

Selbstbaukurs: Sonnenkollektoren für die Heubelüftung



Impulsprogramm PACER
Bundesamt für Konjunkturfragen

Trägerschaft:

SVLT Schweiz. Verband für Landtechnik, 5223 Riniken

Projektleitung:

Roland Biolley, Calorplan AG, 5212 Hausen

Autoren:

Roland Biolley, Calorplan AG, 5212 Hausen
Kurt Egger, INFOENERGIE, 8356 Tänikon
Paul Müri, Zentralstelle für Landw. Maschinenberatung
und Unfallverhütung, Liebegg, 5722 Gränichen
Willi von Atzigen, Schweiz. Verband für Landtechnik, 5223 Riniken

Mitarbeit:

P. A. Mouchet, SRVA, 1002 Lausanne
Albert Nietlispach, Landwirt, 5637 Beinwil / Freiamt
Theo Pfister, VTL-Software, 9230 Flawil
Godi Trachsler, Beratungsstelle für Unfallverhütung in der
Landwirtschaft, 5040 Schöftland

Gestaltung:

Education Design Sepp Steibli, Bolligenstrasse 46c, 3006 Bern

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, Oktober 1994

Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe erlaubt.
Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale
(Best.-Nr. 724.223 d)

Form. 724.223 d 10.94 2000 U19646

Vorwort

Das Aktionsprogramm «Bau und Energie» ist auf sechs Jahre befristet (1990–1995) und setzt sich aus den drei Impulsprogrammen (IP) zusammen:

- IP BAU – Erhaltung und Erneuerung
- RAVEL– Rationelle Verwendung von Elektrizität
- PACER – Erneuerbare Energien

Mit den Impulsprogrammen, die in enger Kooperation von Wirtschaft, Schulen und Bund durchgeführt werden, soll der qualitative Wertschöpfungsprozess unterstützt werden. Dieser ist gekennzeichnet durch geringen Aufwand an nicht erneuerbaren Rohstoffen und Energie sowie abnehmende Umweltbelastung, dafür gesteigerten Einsatz von Fähigkeitskapital. Im Zentrum der Aktivität von PACER steht die Förderung verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien. Bis heute ist der Beitrag der erneuerbaren Energien mit Ausnahme der Wasserkraft trotz des beträchtlichen Potentials sehr gering geblieben. Das Programm PACER soll deshalb

- die Anwendungen mit dem besten Kosten-/ Nutzenverhältnis fördern,
- den Ingenieuren, Architekten und Installateuren die nötigen Kenntnisse vermitteln,
- eine andere ökonomische Betrachtungsweise einführen, welche die externen Kosten (Umweltbelastung usw.) mit einbezieht sowie
- Behörden und Bauherren informieren und ausbilden.

Kurse, Veranstaltungen, Publikationen, Videos, etc.

Umgesetzt werden sollen die Ziele von PACER durch Aus- und Weiterbildung sowie Information. Die Wissensvermittlung ist auf die Verwendung in der täglichen Praxis ausgerichtet. Sie baut hauptsächlich auf Publikationen, Kursen und Veranstaltungen auf. Zielpublikum sind vor allem Ingenieure, Architekten, Installateure sowie Angehörige bestimmter spezialisierter Berufszweige aus dem Bereich der erneuerbaren Energien.

Die Verbreitung allgemeiner Information ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil des Programmes. Sie soll Anreize geben bei Bauherren, Architekten, Ingenieuren und Behördenmitgliedern.

InteressentInnen können sich über das breitgefächerte, zielgruppenorientierte Weiterbildungsangebot in der Zeitschrift IMPULS informieren. Sie erscheint zwei- bis dreimal jährlich und ist (im Abonnement, auch in französisch und italienisch) beim Bundesamt für Konjunkturfragen 3003 Bern, gratis erhältlich. Jedem/r Kurs- oder VeranstaltungsteilnehmerIn wird jeweils eine Dokumentation abgegeben. Diese besteht zur Hauptsache aus der für den entsprechenden Anlass erarbeiteten Fachpublikation. Diese Publikationen können auch unabhängig von Kursbesuchen direkt bei der Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale (EDMZ), 3000 Bern, bezogen werden.

Zuständigkeiten

Um das ambitionierte Bildungsprogramm bewältigen zu können, wurde ein Organisations- und Bearbeitungskonzept gewählt, das neben der kompetenten Bearbeitung durch SpezialistInnen auch die Beachtung der Schnittstellen sowie die erforderliche Abstützung bei Verbänden und Schulen der beteiligten Branchen sicherstellt. Eine aus VertreterInnen der interessierten Verbände, Schulen und Organisationen bestehende Kommission legt die Inhalte des Programmes fest und stellt die Koordination mit den übrigen Aktivitäten zur Förderung der erneuerbaren Energien sicher. Branchenor-

ganisationen übernehmen die Durchführung der Weiterbildungs- und Informationsangebote. Für deren Vorbereitung ist das Programmleitungsteam (Dr. Jean-Bernard Gay, Dr. Charles Filleux, Jean Graf, Dr. Arthur Wellinger, Irene Wuillemin, BfK) begleitet durch Eric Mosimann, BfK, verantwortlich. Die Sachbearbeitung wird im Rahmen von Arbeitsgruppen erbracht, die inhaltlich, zeitlich und kostenmässig definierte Einzelaufgaben zu lösen haben.

Dokumentation

Die vorliegende Dokumentation soll als Ergänzung zum Selbstbaulehrgang dem Bauinteressenten als Grundlage dienen. Die empfohlenen Konstruktionen und Detaillösungen sind als Empfehlung zu verstehen. Sie wurden in der Praxis erprobt. So wurde durch das Autorenteam während den Vorbereitungen zu dieser Publikation und für den Selbstbaulehrgang, ein Testobjekt im Massstab 1:1 ausgeführt. Die dabei gewonnenen praktischen Erfahrungen haben zum Vorschlag dieser Konstruktionen geführt. Je nach Objekt und den speziellen Voraussetzungen, können andere Lösungen jedoch vorteilhafter sein.

Das vorliegende Handbuch verzichtet weitgehend auf Wiederholungen von bereits publizierten Erkenntnissen und Grundlagen. Vor der Planung einer Anlage, muss ein intensives Studium dieser „Standardwerke“, dringend empfohlen werden. (vgl. Literaturverzeichnis). Für eine Berechnung der Anlage und die Überprüfung des Konzeptes, ist der Beizug eines anerkannten Beraters von Vorteil.

Nach einer Vernehmlassung und dem Anwendungstest in einer Pilotveranstaltung ist die vorliegende Dokumentation sorgfältig überarbeitet worden. Dennoch hatten die Autoren freie Hand, unterschiedliche Ansichten über einzelne Fragen nach eigenem Ermessen zu beurteilen und zu berücksichtigen. Sie tragen denn auch die Verantwortung für die Texte. Unzulänglichkeiten, die sich bei den praktischen Anwendungen ergeben, können bei einer allfälligen Überarbeitung behoben werden. Anregungen nehmen das Bundesamt für Konjunkturfragen oder der verantwortliche Redaktor/Kursleiter entgegen (vgl. S. 2).

Für die wertvolle Mitarbeit zum Gelingen der vorliegenden Publikation sei an dieser Stelle allen Beteiligten bestens gedankt.

Oktober 1994

Bundesamt für Konjunkturfragen
Dr. B. Hotz-Hart
Vizedirektor für Technologie

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Grundlagen der Heubelüftung | 9 |
| 1.1 | Allgemeines | 9 |
| 1.2 | Trocknungsvorgang | 10 |
| 1.3 | Wasseraufnahmevermögen der Luft | 11 |
| 1.4 | Dimensionierung | 12 |
| 2 | Der Sonnenkollektor | 15 |
| 2.1 | Kollektor-Typen | 15 |
| 2.2 | Wichtige Kollektorkenngrossen | 16 |
| 2.3 | Ideale Luftführung | 17 |
| 2.4 | Erfahrungen aus der Praxis | 18 |
| 3 | Maschinen und Werkzeuge | 25 |
| 3.1 | Allgemeines | 25 |
| 3.2 | Sägen | 26 |
| 3.3 | Mobile Hebebühnen | 30 |
| 4 | Montageorganisation und Unfallverhütung | 35 |
| 4.1 | Allgemeine Vorbereitung des Arbeitsplatzes | 35 |
| 4.2 | Herrichtung des Arbeitsplatzes für die Erstellung des Sonnenkollektors | 36 |
| 4.3 | Arbeitspersonal | 37 |
| 4.4 | Arbeiten auf erhöhten Arbeitsplätzen | 38 |
| 5 | Selbstbauanleitung | 45 |
| 5.1 | Allgemeines | 45 |
| 5.2 | Begriffsdefinitionen | 46 |
| 5.3 | Pläne | 47 |
| 5.4 | Detailzeichnungen | 51 |
| 5.5 | Materialliste | 56 |
| 6 | Planung einer Anlage | 59 |
| 6.1 | Allgemeines | 59 |
| 6.2 | Berechnung der Anlage | 60 |
| 6.3 | Auslegung der luftführenden Teile | 63 |
| 6.4 | Verhüten von Fehlern | 65 |
| | Literaturverzeichnis | 68 |
| | Publikationen und Videos des Impulsprogrammes PACER | 69 |

1 Grundlagen der Heubelüftung

| | |
|--|-----------|
| 1.1 Allgemeines | 9 |
| 1.2 Trocknungsvorgang | 10 |
| 1.3 Wasseraufnahmevermögen der Luft | 11 |
| 1.4 Dimensionierung | 12 |

1 Grundlagen der Heubelüftung

1.1 Allgemeines

Frisches Gras hat zum Schnittzeitpunkt einen Trockensubstanzgehalt (TS) 15–20% und ist deshalb leicht verderblich. Ein trockener Heustock hat einen Wassergehalt von max. 14% (86% TS).

Die verschiedenen Trocknungssysteme sollten folgende Forderungen erfüllen:

- frühzeitiger Schnitt (gehaltvolles Futter)
- geringe Verluste
- hohe Verfahrensleistung
- geringer Arbeitsaufwand
- niedrige Kosten.

Die Bodentrocknung kann nur noch für extensive Bewirtschaftungsmethoden oder für Betriebe mit grossem Siloanteil in Frage kommen. Alle Betriebe, welche auf eine gute Heuqualität angewiesen sind, können kaum auf eine Nachtrocknung verzichten. Die Unterdachtrocknung steht bei uns im Vordergrund. Wir unterscheiden 4 Trocknungsverfahren:

- Die Nachtrocknung von Bodenheu mit einem TS-Gehalt von über 75%. Für diesen Zweck werden oft einfache, behelfsmässige und mobile Belüftungseinrichtungen (z.B. Obenbelüftung) eingesetzt.
- Die Kaltbelüftung wird hauptsächlich eingesetzt. Sie ist geeignet für vorgetrocknetes Heugras mit einem TS-Gehalt um 60%. In der schweiz. Landwirtschaft stehen um die 40'000 solcher Anlagen in Betrieb.
- Die Warmbelüftung ist mit höheren Investitions- und Betriebskosten belastet. Sie wird aus diesem Grund nicht so oft eingesetzt. Bei diesem Verfahren wird die Zuluft vor dem Heustock mit einem leistungsfähigen Ölofen um ca. 6 °C erwärmt. Das eingebrachte Futter kann einen TS-Gehalt um 50% haben.
- Die Trocknungsanlage mit Wärmepumpe. Wir unterscheiden 2 Systeme: die Luft-Luft-Wärmepumpe und die Luftentfeuchter-Wärmepumpe. Beides sind Systeme, welche sich durch hohe Investitionen und einen grossen Strombedarf auszeichnen. Als Vorteil bieten sie die Möglichkeit, auch andere landw. Güter wie Silomais oder Getreide zu trocknen.

Heubelüftungen mit Sonnenkollektoren können als Zwischenlösung zwischen einer Kalt- und einer Warmbelüftung betrachtet werden. Bei genügender Sonneneinstrahlung wird die volle Leistung einer Warmbelüftung erreicht. Dies gilt besonders bei einer optimalen Planung und Ausführung der Anlage. Bei fehlendem direkten Sonnenschein (aufgelockerte Bewölkung) wird immerhin gegenüber einer Kaltbelüftung eine Verbesserung der Trocknungsleistung erreicht.

Der Stromverbrauch gegenüber einer Kaltbelüftung könnte bei gleicher Einfuhrfeuchte nahezu halbiert werden. In der Praxis wird meistens mit grösserem Feuchtegehalt eingefahren. Die effektive Stromeinsparung beträgt dann nur noch ca. 25%.

1.2 Trocknungsvorgang

Beim Trocknen von Gras müssen grosse Wassermengen an die Umgebungs- bzw. Trocknungsluft abgegeben werden. Pro Hektare und Schnitt müssen 8–15 t Wasser aus dem Futter verdunsten. Während der Anwelkphase am Boden verliert das Gras einen grossen Teil des Wassergehaltes. Der Rest wird durch die Unterdachtrocknung entfernt.

Je höher der Wassergehalt beim Einbringen des Welkheues ist, desto kleiner sind die Bröckelverluste auf dem Feld. Dies bildet die Grundlage für ein nährstoffreiches Futter. Sehr oft wird jedoch die Leistungsfähigkeit der Belüftungsanlage überschätzt, was zu einem teilweisen Verderben des Futters führen kann.

Eine Heubelüftung darf stark belastet aber niemals überlastet werden.

Der entscheidende Punkt der Belüftungstechnik ist die Einschätzung des Trocknungsfortschrittes und der Futterfeuchtigkeit.

Der «Absturz» einer Belüftung kann folgende Nachteile zur Folge haben:

1. Der Stock verdichtet sich (Raumgewicht über 120 kg /m³)

2. Der Stock verschimmelt (zu lange Trocknungszeit bei grossen Temperaturunterschieden)

3. Das Futter wird abwechselnd getrocknet und wieder befeuchtet. Es entstehen Verluste an Nährstoffen, Bekömmlichkeit und Geschmack.

