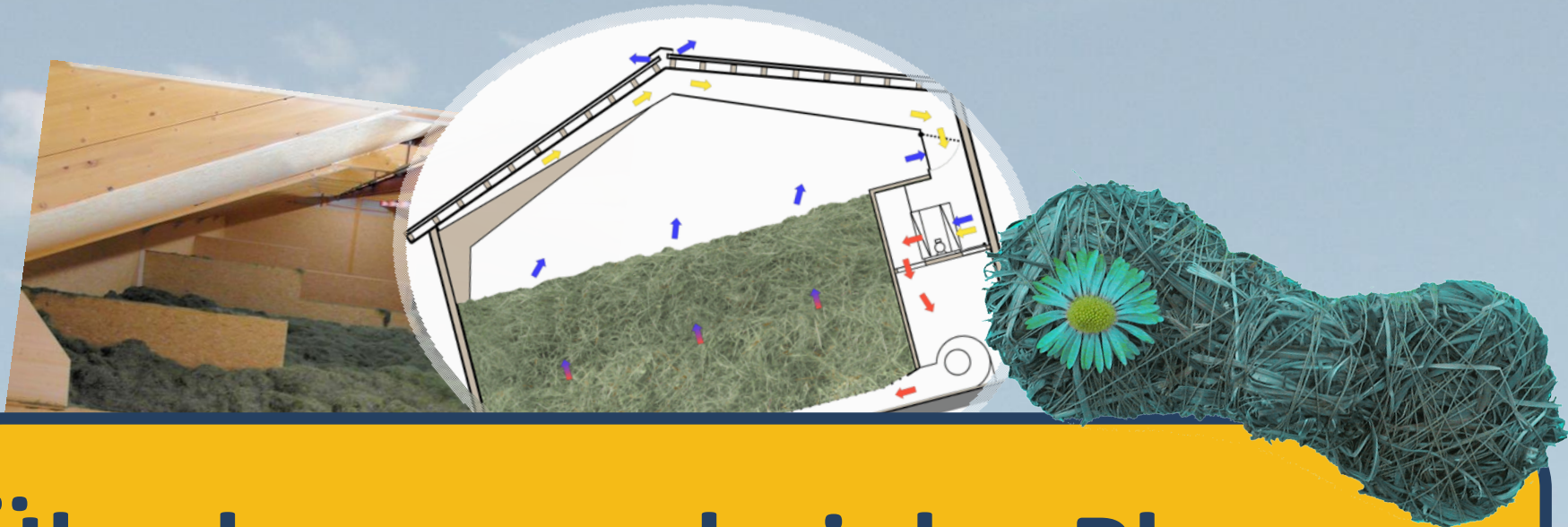




# Überlegungen bei der Planung einer Boxentrocknung





# Boxen dimensionieren

**Boxenfläche [m<sup>2</sup>] = 6 bis 10 x Mähfläche je Schnitt [ha]**

minimale Erstbeschickungshöhe 1 bis 1,5 m, daher sehr große Boxen (über 250 bis 300 m<sup>2</sup>) besser unterteilen! Stark ungleiche Seitenverhältnisse und Abwinkelungen vermeiden!

**Heustockhöhe** über Rost nicht über 6 m

**Boxenvolumen** ab 30 m<sup>3</sup> je ha Mähfläche pro Schnitt  
(gesamter erster Schnitt soll in den Boxen Platz finden)



**Luft-Volumenstrom 0,07 bis 0,11 m<sup>3</sup>/s und m<sup>2</sup> belüfteter Fläche**

(bei voller Stockhöhe:  
**mind. 0,07 m<sup>3</sup>/s und m<sup>2</sup> ,**  
bei halber Höhe 0,11 m<sup>3</sup>/s und m<sup>2</sup> )

**Gesamtdruck 100 bis 240 Pa/m Stockhöhe**

(z.B. bei gräser-/kräuterreichem Trockengut 125 Pa/m,  
bei ausgewogenem Trockengut 135 Pa/m,  
bei kleereichem Trockengut 160 Pa/m)

**+ 75 bis 120 Pa für Dachabsaugung**

**+ 50 bis 110 Pa für Wärmetauscher/Entfeuchter**  
insgesamt typisch 1.300 bis 1.900 Pa maximaler Druck

*Umrechnung: 10 mm Wassersäule = 100 Pa = 1 mbar*



**Eckdaten für Ventilator bei Boxentrocknung**

## Hausanschluss-Sicherung

## mögliche Leistung

25 A

14,4 kW

32 A

18,4 kW

50 A

28,7 kW

63 A

36,2 kW

80 A

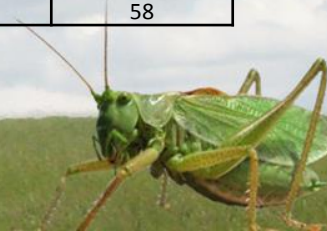
45,9 kW

Reicht der elektrische Anschlusswert?

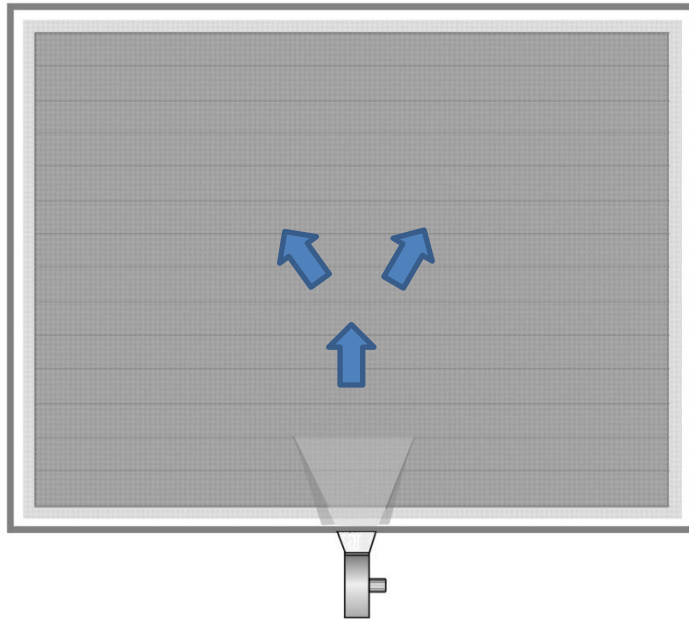
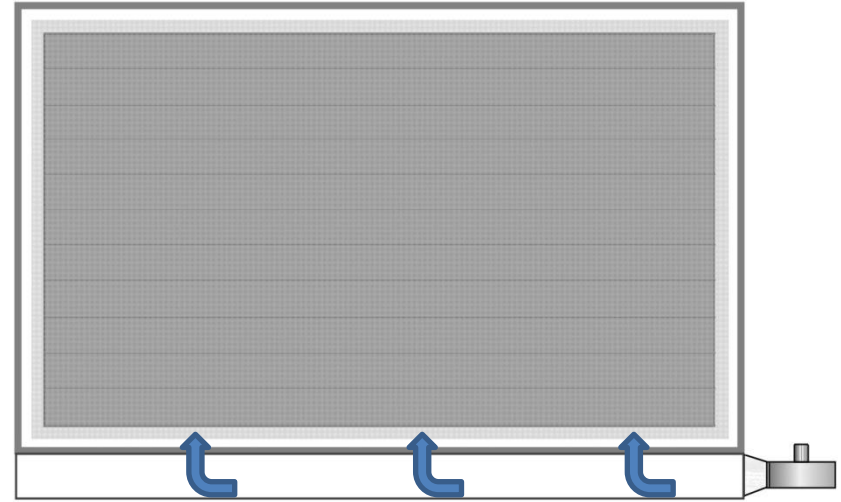
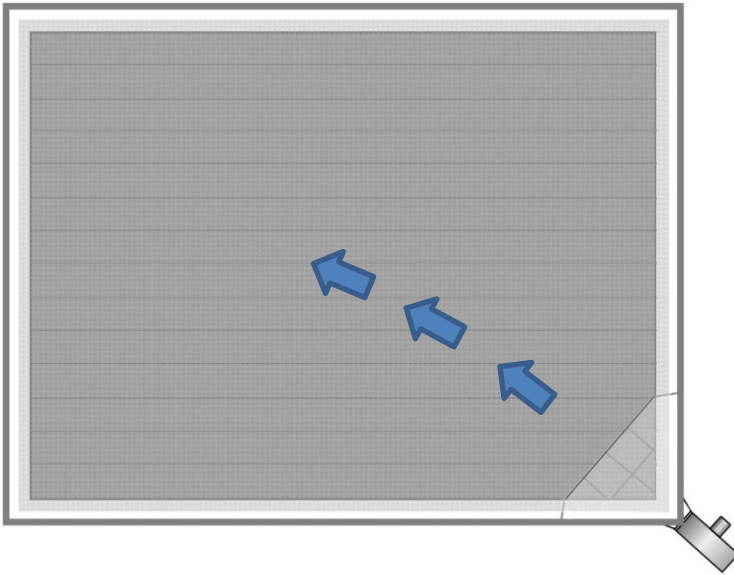


