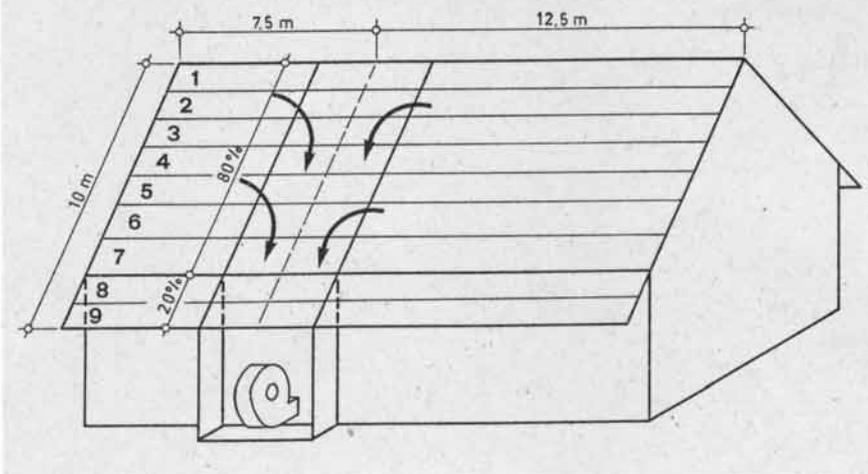
Das ganze Dach enthält 9 Kollektorkanäle, davon befinden sich 2 (Nr.8 und 9) im Bereich des Vordachs. Das heisst, dass ca. 20% der Luft direkt aus den Kollektorkanälen des Vordachs ins Lüfterhaus strömen, was einem Luftdurchsatz von 1,9 m³/s entspricht. Die restlichen 6,9 m³/s fliessen durch den Sammelkanal.

Anzahl Kollektorfelder, welche in den Sammelkanal münden = 7
Luftdurchsatz pro Feld ca. 1 m³/s

Breite Sammelkanal (Binderabstand im Licht) 5 m

$$V_{\text{max.}} = 4 \text{ m/s} \rightarrow \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{4 \text{ m/s}} = 0,25 \text{ m}^2 \rightarrow \frac{0,25 \text{ m}^2}{5 \text{ m}} = 5 \text{ cm}$$

1. Feld mind. Kollektorkanalhöhe oder 5 cm freier Durchlass
2. Feld mind. Kollektorkanalhöhe oder 10 cm freier Durchlass
7. Feld mind. Kollektorkanalhöhe oder 35 cm freier Durchlass



4.3 Luftkanäle

Die Aufgabe der Luftkanäle besteht darin, die Luft möglichst direkt und ohne grosse Verluste vom Kollektor zum Lüfter zu leiten. Dafür ist erstens ein Querschnitt notwendig, der eine kleine Luftgeschwindigkeit (4 m/s) verursacht, zweitens sind Umlenkungen auf ein Minimum zu beschränken und wenn möglich die Ecken zu brechen oder abzurunden (Abb. 30).

In vielen Fällen führt der Luftkanal vom Sammelteil senkrecht zum Lüfter. Der Lüfter steht dann im Kanal so, dass die Umlenkung von der Senkrechten zum Lüfter direkt durch die Lüfteransaugdüsen und dadurch verlustarm erfolgt (Abb. 31).

Die Luftkanäle können sehr unterschiedliche geometrische Formen aufweisen. Üblich sind quadratische und dreieckige Formen. Oft eignen sich auch ganze Nebenräume. Ab und zu wird einer Wand eine zweite vorgelagert, damit ein schmaler Raum entsteht.



Abb. 30: Luftkanal über den First gezogen. Besonderes Augenmerk gilt bei solchen relativ langen Kanälen dem Querschnitt, da sonst zu grosse Druckverluste auftreten.

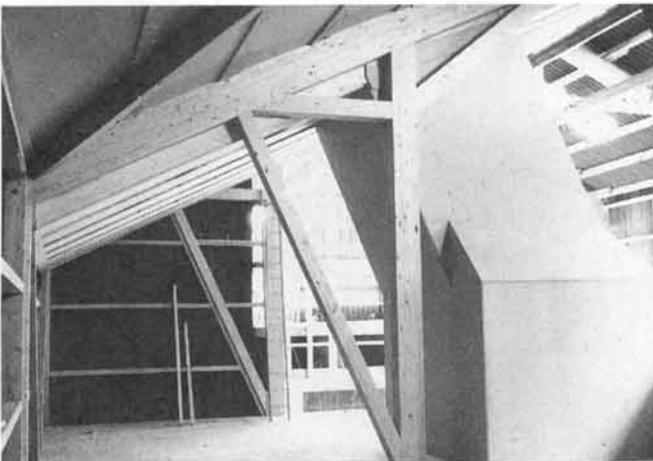


Abb. 31: Der Luftkanal verbindet den Sammelkanal mit dem Lüfter und soll wenn möglich grosszügig bemessen werden.