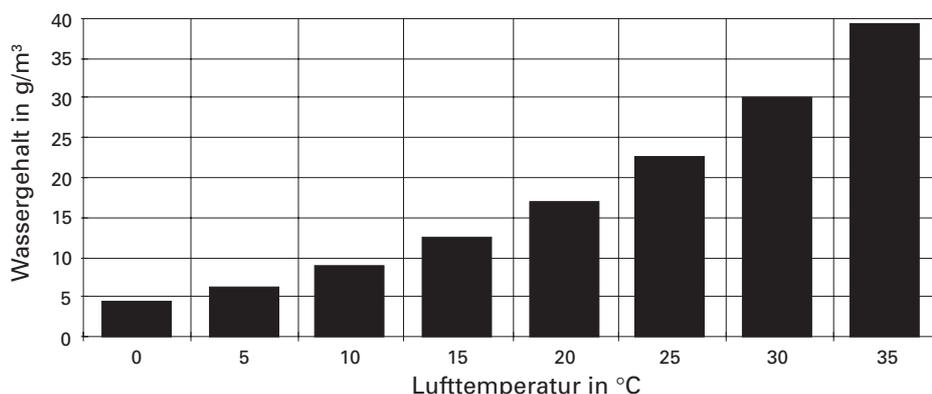
Eine grosse Verantwortung liegt beim Betriebsleiter, der nebst den Witterungsverhältnissen die Futterqualität, den Wassergehalt, die Schlagkraft seines Betriebes und die Trocknungsleistung seiner Heubelüftung bei seinen Entscheidungen berücksichtigen muss. Er kann kein Labor zur Bestimmung des Feuchtegehaltes beiziehen. Viel Erfahrung und Beobachtungsgabe helfen ihm bei der richtigen Entscheidung, ob das Futter noch einen Tag draussen bleiben soll oder ob es noch am gleichen Tag eingefahren wird.

1.3 Wasseraufnahmevermögen der Luft

Die Umgebungsluft hat immer einen variierenden Feuchtigkeitsgehalt. Je höher die Temperatur, desto mehr Wasser kann pro m³ aufgenommen werden. Wir können die relative Luftfeuchtigkeit mit einem handelsüblichen Hygrometer einfach messen.



Wassergehalt der Luft bei verschiedenen Temperaturen und 100% relativer Luftfeuchtigkeit



Ein m³ Luft mit einer bestimmten Luftfeuchtigkeit und Temperatur kann bis zur Sättigung (100% rel. Luftfeuchtigkeit) eine gewisse Menge Wasserdampf aufnehmen. Die Differenz zwischen der Ausgangsfeuchte und der Sättigung nennen wir das Sättigungsdefizit.

Wie wir aus der vorhergehenden Grafik entnehmen können, besteht ein Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Aufnahmevermögen der Luft. Das heisst, je höher die Temperatur, desto mehr Wasser kann die Luft aufnehmen.

Somit besteht für die Heubelüftung einerseits das Bedürfnis mit möglichst trockener aber auch möglichst warmer Aussenluft zu belüften.

Beispiele:

Relative Luftfeuchtigkeit angenommen 50%

| Temp. aussen °C | Wassergehalt, Aussenluft g/m ³ Luft | Temp. am Lüfter °C | Wasseraufnahmevermögen g/m ³ Luft | Wassergehalt nach Heustock g/m ³ Luft |
|-----------------|--|--------------------|--|--|
| 15 | 6 | 21 | 3 | 9 |
| 20 | 8 | 26 | 3.5 | 11.5 |
| 20 | 8 | 28 | 5 | 13 |
| 25 | 11 | 33 | 6 | 17 |

Bei günstigen Belüftungsbedingungen, d.h. unter 70% r.F., kann jeder m³ Luft bis zu mehreren Gramm Wasser aus dem Futterstock entnehmen.

Ein häufigeres Einführen von Futter in kleineren Mengen vermindert das Belüftungsrisiko bei gleichbleibender Trocknungsleistung.

1.4 Dimensionierung

Die richtige Dimensionierung einer Heubelüftungsanlage stellt einen sehr wichtigen Schritt für den späteren Erfolg der Belüftung dar. Es ist in jedem Fall von Vorteil, einen neutralen Berater beizuziehen, welcher über die notwendige Erfahrung zur Dimensionierung einer Heubelüftung verfügt.

Hier zwei Literaturhinweise für Interessierte, welche sich in dieses Thema vertiefen wollen:

«Die Heubelüftung von A bis Z»,
FAT-Bericht Nr. 406

PACER Handbuch
**«Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft:
Planungsgrundlagen»**
(Seiten 53 bis 62)

2 Der Sonnenkollektor

| | |
|--|-----------|
| 2.1 Kollektor-Typen | 15 |
| 2.1.1 Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung | 15 |
| 2.1.2 Kollektor mit dunkler Abdeckung | 15 |
| 2.2 Wichtige Kollektorkenngrößen | 16 |
| 2.2.1 Lufterwärmung | 16 |
| 2.2.2 Wirkungsgrad | 16 |
| 2.2.3 Druckverlust | 16 |
| 2.3 Ideale Luftführung | 17 |
| 2.3.1 Unterschiedliche Ansauglängen | 17 |
| 2.3.2 Sammelkanal | 17 |
| 2.3.3 Luftkanäle | 17 |
| 2.4 Erfahrungen aus der Praxis | 18 |
| 2.4.1 Umfrage | 18 |
| 2.4.2 Messungen | 18 |
| 2.4.3 Resultate | 19 |
| 2.4.4 Kommentar | 20 |
| 2.4.5 Vergleich mit theoretischen Berechnungen | 20 |

2 Der Sonnenkollektor

2.1 Kollektor-Typen

2.1.1 Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung

Der Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung nützt den sogenannten Treibhauseffekt aus. 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.

Weil die lichtdurchlässigen Kollektoren in der Landwirtschaft aus ästhetischen und versicherungstechnischen Gründen praktisch nicht mehr erstellt werden können, wird hier nicht auf weitere Details eingegangen.

2.1.2 Kollektor mit dunkler Abdeckung

Beim Kollektor mit dunkler Abdeckung fällt die von den Sonnenstrahlen erzeugte Wärme auf der Abdeckung (Dachbelag) an. Sie kann somit an die Aussenluft wie auch an die durch den Kollektor 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 ist, desto besser wird der Wirkungsgrad und desto höher wird aber auch der Druckverlust im Kollektor.

Eternitkollektoren

Die Eternitkollektoren stellen bei Neubauten den weitaus grössten Anteil. Sie sind von der Ästhetik her unproblematisch. Der Wirkungsgrad liegt in der Regel bei 40 bis 50%. Um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen, ist eine sorgfältige Planung mit der richtigen Kanalhöhe, resp. Luftgeschwindigkeit, notwendig.

Ziegelkollektoren

Der Ziegelkollektor wird an Standorten mit extremen Anforderungen an das Erscheinungsbild der Dächer, sowie bei Umbauten, eingesetzt. Generell muss hier mit eher niedrigen Wirkungsgraden von 20 bis 45% gerechnet werden. Mit dem Ausgleichen des schlechteren Wirkungsgrades durch mehr Fläche, stösst man an die Grenzen des Machbaren.

Etwas schwierig zu beurteilen sind die Auswirkungen von Niederschlägen auf Ziegelkollektoren. Es ist davon auszugehen, dass Ziegel relativ langsam trocknen und Feuchtigkeit durch die Ritzen angesaugt wird.

Ein Messprogramm (vgl. Kapitel 2.4) soll zu diesen Fragen Aufschluss geben.

Blechkollektoren

Der Blechkollektor 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.

2.2 Wichtige Kollektorkenngrossen

2.2.1 Lufterwärmung

Erfahrungsgemäss befriedigt die Leistung eines Kollektors, wenn er bei 800 W/m^2 Sonneneinstrahlung eine Lufterwärmung von $6 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht.

Die Aufgabe des Sonnenkollektors besteht darin, die Trocknungsluft für die Heubelüftung aufzuwärmen. Dadurch kann diese mehr Wasser aufnehmen und somit den Stock schneller trocknen.

Wird zum Beispiel Luft mit 90% relativer Luftfeuchtigkeit von $15 \text{ }^\circ\text{C}$ um 6 ° auf $21 \text{ }^\circ\text{C}$ erwärmt, fällt ihre relative Feuchtigkeit auf ca. 60%. Solche Luft genügt für eine Fertigtrocknung des Welkheus bis etwa 88% TS.

2.2.2 Wirkungsgrad

Je höher der Wirkungsgrad ist, desto besser fällt die Nutzung der eingestrahnten Energie aus. Der Wirkungsgrad hängt in erster Linie von der Luftgeschwindigkeit im Kollektor und der Verwirbelung der Luft ab. Besonders bei Kollektoren mit dunkler Abdeckung lässt sich der Wirkungsgrad durch eine optimale Wahl der Luftgeschwindigkeit beeinflussen.

Bei gegebenem Ventilator und somit bei gegebener Gesamtluftmenge wird die Luftgeschwindigkeit durch die Kanalhöhe bestimmt. Je niedriger die Kanalhöhe ist, desto grösser ist die Luftgeschwindigkeit und der Wirkungsgrad. Bei höherer Luftgeschwindigkeit wird allerdings auch der Druckverlust durch den Kollektor grösser.

Im weiteren ist der Wirkungsgrad von der Kollektorlänge abhängig. Lange Kollektoren sind gegenüber kurzen ungünstiger.

2.2.3 Druckverlust

Der Heubelüftungs-Ventilator saugt die zu erwärmende Trocknungsluft zwischen dem Dach und der darunter liegenden Luftleitplatte (Spanplatte) ab. Der Lufteinlass aus dem Freien und die Luftbewegung an der meist welligen Dachunterseite verursachen einen Druckverlust. Dieser Verlust steigt bei grösseren Luftgeschwindigkeiten rasch an (im Quadrat der Geschwindigkeit!).

Der Druckverlust durch den Sonnenkollektor sollte 1 mbar nicht übersteigen. Wenn der Ventilator Reserven aufweist, liegt die Grenze ausnahmsweise bei 1,5 mbar. Diese Verlustwerte umfassen auch die Druckverluste im Sammelkanal bis zum Ventilator.

Richtwerte Sonnenkollektor

Lufterwärmung:
mindestens $6 \text{ }^\circ\text{C}$

Druckverlust:
maximal 1,2 mbar

Der zusätzliche Druckverlust durch den Sonnenkollektor erhöht die erforderliche Motorenleistung des Ventilators um 25 bis 35%. Diese Mehrleistung wird jedoch mehr als aufgehoben durch die kürzere Trocknungszeit infolge der angewärmten Luft, sodass ein kleinerer Stromverbrauch als bei der Kaltbelüftung resultiert.

Da bei einigen dieser Varianten der Kollektor über den First geführt wird und somit die Firstentlüftung entfällt, ist für eine genügende Entlüftung der Scheune an den Stirnseiten zu sorgen.

2.3 Ideale Luftführung

2.3.1 Unterschiedliche Ansauglängen

Bei Kollektoren mit zweiseitigem Ansaug liegt der Sammelkanal nicht immer in der Mitte. In einem solchen Fall wird für jeden Kollektorteil (Ansaug bis Mitte Sammelkanal) die Berechnung der Kanalhöhe durchgeführt. 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.

2.3.2 Sammelkanal

Beim Sammelkanal sollen Luftgeschwindigkeiten unter 5 m/s (normal ca. 4 m/s) eingehalten werden. Es ist jedoch nur die effektiv in jedem Kanalabschnitt vorhandene Luftmenge zu berücksichtigen.

Im Sammelkanal sind die Anteile der Kollektorkanäle zu summieren. Der Sammelkanal wird im Pfettendach häufig konisch ausgeführt.

2.3.3 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 (3–5 m/s) verursacht, zweitens sind Umlenkungen auf ein Minimum zu beschränken und wenn möglich die Ecken zu brechen oder abzurunden.

2.4 Erfahrungen aus der Praxis

2.4.1 Umfrage

Eine Umfrage bei 750 Eigentümern von Sonnenkollektoranlagen hat ergeben, dass der überwiegende Teil der Anlagen die Erwartungen der Landwirte erfüllt und die vorausgesagten Leistungssteigerungen der Heubelüftung erbringt. Praktisch alle befragten Landwirte würden denn auch die Sonnenkollektoranlage erneut installieren.

2.4.2 Messungen

Ergänzend zu dieser Umfrage sind in den Sommern 1992 und 1993 fünf zufällig ausgewählte Anlagen detailliert ausgemessen worden; eine Anlage mit Blechabdeckung und je zwei Anlagen mit Ziegel- und Eternitabdeckung. Die Messungen erstreckten sich über mehrere Einzeltage mit fast wolkenlosem Himmel.

Erhoben worden sind die Temperaturen am Kollektorein- und am Kollektorausgang sowie vor dem Ventilator. Mit einem Solarimeter ist die auf die Kollektorfläche einfallende Globalstrahlung erfasst worden. Die Luftmenge am Ventilator ist mit einer Differenzdruckmessung und der auf dem Prüfstand gemessenen Kennlinie des Ventilators bestimmt worden.

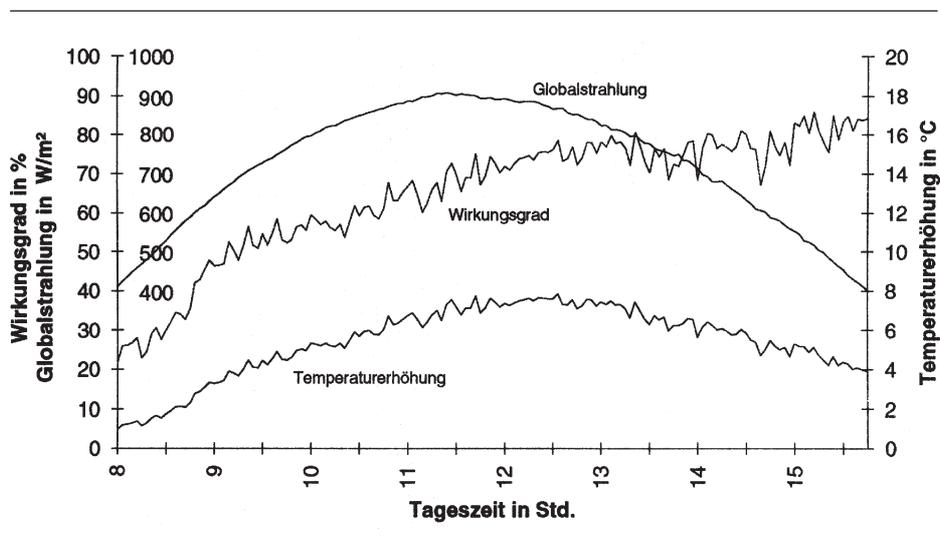


Bild 1:
Globalstrahlung, Wirkungsgrad und Temperaturerhöhung einer Kollektoranlage an einem wolkenlosen Tag. Der Wirkungsgrad nimmt im Verlaufe des Tages zu, was auf die Wärmespeicherung des Kollektors zurückzuführen ist.