| Mähfläche<br>(bei 2 bis 3<br>Chargen je<br>Schnitt)<br>[ha] | empfohlene<br>Boxenfläche<br>[m²] | Ventilator-Volumenstrom           |                                   | Querschnitt<br>Saugkanal [m²] | Boxenraum 1.<br>Schnitt ab<br>[m³] | typische<br>Ventilator-<br>Leistung<br>[kW] | lichte<br>Rosthöhe<br>[cm] | Abdeck-<br>breite<br>Rost [cm] | typische<br>Kompressor-<br>leistung<br>Entfeuchter<br>[kW] | Anzahl<br>belüftbarer<br>Rundballen nach<br>Luft-<br>Volumenstrom |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                             |                                   | bei halber<br>Stockhöhe<br>[m³/h] | bei voller<br>Stockhöhe<br>[m³/h] |                               |                                    |                                             |                            |                                |                                                            |                                                                   |
| 6 bis 8                                                     | 40                                | 15.840                            | 10.080                            | 1,10                          | 252                                | 5                                           | 41                         | 49                             | 7                                                          | 8                                                                 |
| 7 bis 10                                                    | 50                                | 19.800                            | 12.600                            | 1,38                          | 312                                | 6                                           | 43                         | 51                             | 9                                                          | 10                                                                |
| 8 bis 12                                                    | 60                                | 23.760                            | 15.120                            | 1,65                          | 373                                | 7                                           | 44                         | 53                             | 10                                                         | 12                                                                |
| 10 bis 14                                                   | 70                                | 27.720                            | 17.640                            | 1,93                          | 433                                | 8                                           | 46                         | 54                             | 12                                                         | 14                                                                |
| 11 bis 16                                                   | 80                                | 31.680                            | 20.160                            | 2,20                          | 493                                | 9                                           | 47                         | 56                             | 14                                                         | 16                                                                |
| 12 bis 18                                                   | 90                                | 35.640                            | 22.680                            | 2,48                          | 554                                | 10                                          | 49                         | 58                             | 16                                                         | 17                                                                |
| 14 bis 20                                                   | 100                               | 39.600                            | 25.200                            | 2,75                          | 614                                | 12                                          | 50                         | 59                             | 17                                                         | 19                                                                |
| 15 bis 22                                                   | 110                               | 43.560                            | 27.720                            | 3,03                          | 674                                | 13                                          | 52                         | 61                             | 19                                                         | 21                                                                |
| 16 bis 24                                                   | 120                               | 47.520                            | 30.240                            | 3,30                          | 735                                | 14                                          | 53                         | 63                             | 21                                                         | 23                                                                |
| 18 bis 27                                                   | 130                               | 51.480                            | 32.760                            | 3,58                          | 795                                | 15                                          | 55                         | 64                             | 23                                                         | 25                                                                |
| 19 bis 29                                                   | 140                               | 55.440                            | 35.280                            | 3,85                          | 855                                | 16                                          | 56                         | 66                             | 24                                                         | 27                                                                |
| 20 bis 31                                                   | 150                               | 59.400                            | 37.800                            | 4,13                          | 916                                | 17                                          | 58                         | 67                             | 26                                                         | 29                                                                |
| 22 bis 33                                                   | 160                               | 63.360                            | 40.320                            | 4,40                          | 976                                | 19                                          | 59                         | 69                             | 28                                                         | 31                                                                |
| 23 bis 35                                                   | 170                               | 67.320                            | 42.840                            | 4,68                          | 1.036                              | 20                                          | 61                         | 71                             | 30                                                         | 33                                                                |
| 24 bis 37                                                   | 180                               | 71.280                            | 45.360                            | 4,95                          | 1.097                              | 21                                          | 63                         | 72                             | 31                                                         | 35                                                                |
| 26 bis 39                                                   | 190                               | 75.240                            | 47.880                            | 5,23                          | 1.157                              | 22                                          | 64                         | 74                             | 33                                                         | 37                                                                |
| 27 bis 41                                                   | 200                               | 79.200                            | 50.400                            | 5,50                          | 1.217                              | 23                                          | 66                         | 76                             | 35                                                         | 39                                                                |
| 28 bis 43                                                   | 210                               | 83.160                            | 52.920                            | 5,78                          | 1.278                              | 24                                          | 67                         | 77                             | 36                                                         | 41                                                                |
| 30 bis 45                                                   | 220                               | 87.120                            | 55.440                            | 6,05                          | 1.338                              | 25                                          | 69                         | 79                             | 38                                                         | 43                                                                |
| 31 bis 47                                                   | 230                               | 91.080                            | 57.960                            | 6,33                          | 1.398                              | 27                                          | 70                         | 80                             | 40                                                         | 45                                                                |
| 32 bis 49                                                   | 240                               | 95.040                            | 60.480                            | 6,60                          | 1.459                              | 28                                          | 72                         | 82                             | 42                                                         | 47                                                                |
| 34 bis 51                                                   | 250                               | 99.000                            | 63.000                            | 6,88                          | 1.519                              | 29                                          | 73                         | 84                             | 43                                                         | 48                                                                |
| 35 bis 53                                                   | 260                               | 102.960                           | 65.520                            | 7,15                          | 1.579                              | 30                                          | 75                         | 85                             | 45                                                         | 50                                                                |
| 36 bis 55                                                   | 270                               | 106.920                           | 68.040                            | 7,43                          | 1.640                              | 31                                          | 76                         | 87                             | 47                                                         | 52                                                                |
| 38 bis 57                                                   | 280                               | 110.880                           | 70.560                            | 7,70                          | 1.700                              | 32                                          | 78                         | 89                             | 49                                                         | 54                                                                |
| 39 bis 59                                                   | 290                               | 114.840                           | 73.080                            | 7,98                          | 1.760                              | 34                                          | 79                         | 90                             | 50                                                         | 56                                                                |
| 40 bis 61                                                   | 300                               | 118.800                           | 75.600                            | 8,25                          | 1.821                              | 35                                          | 81                         | 92                             | 52                                                         | 58                                                                |

Richtwerte







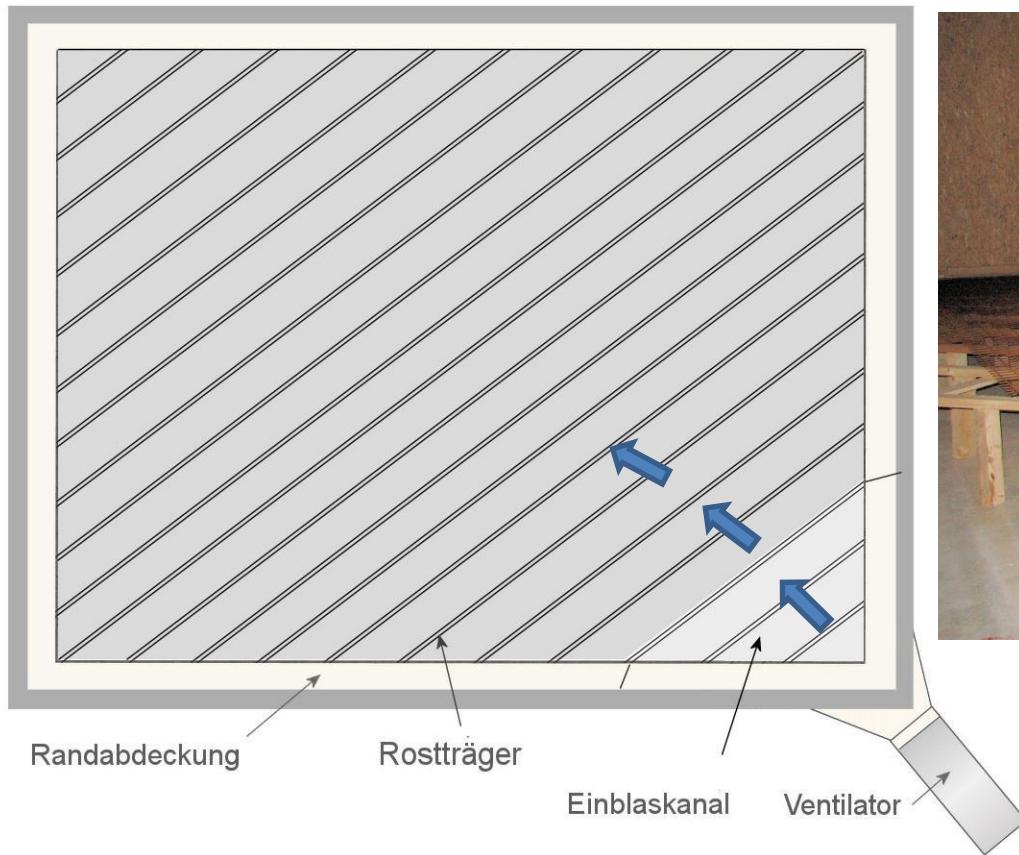
Ein eckseitiger Einblasstutzen ist meist die zweckmäßigste Lösung, von einem Standort können auch zwei Boxen über eine Weiche versorgt werden.