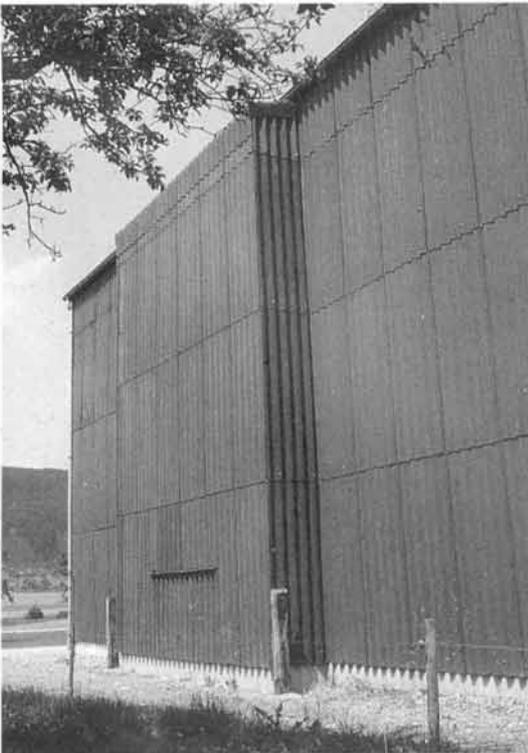


Abb. 32: Bei Greiferscheunen liegt der Engpass oft im Bereich der Greiferfahrbahn. Hier wurde deshalb der Luftkanal auf die Aussenseite des Gebäudes verlegt.



Abb. 33: Dieser Stallanbau enthält als Dach einen Kollektor von 190 m² mit durchsichtiger Polyesterabdeckung. Die Luft tritt bei der Traufe in den Kollektor ein, fließt nach oben und wird vom Lüfter von beiden Seiten zur Mitte gesaugt.



Abb. 34: Ein Aufbaukollektor aus Alu-Blech, montiert auf eine bestehende Scheune. Die zweite Pfettenlage kommt auf das bestehende Eternitdach zu liegen. Dieses ist nur in der Mitte unterbrochen, damit die Luft in den darunter liegenden Sammelkanal einströmen kann.

4.4 Spezialformen

4.4.1 Dachraumkollektoren

Sie nützen, wie der Name sagt, einen bestehenden oder neu erstellten Dachraum, meistens über einem Stall, aus (Abb. 33). Ein neben einer erdlastigen Heulagerhalle erstellter Stall weist in der Regel einen Hohlraum zwischen Dachabdeckung und Isolationsdecke auf. Dieser Hohlraum stellt eine sehr billige Kollektorvariante dar, sofern der Querschnitt nicht zu

gross ist und er gut, das heisst mit einem möglichst kurzen Kanal, an die Belüftung angeschlossen werden kann. Bei Neu- und Anbauten kann dies bei der Planung berücksichtigt werden.

4.4.2 Aufbaukollektoren

Der Kollektor kann auch auf ein bestehendes Dach aufgesetzt werden, indem man über die bestehende Dachhaut genau über den alten Balken eine neue Bal-

kenlage legt (Abb. 34). Das alte Dach bildet somit die untere Luftleitplatte, und die neue Abdeckung kommt auf die neue Balkenlage zu liegen. Die Luft lässt sich über einen Luftdurchlass in der alten Dachhaut in den Sammelkanal im Inneren der Scheune ziehen. Der Vorteil dieser Bauweise liegt in der guten Zugänglichkeit bei der Montage. Als Nachteile sind der zusätzliche Materialaufwand, die zweite Dachhaut und zweite Balkenlage zu werten.

5. Investitionsbedarf

Der Investitionsbedarf setzt sich bei ins Dach integrierten Kollektoren zusammen aus dem zu-

sätzlichen Investitionsbedarf für die Abdeckung gegenüber dem für die Höhenlage üblichen Standardmaterial plus dem Investitionsbedarf für den Unterzug, den Sammelkanal und den Luftzufuhrkanal zum Lüfter. Bei Aufbaukollektoren ist der ganze Materialpreis für die zusätzliche

Abdeckung dem Kollektor anzulasten. Dafür braucht es keinen Unterzug.

Aufgrund der in Tab. 5 aufgeführten Richtpreise lässt sich der zusätzliche Investitionsbedarf für einen Kollektor wie im Rechnungsbeispiel zusammenstellen.