2.4.3 Resultate

Die Tabelle zeigt eine Übersicht der Anlagekenndaten, der Resultate und der theoretischen Berechnungen mit dem PC-Programm.

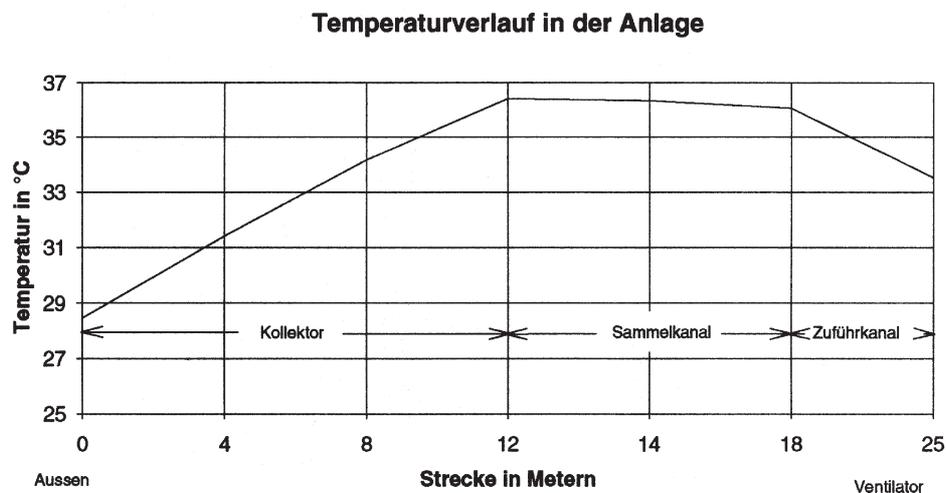
Tabelle

| Anlagen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--------------|--------------|-------------|-----------|-----------|
| Anlagekenndaten: | | | | | |
| Heustockfläche [m ²] | 120 | 120 | 160 | 142 | 148 |
| Kollektorfläche mit Sammelkanal [m ²] | 168 | 450 | 184 | 405 | 192 |
| Kollektorfläche ohne Sammelkanal [m ²] | 120 | 400 | 124 | 288 | 103 |
| Orientierung zur Südrichtung | 30° ost | 90° west | 27° west | 13° ost | 0° |
| Neigung der Dachfläche | 30° | 20° | 25/90° | 20° | 35° |
| Kollektortyp | Eternit quer | Eternit quer | Blech längs | Ziegel | Ziegel |
| Mittelwerte während der Messung: | | | | | |
| Globalstrahlung [W/m ²] | 803 | 745 | 792 | 857 | 852 |
| Aussentemperatur [°C] | 24.6 | 30.5 | 22.3 | 25.4 | 23.1 |
| Temperaturerhöhung am Ventilator [°C] | 6.1 | 9.4 | 4.4 | 4.5 | 4.1 |
| Luftmenge am Ventilator [m ³ /s] | 8.3 | 10.3 | 20.6 | 15.9 | 15.9 |
| Wirkungsgrad [%] | 46 | 31 | 69 | 24 | 44 |
| Anteil Leckluft [%] | 18 | 7 | n.b. | 33 | 25 |
| Berechnungen mit PC-Programm der FAT (Globalstrahlung 800W/m²) | | | | | |
| Luftgeschwindigkeit im Kollektor *) [m/s] | 3.8 | 1.6 | 6.8 | 2.2 | 5.0 |
| Temperaturerhöhung [°C] | 5.7 | 8.5 | 4.4 | 6.5 | 3.9 |
| Wirkungsgrad [%] | 42 | 27 | 67 | 35 | 44 |

Die Resultate stellen Mittelwerte der einzelnen Messtage dar. Pro Tag sind vier bis sechs Stunden über die Mittagszeit ausgewertet worden. Der Wirkungsgrad zeigt das Verhältnis der in den Heustock eingebrachten Wärmemenge zur einfallenden Globalstrahlung. Der Anteil Leckluft bezeichnet diejenige Luftmenge, welche zwischen Kollektorausgang und Ventilator infolge Undichtigkeiten angesogen wird. Sie ist aufgrund der Abkühlung der Luft zwischen Kollektor und Ventilator bestimmt worden.

*Tabelle:
Anlagekennwerte, Messwerte
und Berechnungen mit dem
PC-Programm von fünf
Sonnenkollektoranlagen
(n.b.: nicht bestimmbar, *):
berechnet mit der Luftmenge
am Ventilator)*

*Bild 2:
Beispielhafter Temperaturverlauf der Trocknungsluft in der Sonnenkollektoranlage 4. Die Temperatur steigt in den ersten zwei Dritteln des Kollektors stärker an als gegen den Schluss des Kollektors. Im Zuführkanal sinkt die Temperatur um mehr als 2 °C infolge Aussenluftzutritts (Undichtigkeiten)*



2.4.4 Kommentar

Die Zusammenstellung zeigt, dass die Anlagen in der Praxis recht unterschiedlich ausgestaltet sind. Das Verhältnis von Kollektorfläche inkl. Sammelkanal zu Heustockfläche liegt zwischen eins und vier. Die Luftmenge pro Heustockfläche variiert zwischen 0.07 und 0.13 m³ pro Sekunde und m². Bedeutende Unterschiede zeigen auch die Luftgeschwindigkeiten im Kollektor (1.6 bis 6.8 m/s). Dies alles ergibt entsprechend unterschiedliche Temperaturerhöhungen am Ventilator (4.4 bis 9.4 °C). Auffallend ist der grosse Anteil der Fläche des Sammelkanals an der Gesamtanlage. Bei den Anlagen 1, 3, 4 und 5 entfallen mehr als ein Drittel der Gesamtfläche auf den Sammelkanal. Im Sammelkanal ist der Wirkungsgrad gegenüber dem Kollektor infolge der niedrigeren Luftgeschwindigkeit wesentlich kleiner.

Beträchtlich ist der Anteil Leckluft, welcher im Kanal zwischen Kollektor und Ventilator angesogen wird. Bei den beiden Ziegelkollektoren (Anlagen 4 und 5) sind Leckluftmengen von einem Viertel bzw. einen Drittel der Gesamtluftmenge bestimmt worden. Die Kanäle der entsprechenden Anlagen weisen grosse Undichtigkeiten bei der Holzschalung und rund um die Pfetten auf. Die Ziegelkollektoren haben gegenüber den Eternit- und Blechdächern grössere Leckluftraten, da konstruktionsbedingt die Kanäle bei Sparrendächern in der Regel länger sind als bei Pfettendächern. Bei korrekt dimensionierten Anlagen verschlechtert sich der Wirkungsgrad mit der Erhöhung der Leckluftmenge.

2.4.5 Vergleich mit theoretischen Berechnungen

Die Berechnungen mit dem PC-Programm sind für die gesamte Kollektorfläche (inklusive Sammelkanal) mit der gemessenen Luftmenge vorgenommen worden. Die Werte beziehen sich auf eine Globalstrahlung von 800 W/m².

Die Temperaturerhöhungen und der Wirkungsgrad zeigen für die Eternit- und Blechkollektoren (Anlagen 1, 2 und 3) im Vergleich zu den gemessenen Werten ähnliche Resultate. Das PC-Programm berechnet zu kleine Temperaturerhöhungen für den Kollektor ohne Sammelkanal und ergibt in etwa Praxis-Werte, wenn der Sammelkanal mit einem Anteil von mindestens einem Viertel der Gesamtfläche miteinbezogen wird.

Die gleichen Aussagen gelten für die Ziegelkollektoranlage 5, während Anlage 4 gegenüber den theoretischen Berechnungen deutlich schlechtere Werte ergibt. Aufgrund der vorliegenden Messungen dürften dafür mehrere Gründe verantwortlich sein. Zum einen handelt es sich bei Anlage 4 um einen Neubau mit deutlich sichtbaren Luftspalten zwischen den Ziegeln, wogegen die Anlage 5 ein Altbau ist und die Dachziegel bereits Moos angesetzt haben. Zum zweiten sind die höhere Luftleckrate und die niedrige Luftgeschwindigkeit im Kollektor für eine Wirkungsgradeinbusse verantwortlich. Die Resultate deuten darauf hin, dass auch bei Ziegelkollektoren hohe Geschwindigkeiten im Kollektor (grösser 4 m/s) gewählt werden sollen, obwohl damit auch zwischen den Ziegeln angesogene Falschluff zunimmt.

3 Maschinen und Werkzeuge

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 3.1 Allgemeines | 25 |
| 3.2 Sägen | 26 |
| 3.2.1 Handkreissägen | 26 |
| 3.2.2 Weitere Einrichtungen zum Sägen | 27 |
| 3.2.3 Bohren und Schrauben | 28 |
| 3.2.4 Spezielle Maschinen | 29 |
| 3.3.2 Auswahl | 30 |
| 3.3 Mobile Hebebühnen | 30 |
| 3.3.1 Allgemeines | 30 |
| 3.3.3 Instruktion | 30 |
| 3.3.4 Einsatz | 31 |

3 Maschinen und Werkzeuge

3.1 Allgemeines

Jede Arbeit erfordert speziell darauf abgestimmte Werkzeuge. Diese sind daher entsprechend auszuwählen und jedes Hilfsmittel ist nur bestimmungsgemäss zu benutzen. Zum leichten und sicheren Arbeiten gehört auch, dass Gewicht und Leistung von Geräten der Grösse und Körperkraft der Bedienungsperson angepasst sind.

Holzbearbeitungsmaschinen gehören zu den «lautesten» Maschinen wegen der hohen Drehzahlen. Die meisten Maschinen liegen mit ihrem Lärmpegel weit über der kritischen Lärmschwelle von 85 dB(A).

**Darum immer
Gehörschutz tragen!**

Wichtige Grundregeln:

- Achte bei allen Arbeiten auf einen sicheren Standplatz und ausreichende Bewegungsfreiheit
- Verhüte Elektrounfälle durch Verwendung von FI-Schutzschaltern
- Benütze genügend lange elektrische Zuleitungen in entsprechender Kabelqualität
- Pflege Maschine und Schutzvorrichtungen sorgfältig
- Halte Maschinentisch und Arbeitsplatz stets frei von Sägespänen, Abschnitten und Abfallhaufen
- Beim Werkzeugwechsel Netzstecker ziehen
- Verwende nur gut geschärfte Werkzeuge
- Trage den persönlichen Gehörschutz
- Verbiete die Benützung von Maschinen allen Personen, die sich in der Bedienung und deren Schutzvorrichtungen nicht auskennen
- Gute Beleuchtung an den Arbeitsplätzen beeinflusst in hohem Masse die Arbeitssicherheit und Qualität der Arbeitsausführung.

3.2 Sägen

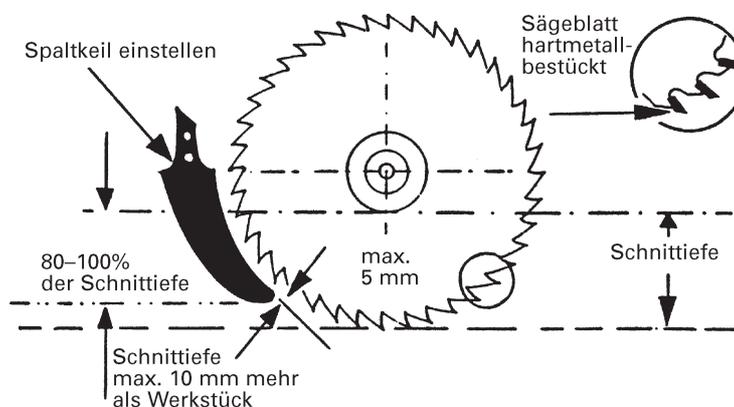
3.2.1 Handkreissägen

Handkreissägen müssen mit einem Spaltkeil ausgerüstet sein. Im Schneidbereich erfolgt die Sicherung durch eine bewegliche Schutzeinrichtung. Beim Zuschneiden von Platten haben sich nur hartmetallbestückte Sägeblätter bewährt.

Spaltkeil einstellen

Der bequeme Einsatz der Handkreissäge führt oft zu sorglosem Umgang mit der Maschine. Deshalb ist besonders darauf zu achten, dass:

- Werkstücke sicher aufgelegt und evtl. befestigt werden
- die Schnitttiefe der jeweiligen Materialdicke angepasst ist
- das Anschlusskabel nicht beschädigt oder durchgeschnitten wird
- die Handkreissäge erst nach dem Schliessen der beweglichen Schutzeinrichtung und nach Stillstand sorgfältig abgelegt wird
- ein Führungslinial oder eine Führungsschiene sorgt für einen sauberen, sicheren Schnitt
- Handkreissägen können auch als Tischkreissägen betrieben werden.



3.2.2 Weitere Einrichtungen zum Sägen

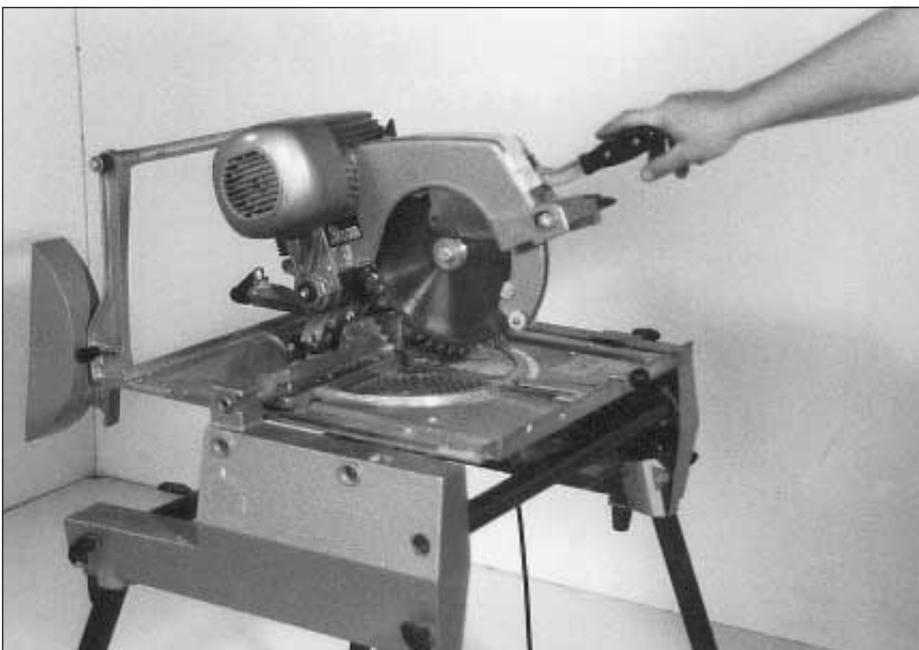


Neben der universell einsetzbaren Handkreissäge gibt es eine grosse Anzahl anderer Sägen. Dem Einsatz von Profimaschinen ist der Vorzug zu geben. Trotzdem können auch leichte Maschinen aus dem Hobbybereich die Möglichkeiten auf der Baustelle stark erweitern. Eine Auswahl über das Angebot:

- Die Stichsäge verfügt über Pendelhub und elektronische Steuerung. Damit wird sie, in Kombination mit einer grossen Auswahl an Sägeblättern, vielseitig einsetzbar. Selbst enge Kurvenschnitte sind kein Problem.