Bei langen Boxen mit geringer Breite ist ein innen- oder außenliegender (ideal konisch verlaufender) Speisekanal vorteilhaft. Der Ventilatorstandort wird auch durch den Sammelkanal der Dachabsaugung bestimmt.

**Rostträger stets quer oder schräg zur Strömungsrichtung anordnen!**

Ventilatoranordnung





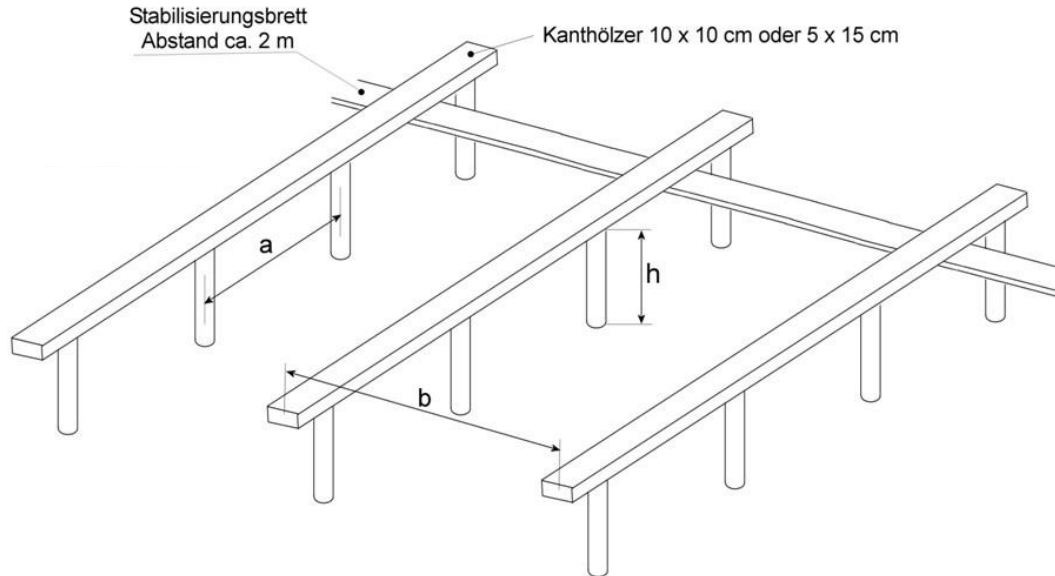
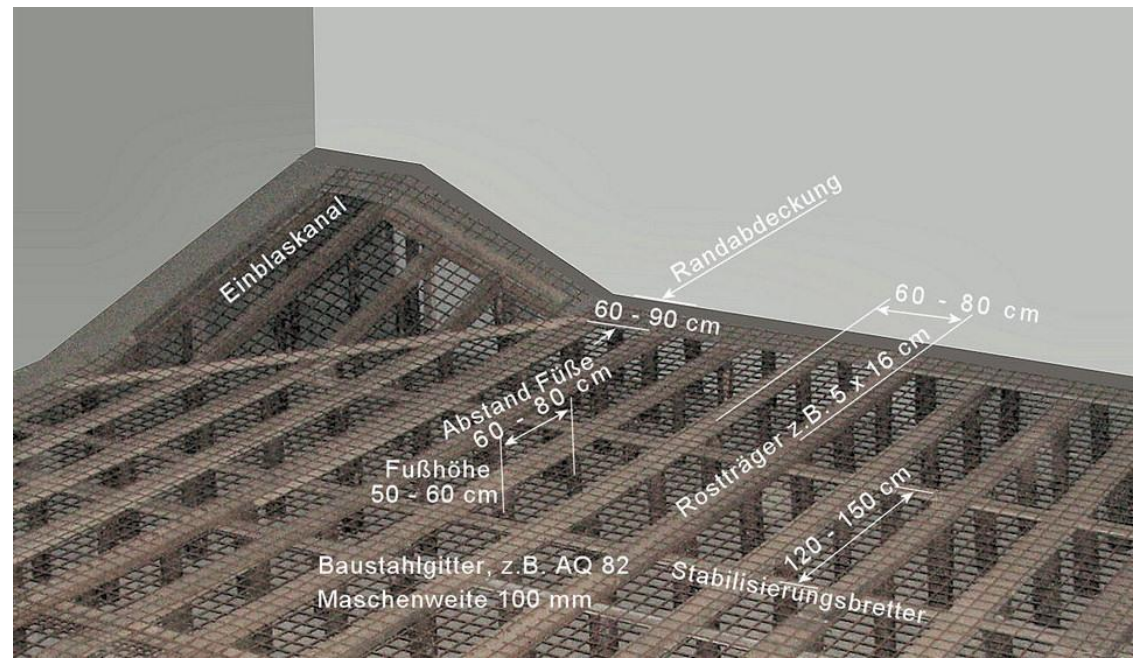
Umlenkung des Luftstromes durch quer oder schräg zur Einblasrichtung verlegte Rostträger, rechts Rostabdeckung eines Schachtes

Rostträgerverlegung, Boxenrost auf Dämmplatten





Abdeckung mit Baustahlmatten, 100 mm Maschenweite (z.B. AQ 82).  
Die Matten werden überlappend lose verlegt.  
Rostträger quer oder schräg zum Luftstrom anordnen!



Eine lichte Rosthöhe ab ca. 50 cm ist für einen Druckausgleich empfehlenswert. Damit ist auch nur ein kurzer Einblaskanal über 3 bis 4 Rostträger-Abstände erforderlich.

Boxenrost mit Unterbau





Kantholz-Verstrebung mit Breitflansch-Stahlprofilträger oben:  
z.B. IPE 270 oder HEA 280 kombiniert mit Kantholz 24 x 16 cm  
IPE 180 oder HEA 200 kombiniert mit Kantholz 16 x 14 cm

## Boxenumwandung

z.B. Verlegeplatten OSB 19 mm  
feuchtebeständig (z.B. OSB 4, 5),  
typische Abmessung von OSB-Platten:  
250 x 67,5 cm  
oder  
MFP/E1 18 mm, Abmessung  
250 x 61,5 cm, jeweils mit Nut/Feder.

Berechnung: Wanddruck unten  
ca. 800 Pa/m Stockhöhe  
Strebenabstand ca. 60 bis 70 cm





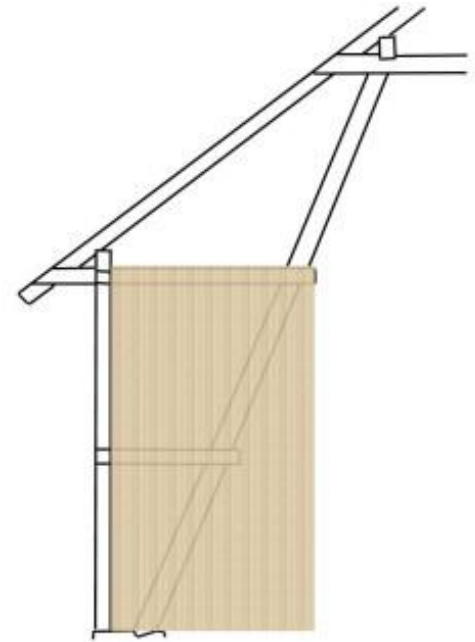
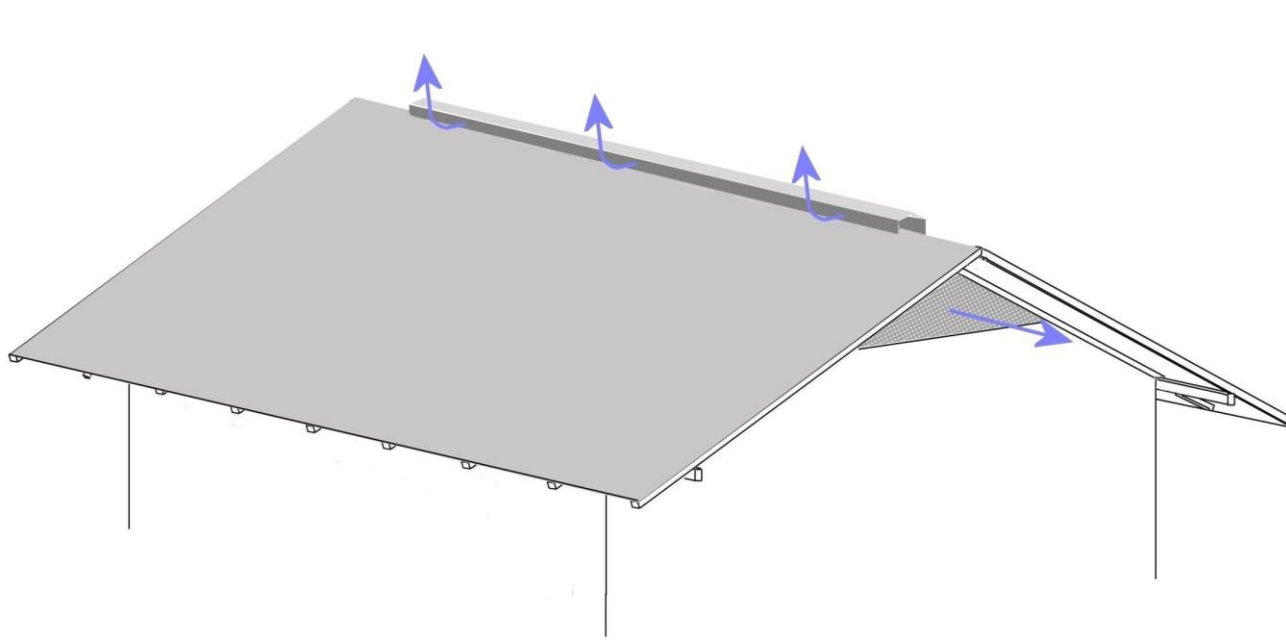