Tabelle 5: Investitionsbedarf (Richtpreise) für Sonnenkollektoren

Bauteil		Masseinheit	Zusätzlicher Investitionsbedarf für Kollektor in Fr.
1. Kollektorabdeckung			
Deckmaterial auf bauseitige Holzkonstruktion verlegt (Pfettendach) ohne Abschlussprofile	Fr./m ²		
1.1 Welleternit braun (Standardeindeckung)	(35)	m ²	.-
1.2 Wellpolyester mit Eternitwellung	(50 - 60)	m ²	15 - 25
1.3 Alu-Wellplatten braun	(50 - 60)	m ²	15 - 25
1.4 Stahl-Trapezblech braun	(35)	m ²	.-
1.5 Stahlblech mit Ziegelmusterung braun	(55 - 65)	m ²	20 - 30
Zuschläge zu Pos. 1.1 - 1.5 für:			
1.6 Eternit-Dachschiefer auf Sparrendach inkl. Schieferlattung 60/40 mm	(65 - 75)	m ²	30 - 40
1.7 Lattung 60/60 mm bei Montage auf Sparrendach		m ²	5 - 7
1.8 Montage auf bestehendes Wellplattendach		m ²	15 - 20
2. Kollektorunterzug			
inkl. Befestigungslatten, fertig montiert			
2.1 Spanplatten beim Aufrichten zwischen Pfetten oder Sparren montiert		m ²	35 - 40
2.2 Spanplatten nachträglich unter Pfette oder Sparren montiert, inkl. Rollgerüst		m ²	50 - 55
2.3 Kunststoffbahn nachträglich unter Pfetten oder Sparren montiert, inkl. Rollgerüst		m ²	25 - 30
3. Luftsammelkanäle			
mit Spanplatten, inkl. Befestigungsplatten fertig montiert			
3.1 In Kollektordachfläche			
Zuschlag zu Kollektorfläche für Absenken des Unterzugs		m ²	10 - 15
3.2 In der übrigen Dachfläche		m ²	55 - 60
3.3 First-Sammelkanal bei Sparrendächer			
Zuschlag zu Kollektorfläche für Kanalausbildung		m ²	10 - 15
3.4 Traufe-Sammelkanal bei Sparrendächer			
Zuschlag zu Kollektorfläche für Kanalausbildung		m ²	10 - 15
3.5 Senkrechter Kanal an Gebäudewand (3seitig) als Anschluss an Lüfter			
1. für 1 Lüfter Grösse 250/200 cm,	(45 - 55)	lm	290 - 360
2. für 2 Lüfter Grösse 450/200 cm	(45 - 55)	lm	380 - 470

- Die Preise verstehen sich fertig montiert durch Unternehmer.

- Die Materialkosten betragen etwa 60%, die Arbeitskosten 40%.

- Das bei nachträglicher Montage der Verkleidung notwendige Gerüst ist mit Fr. 15.- pro m² eingesetzt.

Rechnungsbeispiel:

Kollektorfläche	Pos. 1.1	200 m ²	Fr.	.-
Unterzug	Pos. 2.1	200 m ² à 37.-	Fr.	7400.-
Luftsammelkanal	Pos. 3.1	12 m ² à 12.-	Fr.	144.-
	Pos. 3.2	12 m ² à 57.-	Fr.	684.-
	Pos. 3.5.1	6 lm à 320.-	Fr.	1920.-
Total zusätzlicher Investitionsbedarf für Kollektor			Fr.	<u>10148.-</u>

6. Energieertrag/ Energiekosten

6.1 Energieertrag

Wie eingangs aufgezeigt, kann ein Sonnenkollektor pro m² eine Leistung von ca. 260 W erbringen. Diese Leistung ist mit der Laufzeit und der Kollektorfläche zu multiplizieren.

Geht man von einer durchschnittlichen Laufzeit von 500 h/Jahr (die Intervallbelüftung während ungünstigen Zeiten nicht eingeschlossen) aus, so ergibt dies für den im Beispiel aufgeführten Kollektor von 200 m² folgenden Ertrag:

$$200 \text{ m}^2 \times 260 \text{ W} \times 500 \text{ h} \\ = 26'000'000 \text{ Wh} = 26'000 \text{ kWh}$$

6.2 Energiekosten

Die Jahreskosten lassen sich aus dem Investitionsbedarf für den Sonnenkollektor berechnen. Gemäss Preisbaukasten der FAT sind folgende Sätze anzuwenden:

Amortisation	4,0%
Zins	3,8%
Reparaturen	1,5%
Versicherungen	0,1%
Total	<u>9,4%</u>

Um beim Beispiel zu bleiben, übernehmen wir den Investitionsbedarf von Fr. 10'148.-.

Daraus ergeben sich Jahreskosten von Fr. 954.-.

Die Produktion der 26'000 kWh thermischer Energie kostet in diesem Falle Fr. 954.-, d.h. ca. Fr. -.037/kWh oder rund 4 Rp./kWh. Dies entspricht in etwa dem Ankaufspreis von Heizöl.

Für einen vollständigen Vergleich mit dem Verfahren «Öl-ofen» müssten jedoch auch der Investitionsbedarf und die Jahreskosten der Heizanlage berechnet werden. Daraus lässt sich schliessen, dass Sonnenkollektoren, welche richtig konzipiert sind, wirtschaftlich betrieben werden können.