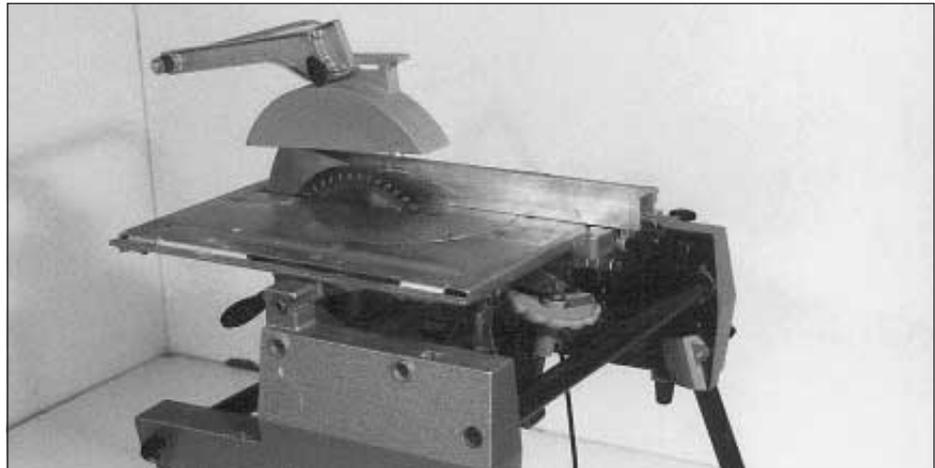
- Wenig bekannt ist der elektrische Fuchschwanz. Mit einer grossen Auswahl an Sägeblättern, Feilen, Bürsten und vieles mehr, ist diese robuste Maschine ein leistungsfähiger Ersatz für die Stichsäge.



- Bau- und Tischkreissägen sowie Gehrungssägen sind auf Baustellen häufig anzutreffen. Sie gehören zum Alltagsgeschäft beim Holzbau.

Alle aufgeführten Sägemaschinen müssen mit Schutzvorrichtungen ausgerüstet sein. Neben Gehörschutz muss allenfalls auch ein Gesichtsschutz getragen werden.

Dieses Kombigerät ist voll ausgerüstet, der Spaltkeil und die Schutzhaube sind vorhanden.



Brennholzfräsen werden auch eingesetzt. In den meisten Fällen fehlen jedoch die notwendigen Schutzvorrichtungen.

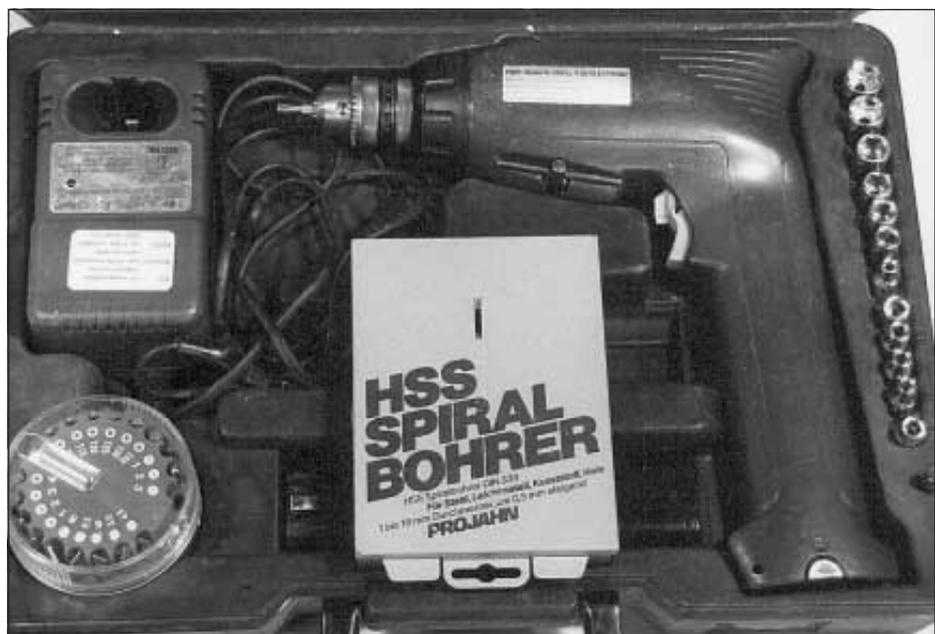


3.2.3 Bohren und Schrauben

Je nach Verwendungszweck unterscheiden wir:

- Akku-Bohrmaschinen/Schrauber
- Bohrmaschinen/Schrauber
- Schlagbohrmaschinen
- Bohrhammer

Bei den Akku-Maschinen ist die Kapazität und Ladezeit der Akkus zu beachten. Der Werkzeugwechsel kann durch Schnellwechselsysteme (SDS) wesentlich vereinfacht werden. Die Verwendung normaler Bohrmaschinen zum Eindrehen der Schrauben ist zu vermeiden.

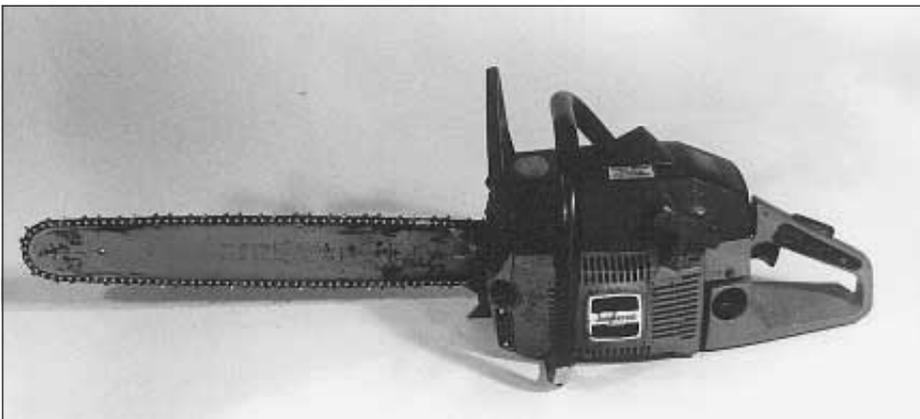


Akku-Schrauber-Set



3.2.4 Spezielle Maschinen

Gerade auf dem Bauernhof ist es naheliegend, vorhandene Maschinen wie **Brennholzfräse** und **Kettensäge** einzusetzen. Diese Maschinen sind in der Regel nicht für Arbeiten auf einer Baustelle ausgerüstet. Die erheblichen Unfallgefahren, sowie die fehlende Arbeitsqualität sprechen gegen diese «hofeigenen» Maschinen.



Handhobelmaschinen dagegen können als praktische Helfer für Ein- und Anpassarbeiten eingesetzt werden.

3.3 Mobile Hebebühnen

3.3.1 Allgemeines

Mobile Hebebühnen werden in verschiedenen Bauarten und Leistungen vermietet. Die Miete dieser Maschinen in den Wintermonaten ist als kostengünstige Variante zu prüfen. Nur mit optimaler Arbeitsvorbereitung ist ein grosser Nutzen zu erwarten.

3.3.2 Auswahl

Die Auswahl der geeigneten Hebebühne hat sich an folgenden Gegebenheiten zu orientieren:

- Gebäudekonstruktion und zu erwartende Arbeitshöhe
- vorhandener Platz
- Hindernisse im Gebäude
- Bodenbeschaffenheit
- Bedarf an minimaler Tragkraft
- Zusatzausrüstungen auf der Plattform
- Ausbildungstand des Personals



Aufgrund von theoretischen Angaben kann ein geeignetes Gerät nur rudimentär bestimmt werden. Beim Einsatz im Gebäude erhalten andere Masse, z. B. Schwenkbereich oder hinterer Überhang, mehr Bedeutung. Diese Angaben sind nur schlecht aus Prospekten zu entnehmen. Es empfiehlt sich, rechtzeitig eine Begehung mit dem Vermieter zu vereinbaren.

3.3.3 Instruktion

Hebebühnen sind mit aufwendigen Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet. Automatische Niveaueinstellungen, Endanschläge, Kontaktleisten usw. dienen der Sicherheit für das Personal auf der Plattform und am Boden.

Die Instruktion des Bedienungspersonals muss folgende Punkte umfassen:

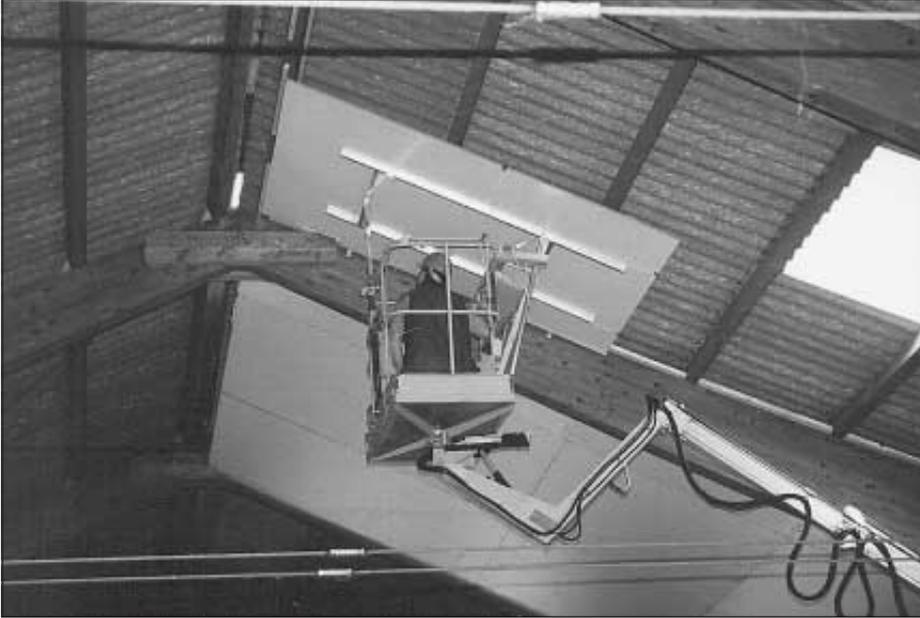
- Funktion der Sicherheitseinrichtungen
- Energieversorgung durch Hilfsmotor oder Netzbetrieb
- Anforderungen an Boden
- Ausstellen der Stützen
- Fahren mit dem Hilfsantrieb
- Verhalten bei: Störungen
Notabsenken



Grundsätzlich müssen immer mindestens zwei Personen mit Kenntnissen der Bedienung der Hebebühne anwesend sein.

3.3.4 Einsatz

Um die Möglichkeiten der Hebebühne voll und ohne Sicherheitsverlust zur Wirkung zu bringen, sind auf der Plattform folgende Massnahmen durchzusetzen:



- der Monteur trägt immer den Kopfschutz/Helm
- gutes Schuhwerk und enganliegende Kleidung
- die Blickrichtung ist primär in Fahrtrichtung; Hilfspersonal (Beobachter) ausserhalb des Schwenkbereichs
- nie zwei Steuerfunktionen gleichzeitig betätigen
- zweckmässiges Zusatzgerüst als Plattenträger
- Plattform nicht überladen

Der Zeitbedarf pro Fahrt ist nicht zu unterschätzen und stellt den leistungsbegrenzenden Faktor dar. Das «Bodenpersonal» soll möglichst viele Arbeiten auf dem festen Arbeitsplatz erledigen.

4 Montageorganisation und Unfallverhütung

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.1 | Allgemeine Vorbereitung des Arbeitsplatzes | 35 |
| 4.2 | Herrichtung des Arbeitsplatzes für die Erstellung des Sonnenkollektors | 36 |
| 4.2.1 | Hilfsmittel | 36 |
| 4.2.2 | Organisationsschema | 37 |
| 4.3 | Arbeitspersonal | 37 |
| 4.4 | Arbeiten auf erhöhten Arbeitsplätzen | 38 |
| 4.4.1 | Regelgerüste aus Stahlrohren | 38 |
| 4.4.2 | Rollgerüste | 39 |
| 4.4.3 | Hebebühnen | 40 |
| 4.4.4 | Arbeiten auf Greiferkrananlagen | 41 |

4 Montageorganisation und Unfallverhütung

4.1 Allgemeine Vorbereitung des Arbeitsplatzes

Grundlage für die Sicherheit an jedem Arbeitsplatz sind eine durchdachte Arbeitsplatzgestaltung und eine gute Organisation aller Arbeitsabläufe. Dies gilt demzufolge sowohl für die Arbeiten im Landwirtschaftsbetrieb, wie auch für diejenigen im Zusammenhang mit der Nachrüstung eines Sonnendaches.

Bevor die Erstellung eines Sonnenkollektors in Angriff genommen wird, sind daher alle Bereiche, die bei einer späteren Montagearbeit begangen werden müssen, auf ihre Sicherheit zu überprüfen.

Nach wie vor ereignet sich in der Landwirtschaft etwa die Hälfte der Unfälle in der Umgebung von Gebäuden. Es sind insbesondere die allgemeine Ordnung, die Aufgänge, die Abschränkungen der erhöhten Arbeitsplätze und die Bodenöffnungen, welche bezüglich Arbeitssicherheit oft zu wünschen übrig lassen.