eine waagrechte Verstrebung ist statisch schwieriger als eine vertikale!  
Im Bildvordergrund ein Abladeplatz.

Verstrebung der Boxenwand





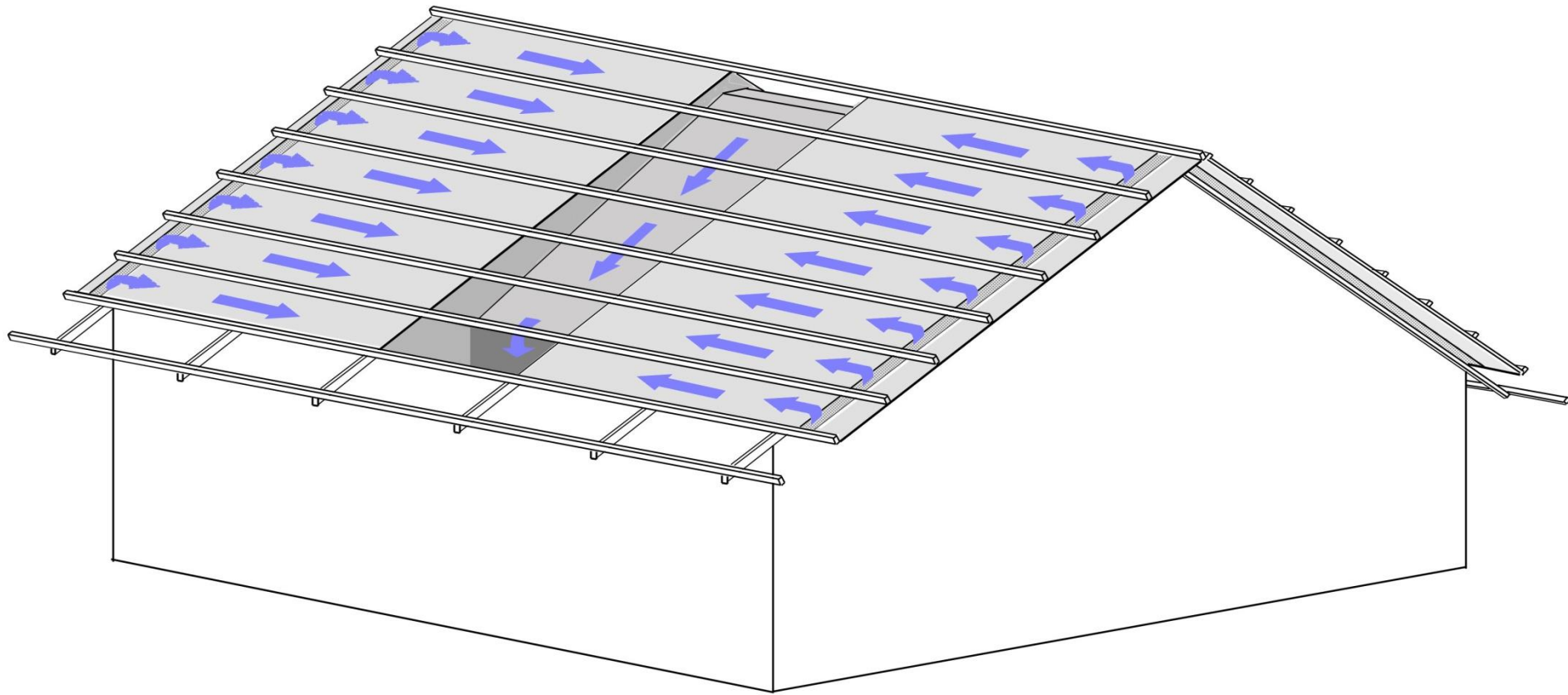


**Abluftöffnungen** nicht vergessen!  
Firstentlüftung ist ideal.  
In eine Box ragende **Zangenbinder**  
beidseitig verkleiden!

Entlüftung ist bei Frischluftbetrieb wichtig!



Anstelle einer durchgehenden Unterschalung können auch Verlegeplatten zwischen den Pfetten auf Leisten von oben eingelegt werden!

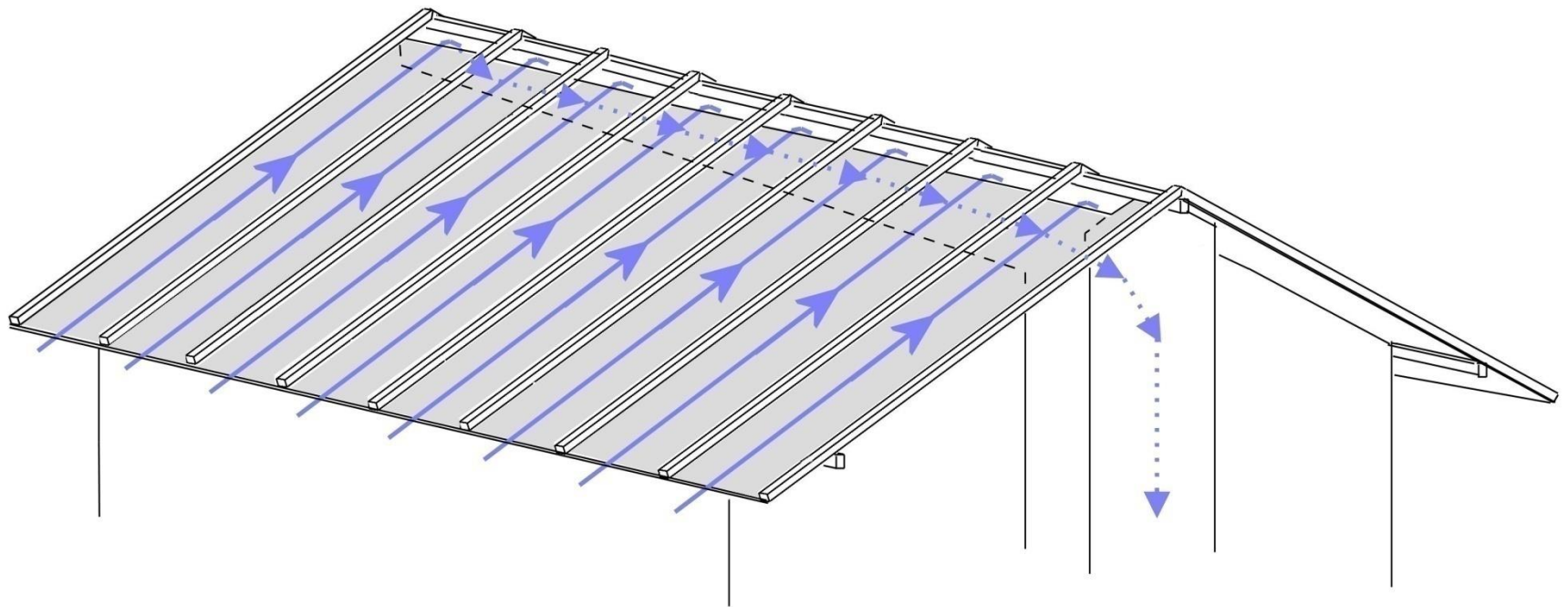


Oben Dachabsaugung mit mittigem Sammelkanal für Pfettendach

Dachwärmennutzung – ein Muss!



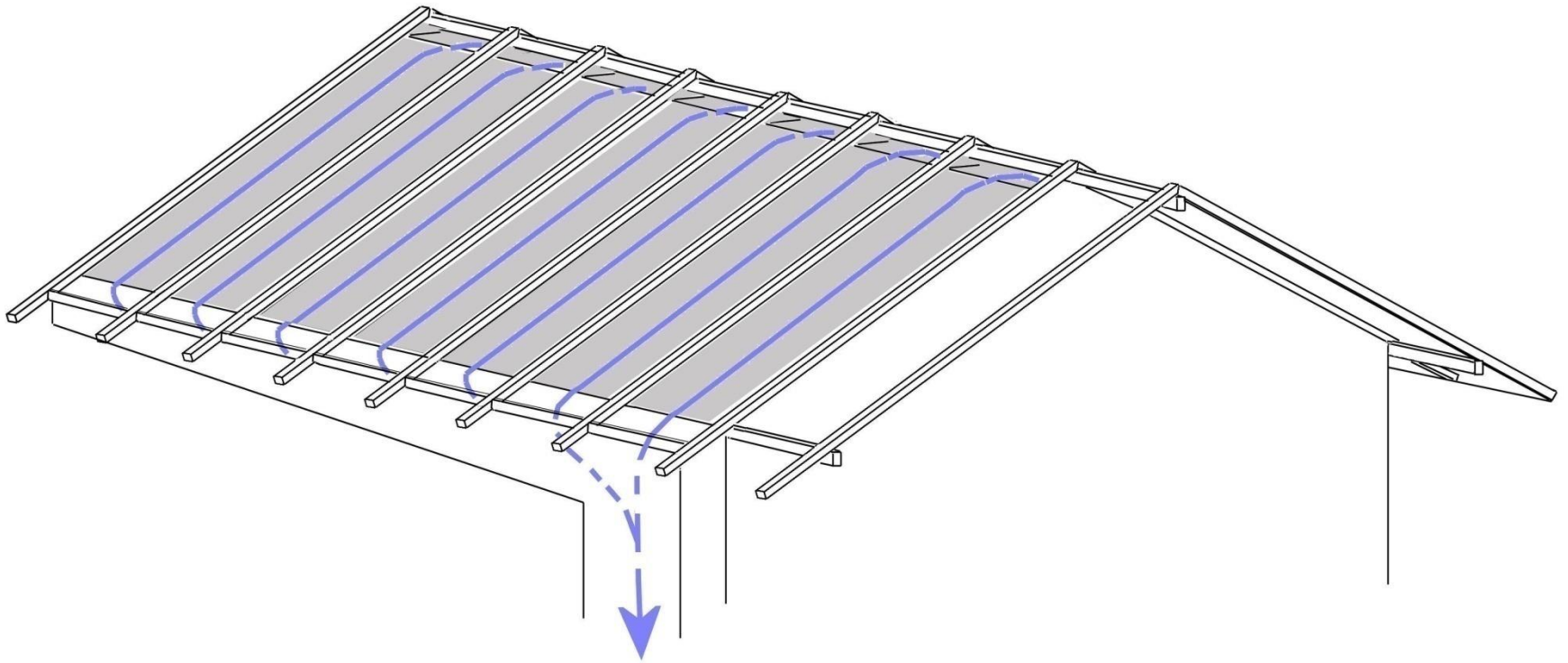




Oben einseitige Dachabsaugung für Sparrendach mit Giebelkanal

Dachwärmenutzung – ein Muss!





Oben doppelseitige Dachabsaugung für Sparrendach mit Traufenkanal

Dachwärmenutzung – ein Muss!





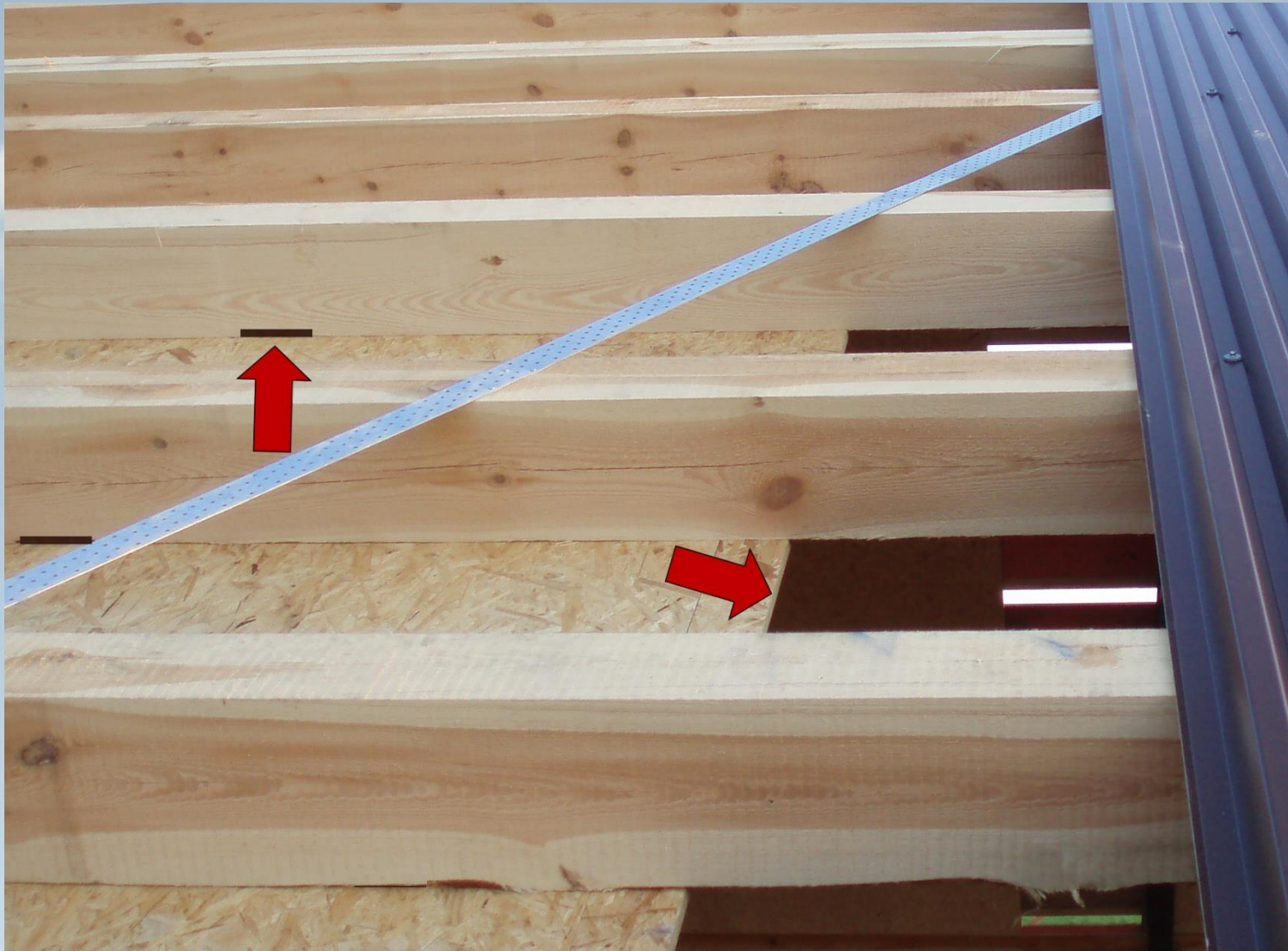


**optimale Luftgeschwindigkeit im Dach 3 bis 6,5 m/s!**

Foto: Biolandhof Braun, Freising

**Pfettendach mit Unterschalung u. Trapezblech**





Kondenswasserabflussmöglichkeit durch Fräsnuten an Pfettenunterseite oder abgekantete Unterschalung

Feuchtigkeitsschutz





# Beispiel zur Kollektor-Luftgeschwindigkeit:

Beispieldaten:

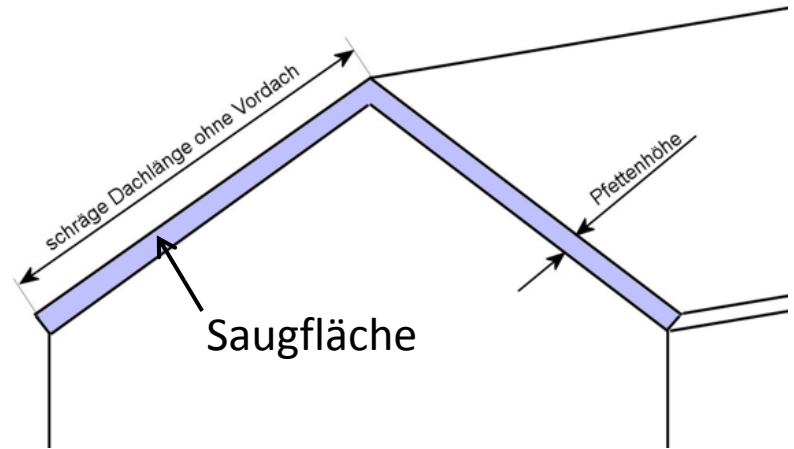
Pfettendach, nutzbare Länge 30 m,  
schräge Dachbreite ohne Vordach 7 m,  
Pfettenquerschnittshöhe 20 cm

Stirn-Saugfläche damit:

$$2 \times 7 \times 0,2 \text{ m} = 2,8 \text{ m}^2$$

Boxenfläche 110 m<sup>2</sup> ->

Volumenstrom 12,1 m<sup>3</sup>/s



einseitige Ansaugung (von einer Giebelseite) ergibt eine  
Luftgeschwindigkeit  $v$ :

$$v = \text{Volumenstrom} / \text{Saugfläche} = 12,1 / 2,8 = 4,32 \text{ m/s}$$

doppelseitige Ansaugung (von beiden Giebelseiten)  
verringert die Luftgeschwindigkeit auf 2,16 m/s,  
ist daher ungünstiger!