**BUL
SPAA
SPIA**

Beratungsstelle für
Unfallverhütung in der
Landwirtschaft (BUL)

Picardiestrasse 3
5040 Schöffland
Tel. 064/81 48 48
Fax 064/81 14 73



Mögliche Lösungen zeigt das **BUL-Merkblatt Nr. 9 «Sichere landwirtschaftliche Gebäude»** auf.

Bei den Vorbesprechungen am Umbauobjekt sind deshalb diese Gefahrenstellen zu überprüfen und baldmöglichst, vor Inangriffnahme der Arbeiten, zu sanieren.

4.2 Herrichtung des Arbeitsplatzes für die Erstellung des Sonnenkollektors

Bei der Auswahl des Werkplatzes für die Lagerung des Materials und die Vorbereitung der Platten und der Tragkonstruktion ist daran zu denken, dass einerseits die Transport- und Montagewege möglichst kurz sind (und freigehalten werden), andererseits diese Teile und evtl. das Arbeitsgerüst u.U. über Wochen in der Scheune verbleiben. Die übrigen Arbeiten (z.B. Futter rüsten, füttern) dürfen jedoch nicht behindert werden. Keinesfalls dürfen Kleinteile wie Nägel, Schrauben usw. ins Futter gelangen.

4.2.1 Hilfsmittel

Vorteilhaft ist, die Platten auf älteren, noch genügend tragfähigen und gut gepumpten «Pneuwagen» zwischenzulagern. Genügend Stahl- oder Holzbocke ermöglichen eine rüchenschonende Arbeit. Gute Beleuchtung durch lichtstarke Arbeitsleuchten sollte selbstverständlich sein, es ist aber auf die Brandgefahr durch lichtstarke Lampen hinzuweisen.



Optimaler Arbeitsplatz

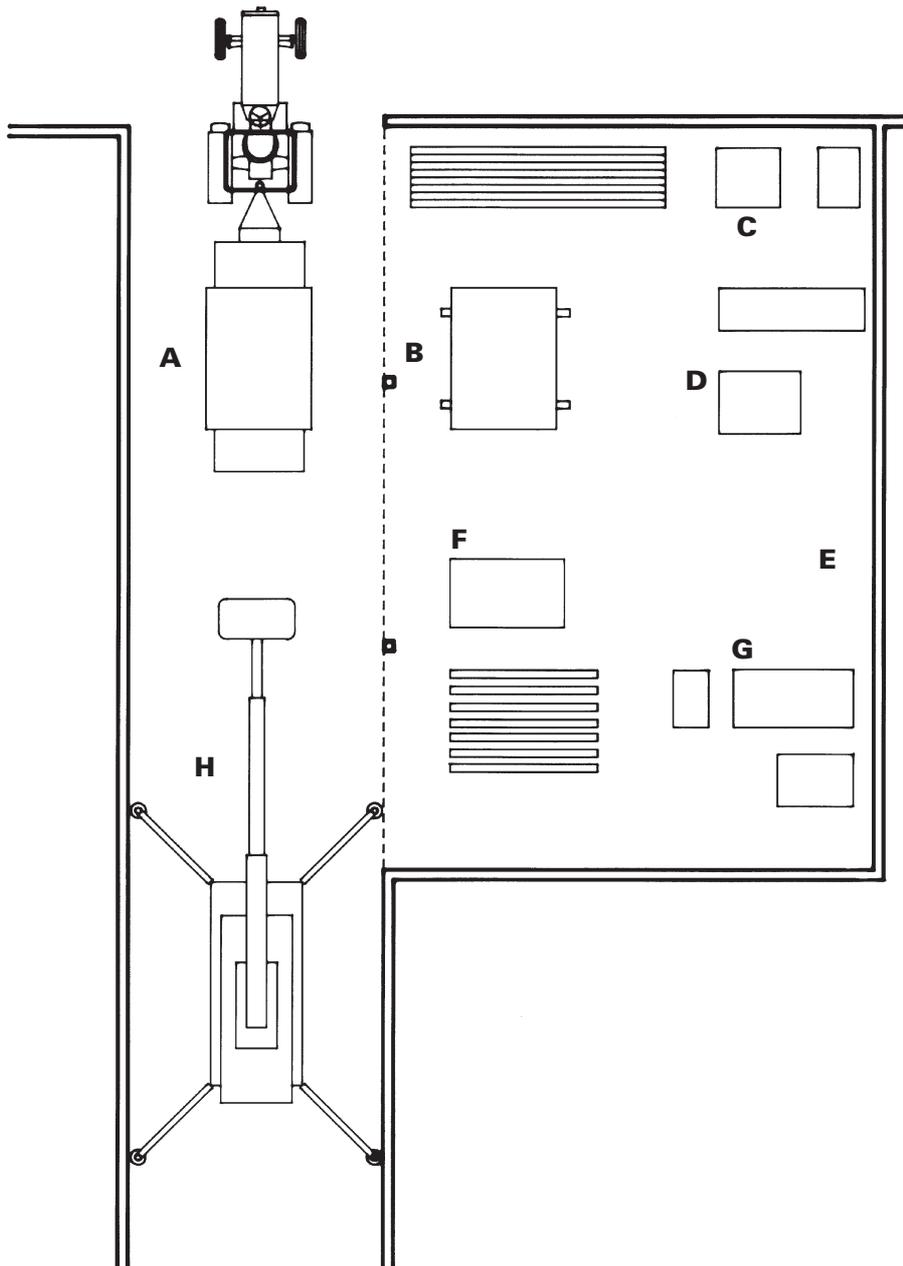


*Unbequeme Arbeitsstellung
und gefährliches Umfeld*

Genügend Verlängerungskabel resp. Kabelrollen und sorgsame Verlegung der Kabel verringern die Unfallgefahr durch «Kabelsalat». Eine Absicherung über FI-Schalter*) ist notwendig. Beim täglichen Arbeitende ist der Arbeitsplatz aufzuräumen und zu reinigen.

*) FI-Schalter sind Schalter, welche zwischen Steckdose und Kabelrolle eingesteckt werden können. Sie schalten die Spannung beim kleinsten Erdschluss innerhalb von $\frac{2}{10}$ Sekunden aus. Unfälle aufgrund von Kabel- oder Maschinendefekten können praktisch ausgeschlossen werden.

4.2.2 Organisationsschema



- A** Antransport und Verschiebung von Platten und sperrigem Kantholz mittels Flachwagen
- B** Zuschneideplatz mit niederen Arbeitsböcken
- C** Kantholzlager
- D** Lichtplatten, Maschinenpark usw.
- E** Pläne, Stücklisten, Massskizzen auf Holzwand befestigt
- F** Zugeschnittene Ware
- G** Befestigungsmittel, Dichtungsmaterialien, Fillerblöcke usw.
- H** Hebebühne

4.3 Arbeitspersonal

Grundsätzlich dürfen nur ausgebildete resp. instruierte Personen mit Handwerkzeugen und motorisch betriebenen Geräten arbeiten. Für Arbeiten in der Höhe sind eine gute Gesundheit sowie Schwindelfreiheit erforderlich.

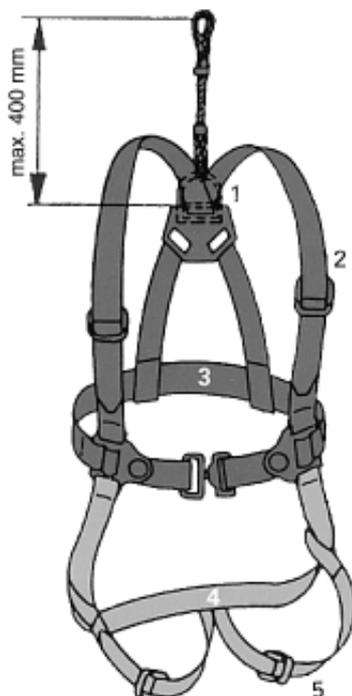
Enganliegende Arbeitskleidung und das Tragen von Schutzhelmen sind obligatorisch. Dennoch halte man sich nie unter einer schwebenden Last auf.

Wie bei jeder anderen Arbeit ist auch hier der Alkoholenuss zu unterlassen!

4.4 Arbeiten auf erhöhten Arbeitsplätzen

Die Montage eines Unterdaches für den Sonnenkollektor wie auch die Erstellung von Sammel- und Zuführkanälen, erfordert in der Regel ein Arbeiten in mehr oder weniger grosser Höhe. Solche Arbeiten sollen nur durchgeführt werden, wenn die Regeln der Unfallverhütung strikte eingehalten werden.

Die Montage der schweren Platten und der Kanthölzer erfordert meist zwei Personen. Einen sicheren Stand haben diese nur auf Plattformen, Gerüsten oder Hebebühnen. Die Vorschriften der SUVA verlangen, dass Arbeitsplätze, die höher als 2 m über Boden liegen, sturzseitig mit Schutzleihen und Bordbrettern zu versehen sind. Es dürfen nur für die auszuführenden Arbeiten geeignete Einrichtungen eingesetzt werden. Diese sind durch Fachleute zu erstellen und zu beaufsichtigen.



Auffanggurten Form A

sind universell verwendbar. Werden sie sachgemäss getragen, so übertragen sie die bei einem Absturz auftretenden Kräfte auf lastaufnahmefähige Körperteile und halten die abgestürzte Person aufrecht.

Bildlegende

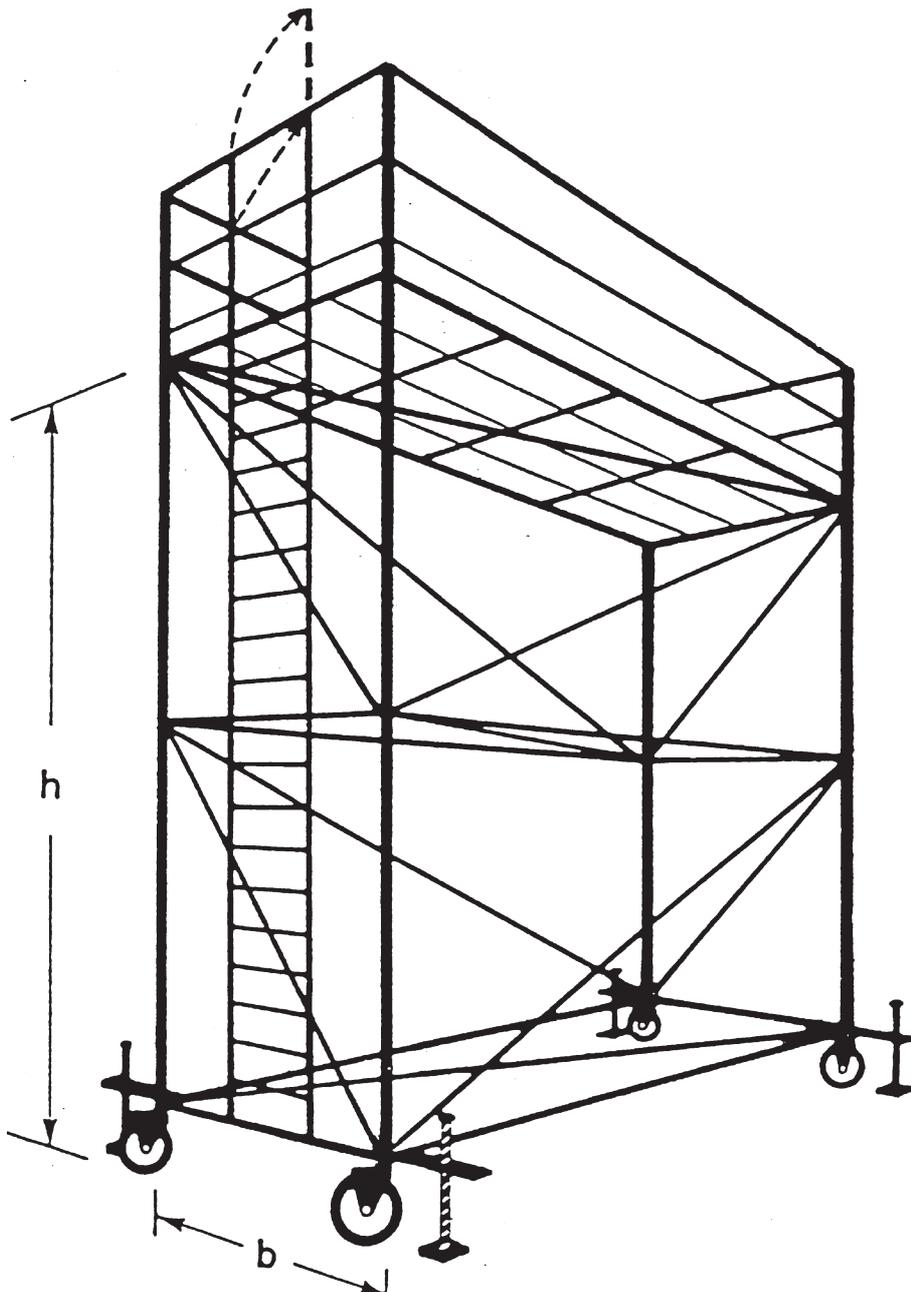
- 1 Befestigungsöse
- 2 Schultergurt
- 3 Bauchgurt
- 4 Sitzgurt
- 5 Beingurt

4.4.1 Regelgerüste aus Stahlrohren

Dabei handelt es sich um feste Gerüste der Klasse III mit einer zulässigen Belastung von 300 kg/m².

4.4.2 Rollgerüste

Diese eignen sich für niedere und mittlere Arbeitshöhen (bis etwa 7–8 m) und bei gut befahrbaren Böden. Die Tragfähigkeit muss derjenigen der festen Gerüste entsprechen. Die meisten Unfälle ereignen sich wegen Umstürzens. Deshalb sind folgende Punkte zu beachten:



Fahrgerüste:

- Beim Verfahren darf niemand auf dem Gerüst sein.
- Lose Teile müssen gegen Herabfallen gesichert werden.
- Nur langsam verfahren, Anstossen vermeiden.
- Nur in Längsrichtung oder über Eck verfahren.
- Gerüstbelag auf der Arbeitsbühne voll eindecken.
- Fahrrollen vor Arbeitsbeginn feststellen oder Gerüst abspindeln.
- Beim Arbeiten sich nicht gegen Seitenschutz stemmen.
- Bei aufkommendem Sturm oder bei Arbeitsende Gerüste gegen Umstürzen sichern (Fußpunkte sichern oder Gerüst vertäuen).