Bemessung der Luftgeschwindigkeit im Dach



Rechts Ausführung eines  
Sammelkanals,  
Verstrebung außenliegend!  
Links oben ist eine Firstentlüftung  
sichtbar, diese ist im Bereich des  
Sammelkanals unterbrochen.

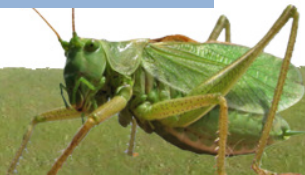


## Querschnitt des Sammelkanals:

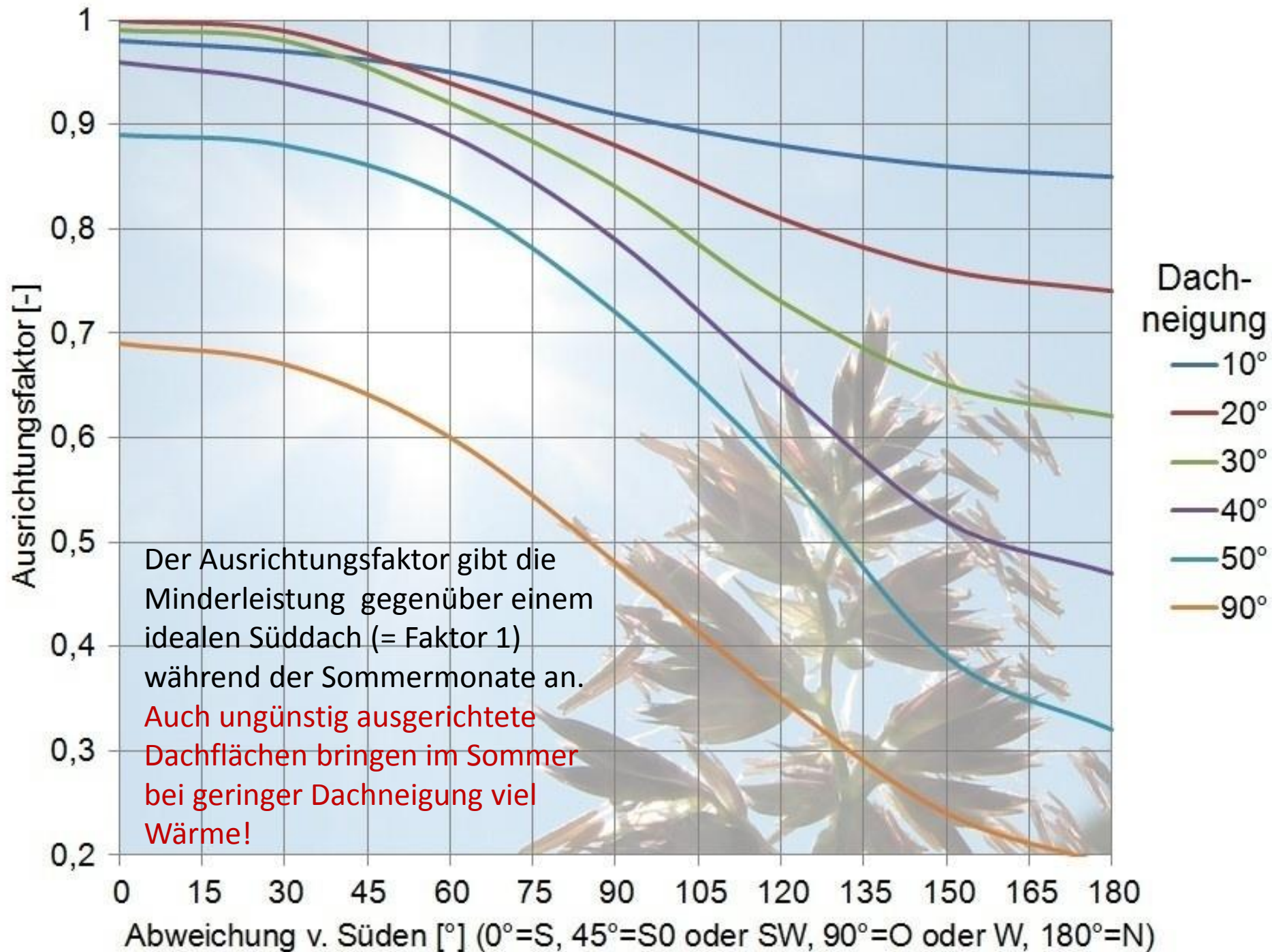
Beispiel: Boxenfläche 110 m<sup>2</sup> -> Volumenstrom 12,1 m<sup>3</sup>/s  
**zulässige Geschwindigkeit 4 m/s**

$$\begin{aligned}\text{Querschnittsfläche} &= \text{Volumenstrom} / \text{Luftgeschwindigkeit} = \\ &= 12,1 / 4 = 3,025 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Luftgeschwindigkeit im Sammelkanal