Stand sicher:

$$\frac{b}{h} = \frac{1}{3} \text{ im Freien}$$

$$\frac{b}{h} = \frac{1}{4} \text{ in geschlossenen Räumen}$$

Die Kippsicherheit wird durch horizontale Kraftausübung (wie ziehen, stossen usw.) verringert.

Auslegermontage, Anbinden, evtl. Ballast auflegen, verbessern die Standfestigkeit.

Der Aufstieg muss über solide Leitern erfolgen.

4.4.3 Hebebühnen

Hebebühnen dürfen nur von entsprechend instruierten und geübten Personen bedient werden. Die Vorschriften der Hersteller- resp. Lieferfirma sind strikte einzuhalten. Besonderes Augenmerk ist der Tragfähigkeit des Bodens unter den Abstützungen und den Hindernissen im «Luftraum» (wie Zugstreben, Schienen, Lampen usw.) zu schenken.



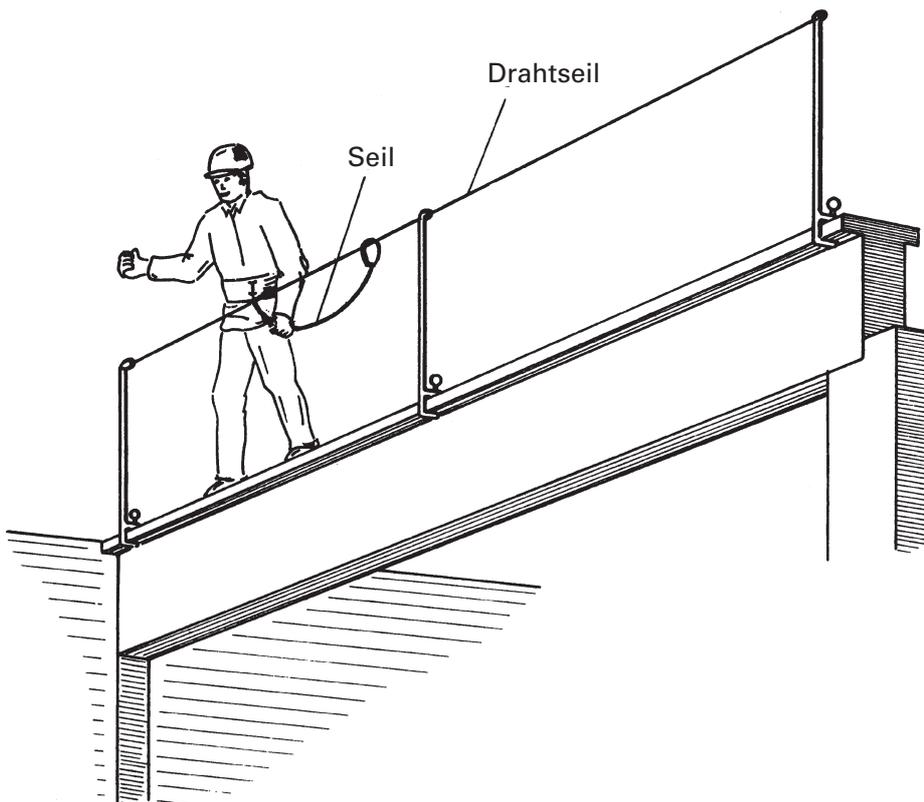
Für den Störfall ist am Boden eine zweite Person für fachgerechtes Verhalten und Notmassnahmen zu instruieren. Im weiteren gelten die «Richtlinien über Arbeitshebebühnen» der SUVA (Nr. 2072.d/9.87, Entwurf vom März 1986).

4.4.4 Arbeiten auf Greiferkrananlagen

In bestimmten Fällen ist es möglich, Tragwerke von Greiferkrananlagen als Arbeitsplattform zu benutzen. Auch hier gelten alle bisher erwähnten Regeln der Arbeitssicherheit. Die Verwendung von Schaltafeln als Arbeitsstandfläche ist untersagt.



Diese Arbeitsweise ist wohl praktisch, jedoch viel zu gefährlich. Das Arbeitspodest könnte sehr leicht durch ein Geländer gesichert werden. Anstelle von Schaltafeln sind Gerüstbretter zu verwenden. Bei Binder mit Untergurt oder Zugstange kann der Greifer nicht eingesetzt werden.



Können auf Arbeitspodesten keine Geländer angebracht werden, müssen sich die Arbeitskräfte durch Anseilen sichern, entsprechend dem SUVA-Merkblatt «Sicherheit durch Anseilen» (Nr. 44002.d).

5 Selbstbauanleitung

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.1 | Allgemeines | 45 |
| 5.2 | Begriffsdefinitionen | 46 |
| 5.3 | Pläne | 47 |
| 5.3.1 | Befestigungsschema der Kollektorplatten | 47 |
| 5.3.2 | Zuführkanal horizontal für Luftgeschwindigkeiten bis 5 m/s | 48 |
| 5.3.3 | Eckdetail zu Kanal 5.3.2 | 49 |
| 5.3.4 | Zuführkanal horizontal für Luftgeschwindigkeiten bis 4 m/s | 50 |
| 5.4 | Detailzeichnungen | 51 |
| 5.4.1 | Plattenstoss mit Verstärkungslatte | 51 |
| 5.4.2 | Längsabschluss des Kollektors | 51 |
| 5.4.4 | Kollektoranschluss an Hauptträger oder Binder mit Luftdurchlass | 52 |
| 5.4.3 | Ansicht des Längsabschlusses | 52 |
| 5.4.5 | Eingelegter Unterzug zur Verminderung des Luftquerschnittes | 53 |
| 5.4.6 | Seitlicher Abschluss eines Zuluft- oder Sammelkanals | 53 |
| 5.4.7 | Einsatz von Lichtplatten in der Kollektorfläche | 54 |
| 5.4.8 | Befestigungsschema für Lichtplatten | 54 |
| 5.4.9 | Aufgehängte Abdeckung eines Zuluft- oder Sammelkanals | 55 |
| 5.4.10 | Querschnitt zur Zeichnung 5.4.9 | 55 |
| 5.5 | Materialliste | 56 |

5 Selbstbauanleitung

5.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Anleitungen sind lediglich als Ergänzungen zum Selbstbaukurs zu verstehen. Die Vielfalt der in der Praxis angetroffenen Baulösungen lässt es nicht zu, für jede denkbare Variante entsprechende Detailzeichnungen und «Rezepte» aufzuzeigen. Vielmehr soll anhand von einzelnen Beispielen aufgezeigt werden, welche Möglichkeiten im Einzelfall bestehen. Es ist Sache des Bauherrn und seiner Berater, im konkreten Fall eine Umsetzung dieser Vorschläge vorzunehmen.

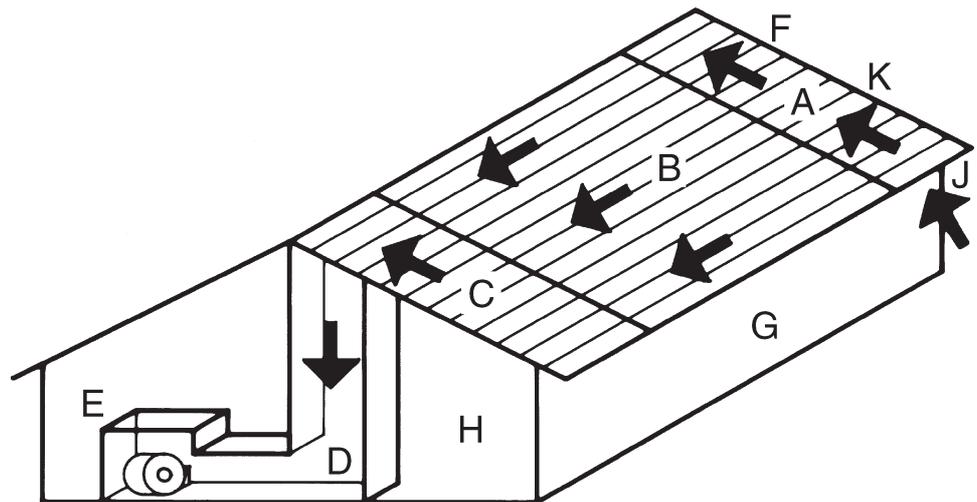
Die wichtigsten Kriterien sind jedoch unter allen Umständen zu beachten! Die gebaute Anlage könnte sonst zu Enttäuschungen führen. Die wichtigsten Anliegen sind:

- **Dimensionieren und berechnen der Anlage durch einen Fachmann und PC-Programm SOKO**
- **Einhalten der vorgegebenen Dimensionen (Kanalquerschnitte usw.)**
- **Verhindern von undichten Stellen**
- **Vermeiden von Richtungsänderungen und «Schikanen» in der Luftführung**

Die in den Zeichnungen definierten Materialien haben sich in der Praxis bewährt und sind als Vorschläge zu verstehen. Selbstverständlich ist es jedermann freigestellt, andere Produkte oder Materialspezifikationen zu verwenden. Es ist jedoch von grosser Bedeutung, die richtigen Überlegungen anzustellen, um allfällige spätere Schäden zu verhüten.

5.2 Begriffsdefinitionen

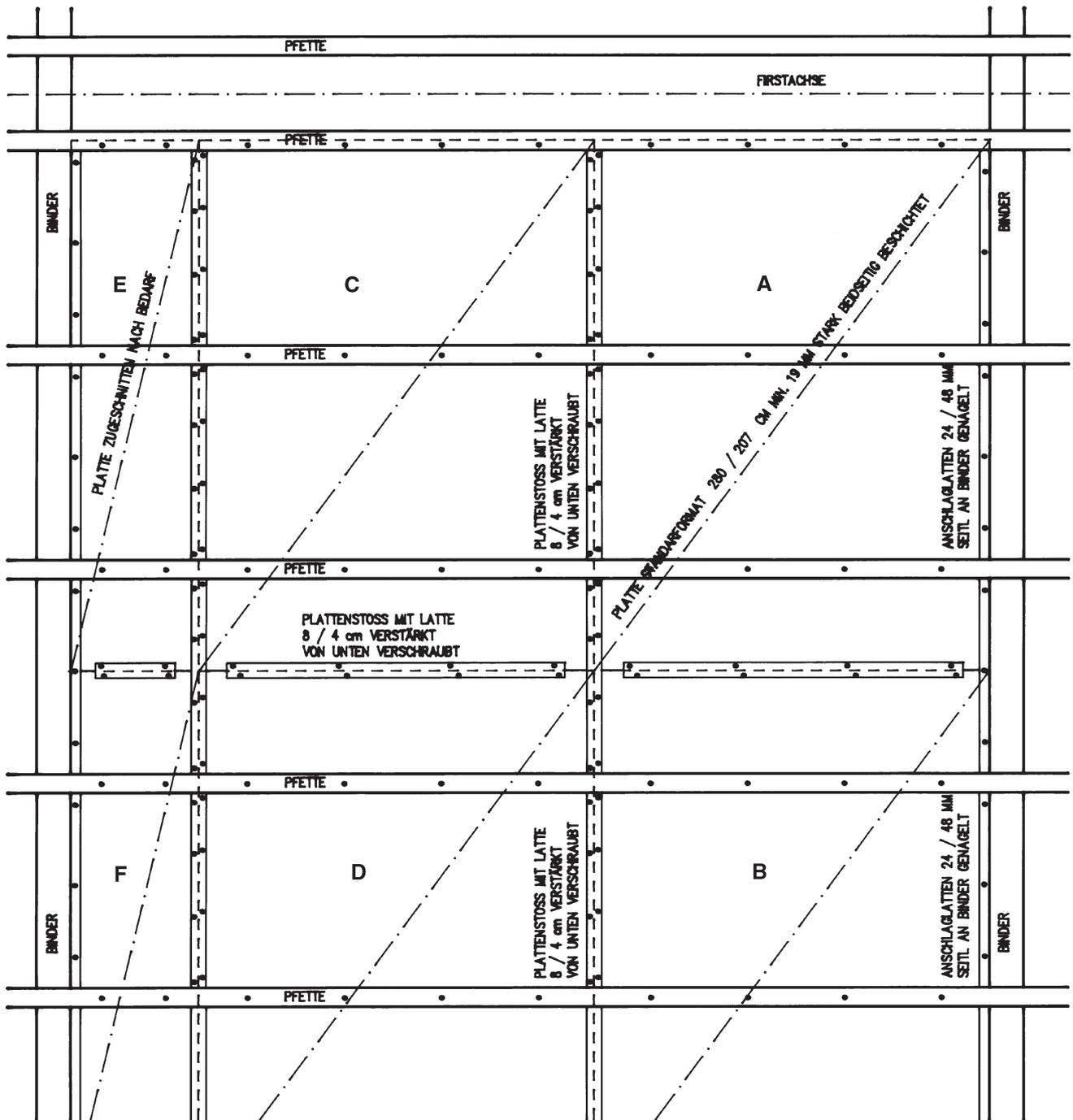
Damit alle an der Planung und Ausführung einer Sonnenenergieanlage für die Heubelüftung beteiligten Leute die gleichen Begriffe verwenden, sind einige Teilbereiche nachstehend definiert. Wir hoffen, damit einen Beitrag zur besseren Verständlichkeit zu leisten.



- A Zuluftkanal
- B Kollektor
- C Sammelkanal
- D Zuführkanal
- Einblaskanal (nicht sichtbar) = Kanal nach dem Ventilator
- E Ventilatorgehäuse
- F Pfetten
- G Längswand
- H Giebelwand
- J Traufe
- K Ort (Ortvorsprung)

5.3 Pläne

5.3.1 Befestigungsschema der Kollektorplatten



Beschrieb

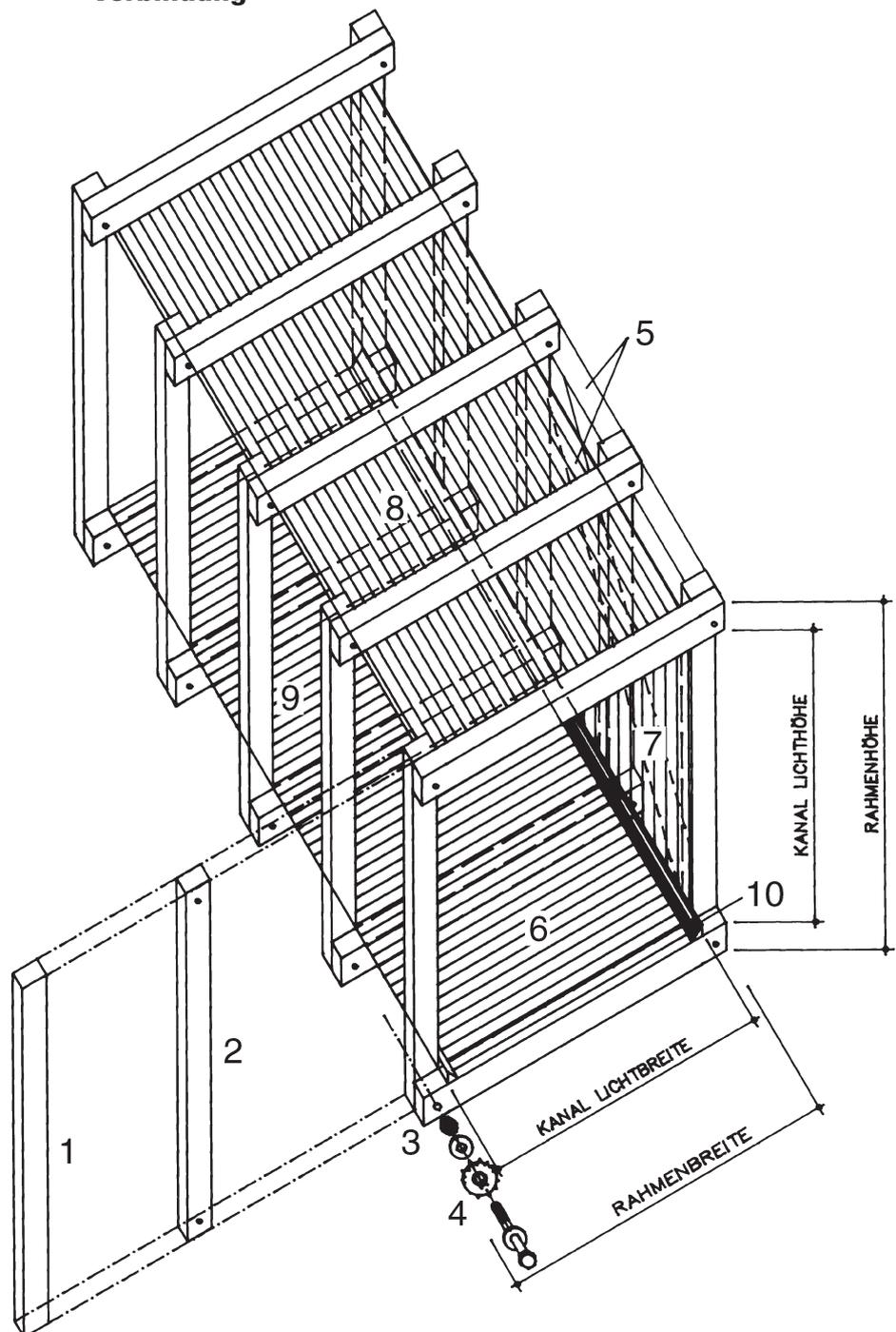
Die Dachfläche wird mit «Standardplatten» im Format 280/207 cm belegt.
 Die Platten sind vorzugsweise beidseitig mit Kunstharz belegt.
 Vorgehen: Montagereihenfolge der Platten ⇒ A,B,C,D, ...

1. Anschlaglatten an Binder festschrauben (vgl. Detail 5.4.4)
2. 1 Platte festschrauben
3. Verstärkungslatten einseitig festschrauben (vgl. Detail 5.4.1)
4. Nächste Platte festschrauben
5. Platte an Verstärkungslatten festschrauben usw.

5.3.2 Zuführkanal horizontal für Luftgeschwindigkeiten bis 5 m/s mit aussenliegenden Rahmen und «Bulldogg»-Verbindung

Vorgehen:

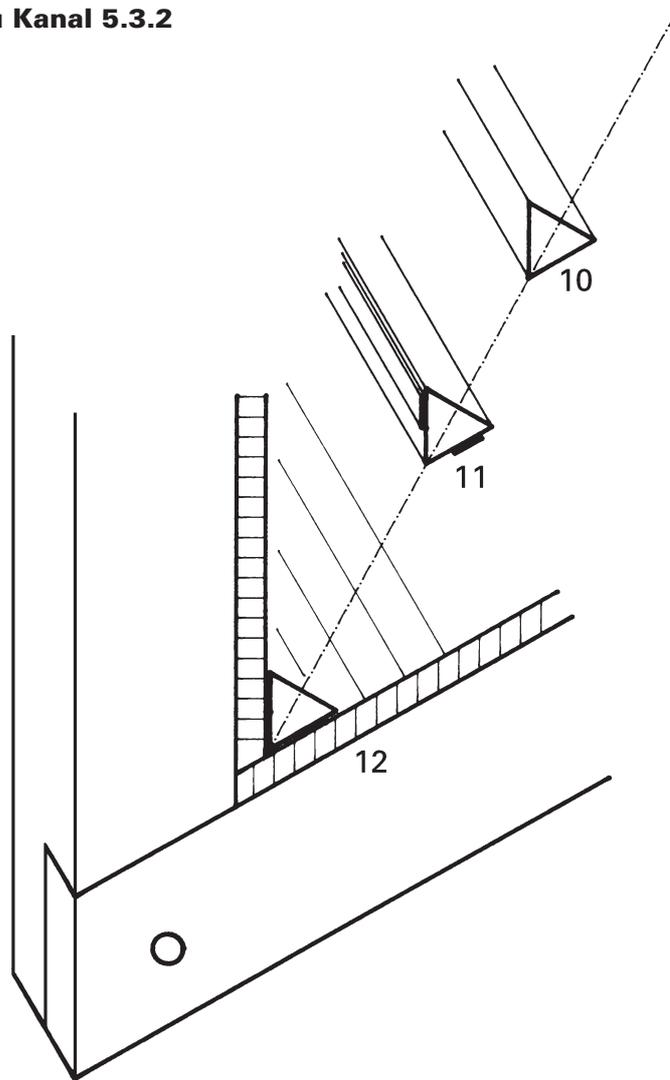
- 1 Kantholz 12/8 cm ablängen
- 2 Verbohren
- 3 Bulldogg-Verbinder einpassen
- 4 Rahmen zusammenfügen und verschrauben
- 5 Provisorische Verstrebung anbringen
- 6 Bodenplatte zuschneiden und befestigen
- 7 Seitenwand montieren
- 8 Deckel montieren
- 9 Seitenwand schliessen
- 10 Dreikantleiste 6/6 cm



Eisenteile:

Bauschrauben M 12 100 mm mit Muttern und U-Scheiben
 Bulldogg-Verbinder 75/2 mm
 TORX Spanplattenschrauben 70/6 mm

5.3.3 Eckdetail zu Kanal 5.3.2

**Vorgehen:**

- 10 Dreikantleiste 6/6 cm
- 11 Beidseitig selbstklebendes Kompriband 15/4 mm aufkleben, Stösse min. 5 cm überlappen
- 12 Leiste mit Dichtungsbändern sauber in die Ecken verschrauben, Befestigungen mindestens alle 30 cm

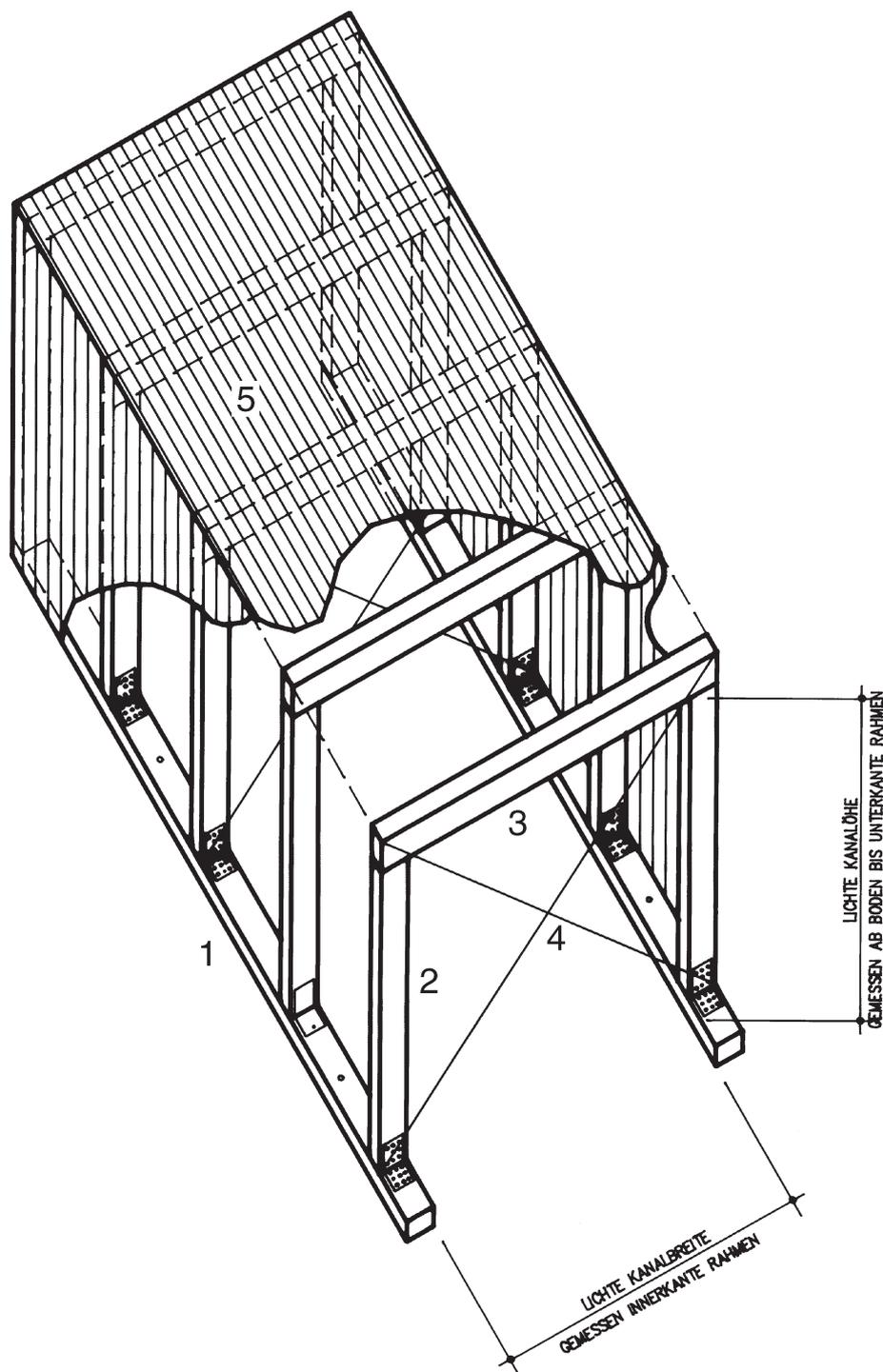
Hinweis!

Diese Arbeit muss unbedingt sehr sauber ausgeführt werden. Die Dichtigkeit beeinflusst zu einem grossen Teil den Wirkungsgrad der Anlage. In diesem Bereich lassen schon die kleinsten Ritzen sehr viel Leckluft durch.

5.3.4 Zuführkanal horizontal für Luftgeschwindigkeiten bis 4 m/s mit aussenliegender Verkleidung

Vorgehen:

- 1 Schwellen 8/12 cm auslegen und festdübeln
- 2 Ständer 8/12 cm mit HVV-Winkel 80/80 mm befestigen
- 3 Deckenbalken wie 2
- 4 Windrispenband 20/2 mm als Verstärkung bei jedem 2. Rahmen anbringen
- 5 Seiten- und Deckenplatten montieren



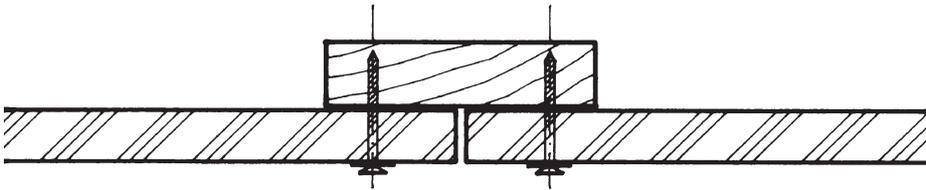
Anschliessend Dichtigkeitskontrolle von innen her durchführen. Sobald Licht durchschimmert, ist lokal sauber abzudichten. Ein unebener Boden ist vorgängig mit Zementmörtel oder Spachtelmasse auszugleichen.

Eisenteile:

HVV-Lochblech-Winkel 80/80 mm und spezielle Rillennägel 4/50 mm
Durchschlagdübel 10/120 mm ca. alle 150 cm

5.4 Detailzeichnungen

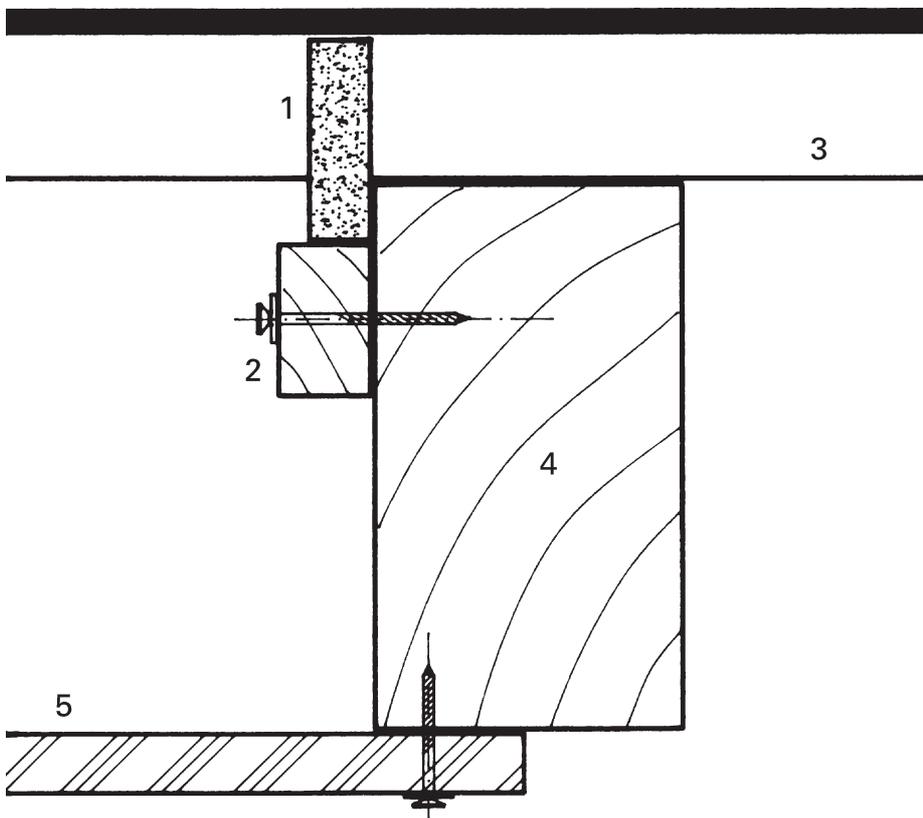
5.4.1 Plattenstoss mit Verstärkungsplatte



Beschrieb:

Verstärkungsplatte 100–120/30 mm mit der ersten Platte verschrauben. TORX Spanplattenschrauben ca. 50/4 mm mit Unterlagscheibe verwenden. Anschliessend weitere Spanplatte anschrauben.