dichte Solarmodule, darunter Dachabsaugung

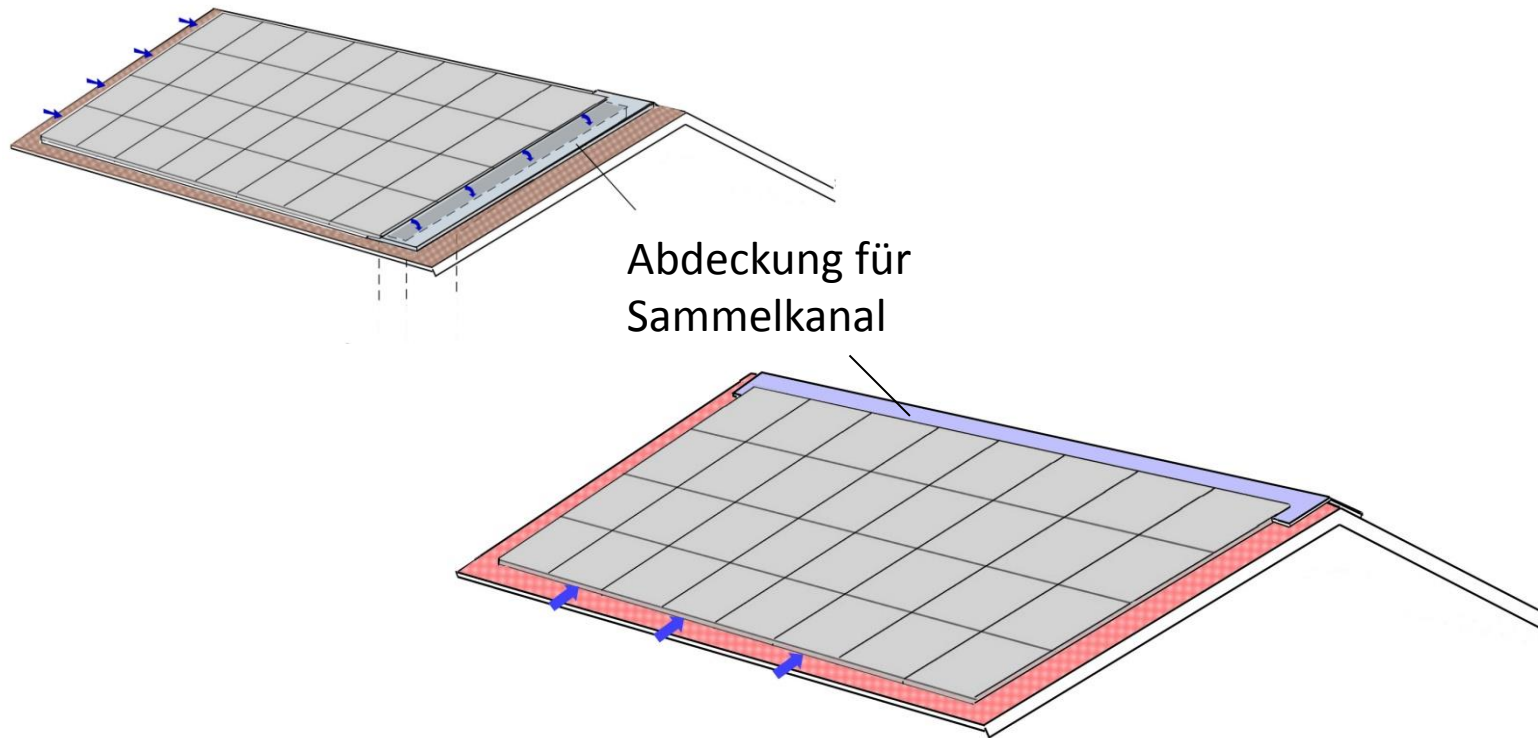


Foto: Biolandhof Braun, Freising

Fotovoltaik – die ideale Ergänzung







Bei (nicht dichten) Aufdach-PV-Modulen muss der Sammelkanal abgedeckt werden. Der Sammelkanal kann je nach Luftführung seitlich oder firstseitig liegen. Bei Stillstand der Trocknungsanlage eine Kühlung der PV-Module durch Öffnen einer Luftklappe oder über einen kleinen Axialventilator im Sammelkanal erreicht werden.





Zur Erhöhung der Schlagkraft und zur Überbrückung von Schlechtwettertagen ist eine **Luftanwärmung** (z.B. über Wärmetauscher bei vorhandener Heizung oder über Warmluftofen) oder eine **Luftentfeuchtung** sinnvoll.



Warmluftofen



Wärmetauscher

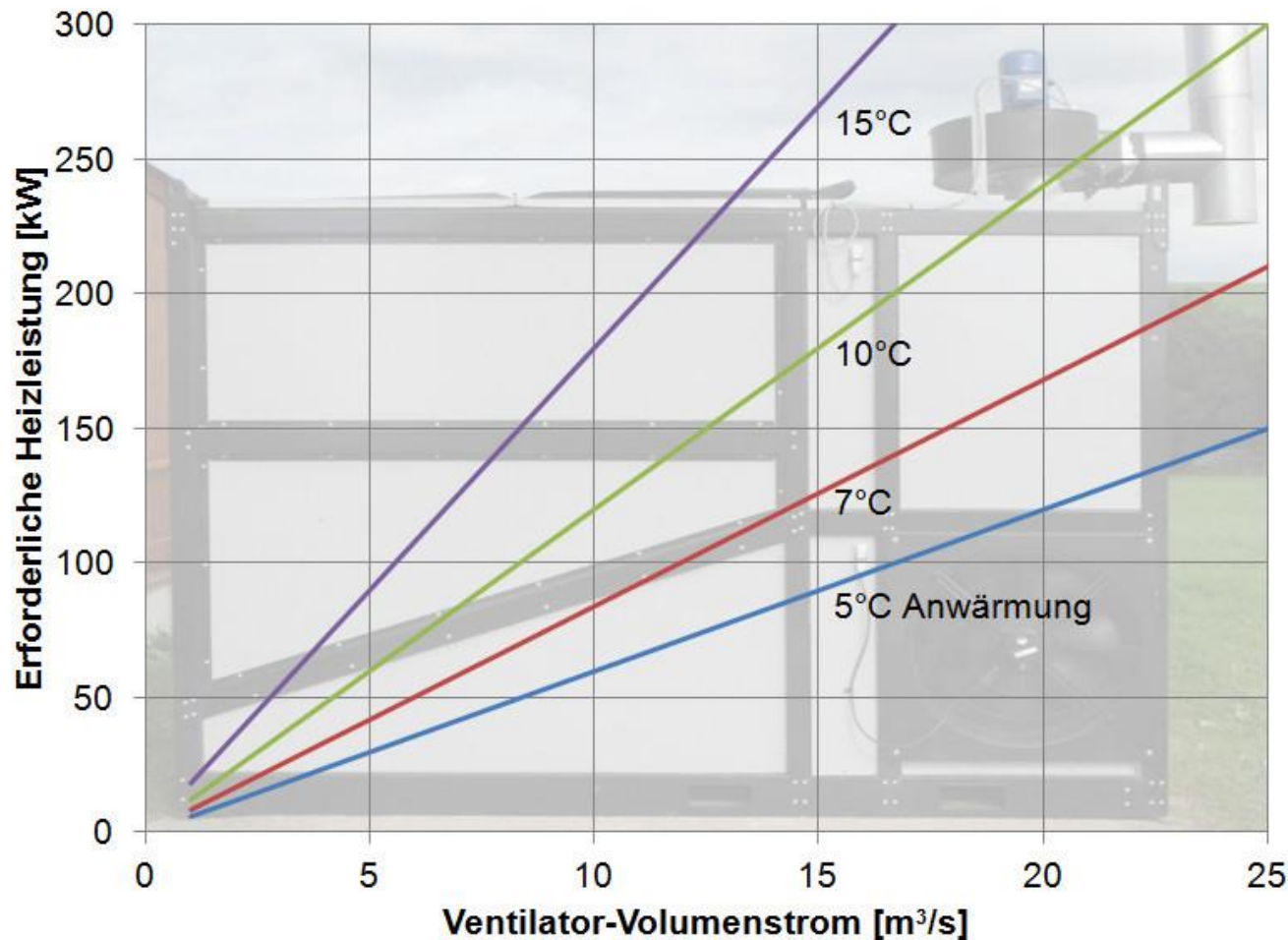


Entfechter

Trocknen bei Schlechtwetter





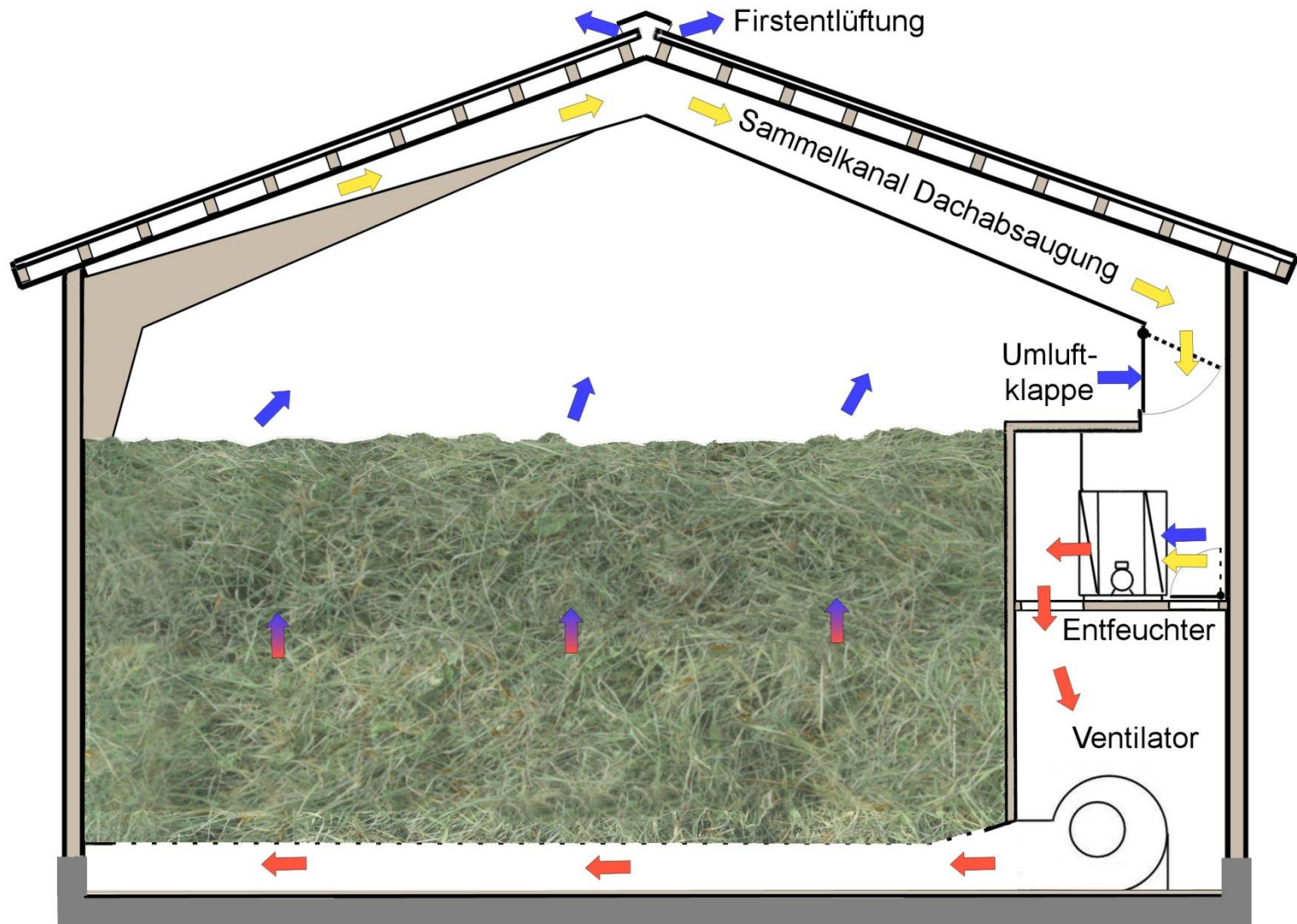


Faustzahl:  
je 10 m³/s  
benötigt man für  
1°C Anwärmung  
12,5 kW.

Warmluft mischt sich  
schlecht mit  
Umgebungsluft –  
daher Einspeisung in  
Lüfterkammer bzw.  
Ventilator beachten!

Luftanwärmung braucht viel Energie





Varianten: Vollentfeuchtung – Teilentfeuchtung (teilweise Umgehung des Entfeuchters oder Bypass nach dem Verdampfer)

Schema Luftentfeuchter







Umschaltklappe über Lüfterkammer

Umschaltschieber



Umschaltklappe für Frischluft/Umluft)



- ▶ **gute Abstimmung des Luftdurchsatzes ist sehr wichtig!**  
Luftgeschwindigkeit am Verdampfer sollte unter 4 m/s liegen.  
**Verhältnis Kompressorleistung/Leistung des Ventilators ab 0,75 : 1 bis 2,5 : 1.** Eine hohe Kompressorleistung und die Entfeuchtung der ganzen Trocknungsluft ist besonders im Umluftbetrieb bei niedrigen Außentemperaturen von Vorteil.
- ▶ **bei geringer Luftfeuchtigkeit und niedriger Temperatur arbeiten alle Entfeuchter schlecht – ev. unterhalb 40 % rel. Feuchte abschalten!**
- ▶ **bei Außentemperaturen unterhalb von 20 bis 25 °C eher im Umluftbetrieb fahren.**
- ▶ **eventuelle Wärmetauscher stets nach dem Entfeuchter anordnen.**
- ▶ **Boxenboden bzw. Luftkanal gegen Wärmeverlust dämmen**





- ▶ variable Lüfterdrehzahl je nach Betriebsart und Trocknungszustand, automatische Kurzzeit-Intervallbelüftung mehrerer Boxen
- ▶ Einhaltung eines begrenzten elektrischen Anschlusswertes (z.B. 50 A)
- ▶ automatische Umschaltung zwischen Umluft- und Frischluftbetrieb oder Mischluftbetrieb bei Entfeuchtung
- ▶ Laufzeitsteuerung entsprechend dem Trocknungszustand, automatischer Übergang in den Intervallbetrieb



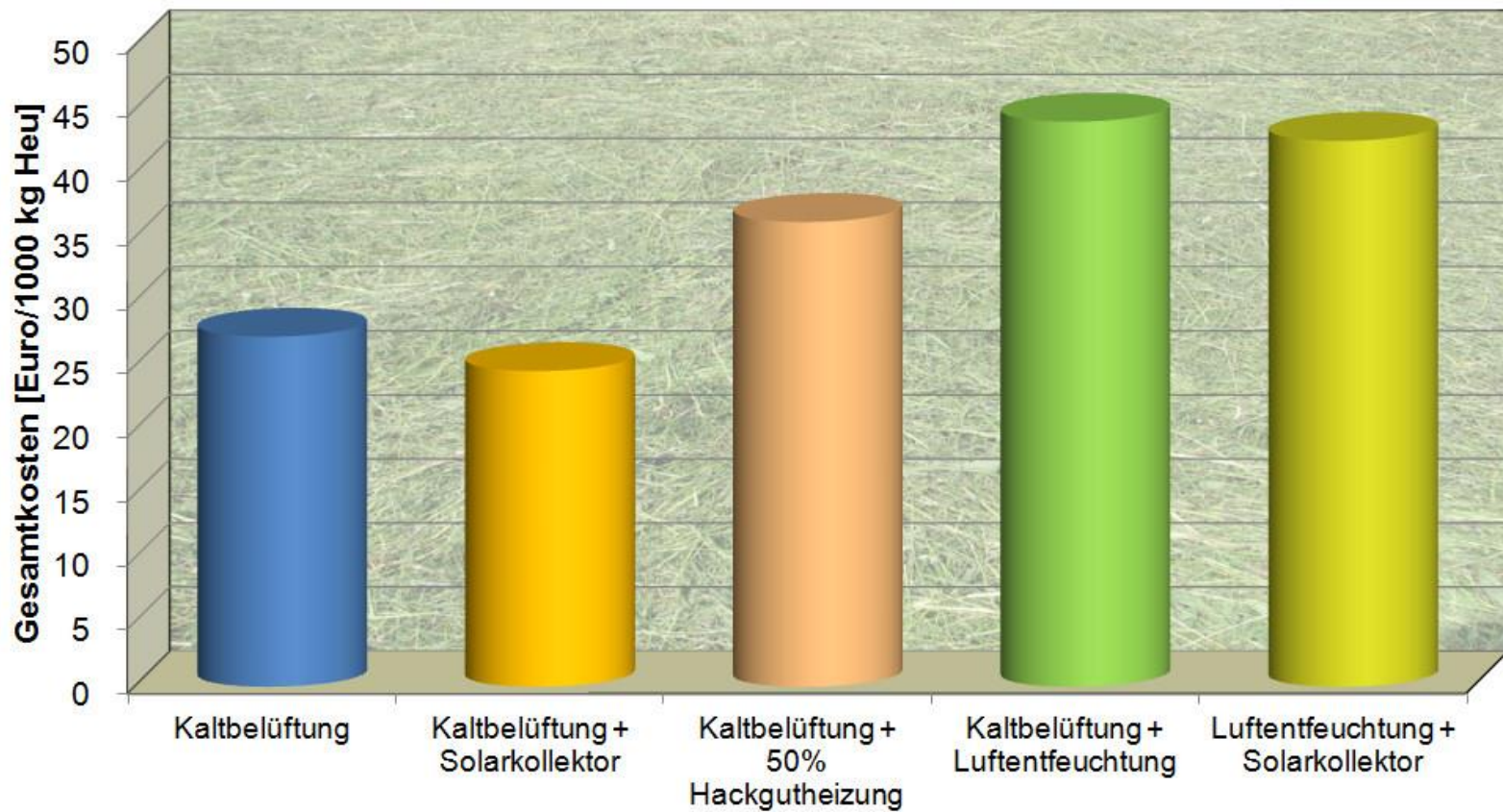
| <b>Verfahren</b>                                    | <b>spezifischer<br/>Energiebedarf<br/>[kWh/kg Wasser]</b> | <b>Energiebedarf<br/>(63% auf 87% TM)<br/>[kWh/t Heu]</b> |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Kaltbelüftung                                       | 0,25                                                      | 90 (65 bis 115)                                           |
| Kaltbelüftung +<br>Solarkollektor                   | 0,18                                                      | 65 (40 bis 90)                                            |
| Kaltbelüftung +<br>Entfeuchter                      | 0,32                                                      | 110 (70 bis 130)                                          |
| Solarkollektor +<br>Entfeuchter                     | 0,24                                                      | 85 (60 bis 120)                                           |
| Kaltbelüftung + Ölofen<br>(40 % Einschaltzeit)      | 0,90                                                      | 23 l Öl + 75 kWh                                          |
| Kaltbelüftung + Hackgutofen<br>(50 % Einschaltzeit) | 0,92                                                      | 255 (200 bis 310)                                         |

(23 l Heizöl = 0,17 rm Holz = 0,3 srm Hackgut)

**Energiebedarf**







Aktualisiert: 2013

Gebäudekosten und Kosten der Heuwerbung sind hier nicht berücksichtigt

Berechnungsbasis für Trocknung von 36% auf 13% Wassergehalt

**Verfahrenskosten**



# Schritte zum Erfolg bei Loseheu:

- **Boxengröße mit der Erntefläche abstimmen**
- **Lüfterauswahl entsprechend Boxengröße, Erntefläche, Stockhöhe, Erntegut**
- **Druckausgleich herstellen – hoher Boxenrost**
- **Solarwärme nutzen, Schlagkraft durch Luftanwärmung oder Entfeuchtung erhöhen**
- **Vortrocknung am Boden durch Aufbereiter und zwei- bis dreimaligem Einsatz des Kreiselzettwenders optimieren**
- **locker und gleichmäßig beschicken, Charge auf Auslegung der Anlage beschränken**





So könnte gutes Heu aussehen