5.4.2 Längsabschluss des Kollektors



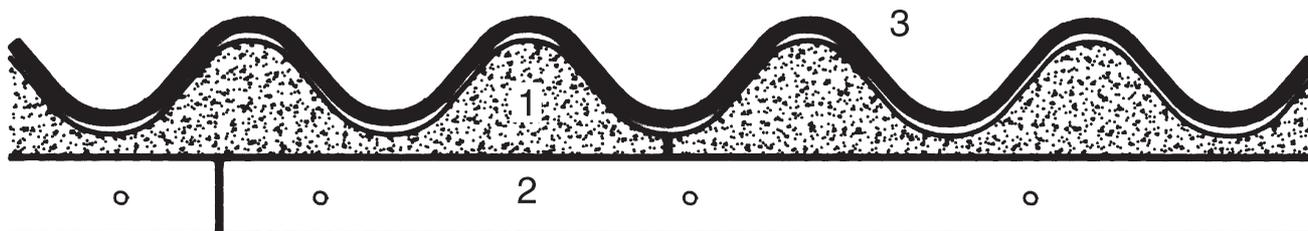
Beschrieb:

Der Längsabschluss des Kollektors ist luftdicht abzuschliessen. Der Einsatz von Schaumstoff-Filler **1** hat sich bewährt. Die Fillerstreifen werden mittels einer Dachlatte **2** gegen die Wellplatten gepresst. Anschliessend werden die Latten satt anliegend mit TORX-Spanplattenschrauben verschraubt.

Legende:

- 3** Wellplatten
- 4** Pfette
- 5** Spanplatte

5.4.3 Ansicht des Längsabschlusses

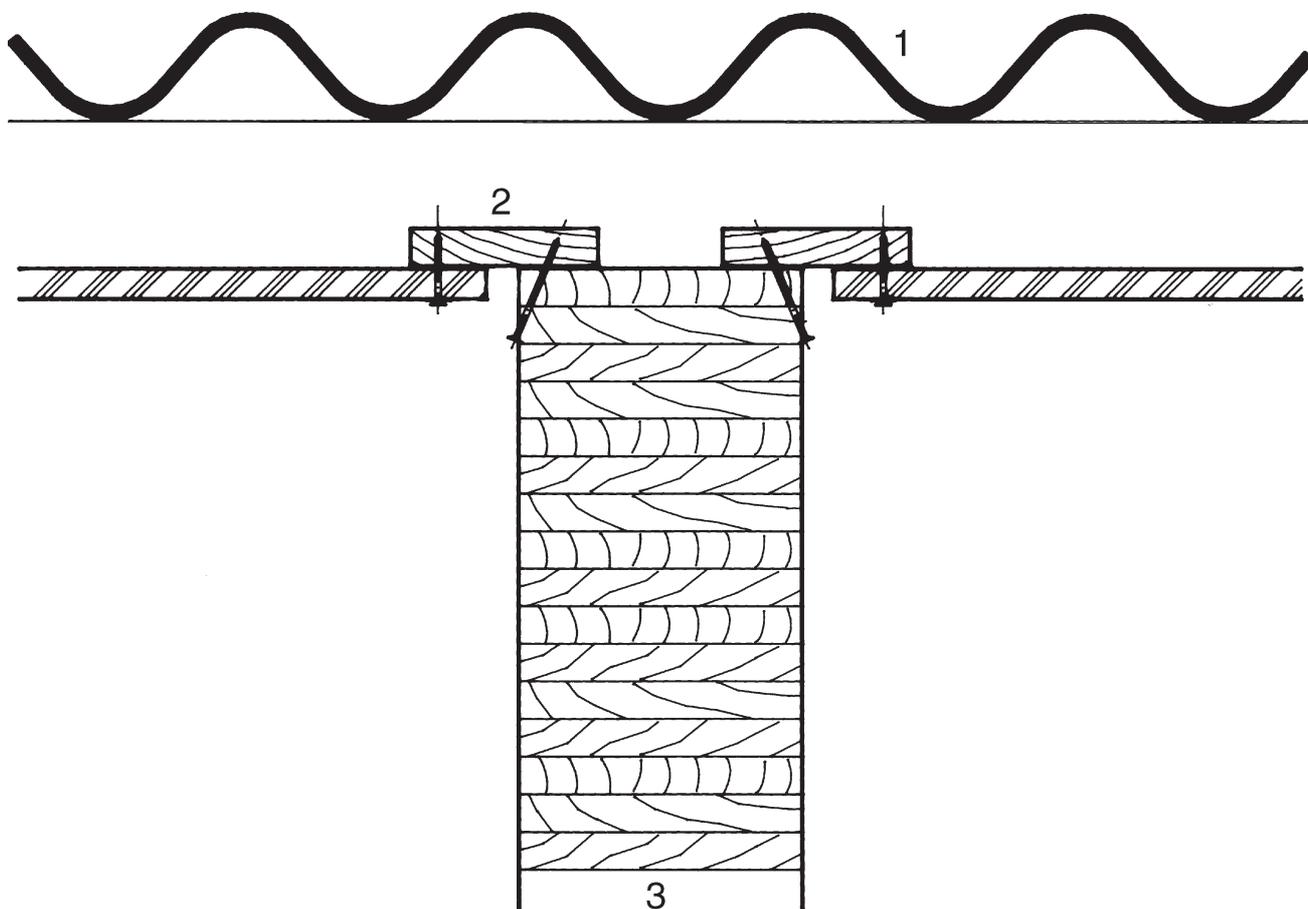
**Legende:**

- 1 Filler-Block
- 2 Dachlatte 50/30 mm
- 3 Wellplatten

Beschrieb:

Die Dachlattenstöße sind ungefähr hälftig mit den Filler-Streifen zu versetzen. Damit der Anpressdruck von einem Mann genügend stark ausgeübt werden kann, sind die Latten auf ca. 100 cm Länge zu bemessen.

5.4.4 Kollektoranschluss an Hauptträger oder Binder mit Luftdurchlass

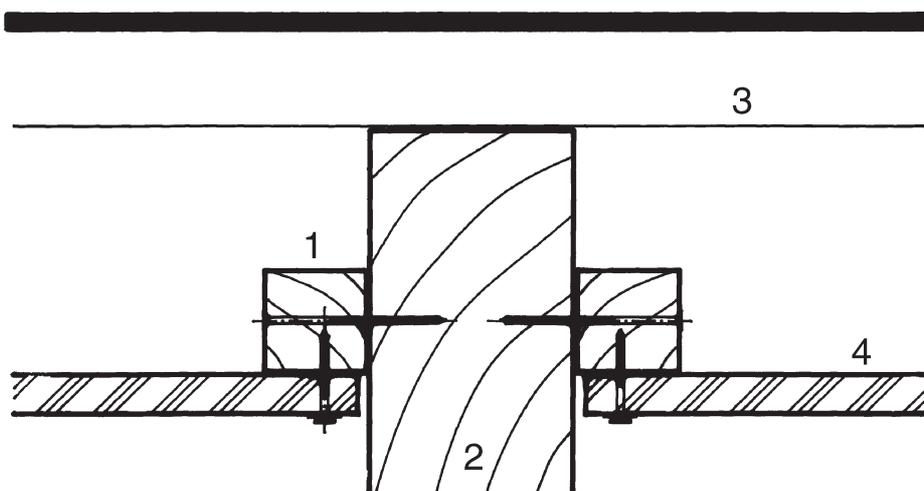
**Legende:**

- 1 Wellplatten
- 2 Anschlagbrett
120/30 mm
- 3 Binder

Beschrieb:

Die Anschlagbretter werden mit schräg eingesetzten TORX-Schrauben auf der Binderoberfläche befestigt. Die Bretter müssen von Hand nach unten gedrückt werden, damit die Schraube greifen kann. Bei genügend Schrauben und starkem Anziehen, sind die Bretter als Anschlag genügend stabil.

5.4.5 Eingelegter Unterzug zur Verminderung des Luftquerschnittes



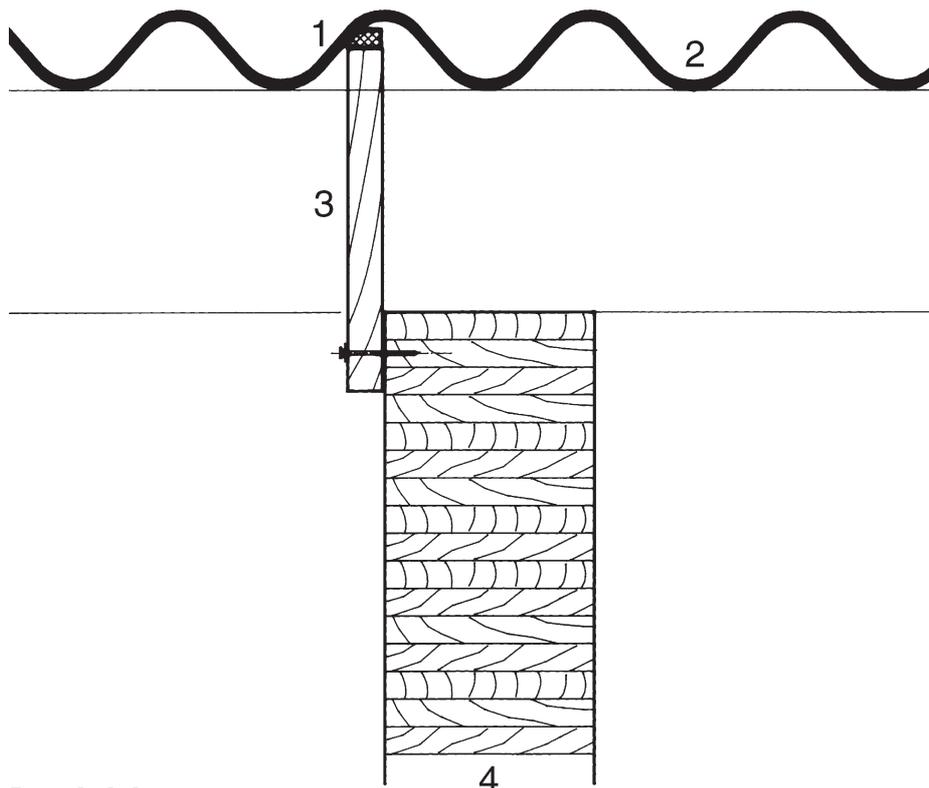
Legende:

- 1 Doppellatten 5/5 cm
- 2 Pfette
- 3 Wellplatten
- 4 Spanplatten

Beschrieb:

Die Doppellatten **1** werden seitlich an die Pfetten befestigt. Anschliessend werden die Spanplatten eingepasst und festgeschraubt. Auf diese Art kann die Querschnittsfläche des luftführenden Kanals optimiert werden. Dies verbessert den Wirkungsgrad der Anlage.

5.4.6 Seitlicher Abschluss eines Zuluft- oder Sammelkanals



Legende:

- 1 Dichtungsband
mindestens 20/10 mm
- 2 Wellplatte
- 3 Seitenbrett
- 4 Binder

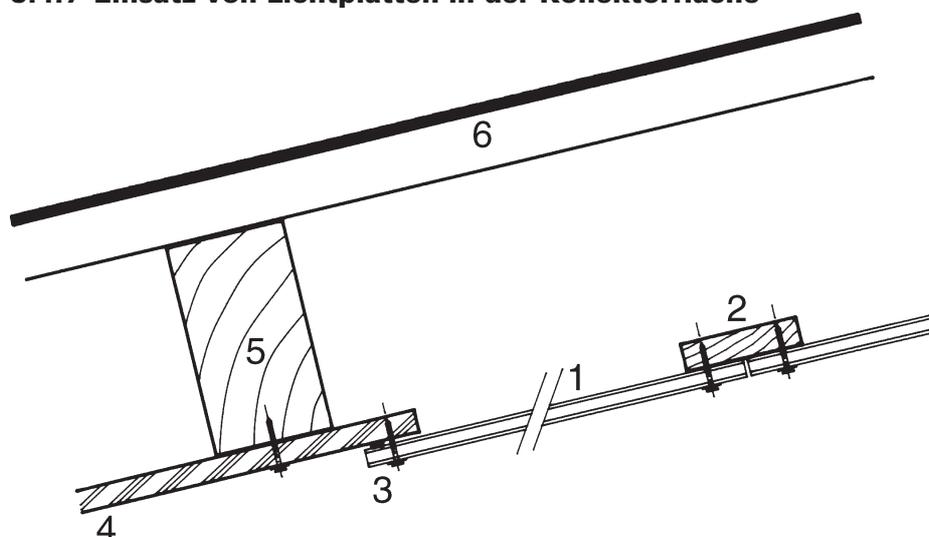
Beschrieb:

Dieser Abschluss ist luftdicht abzuschliessen. Das Seitenbrett wird mit einem Dichtungsband **1** unter die Wellplatten gedrückt.

5.4.7 Einsatz von Lichtplatten in der Kollektorfläche

Legende:

- 1 ACRYL-Doppelstegplatte
min. 10 mm stark
- 2 Anschlagbrett
- 3 SILIKON-Kitt-Abdichtung
- 4 Spanplatten
- 5 Pfette
- 6 Wellplatten

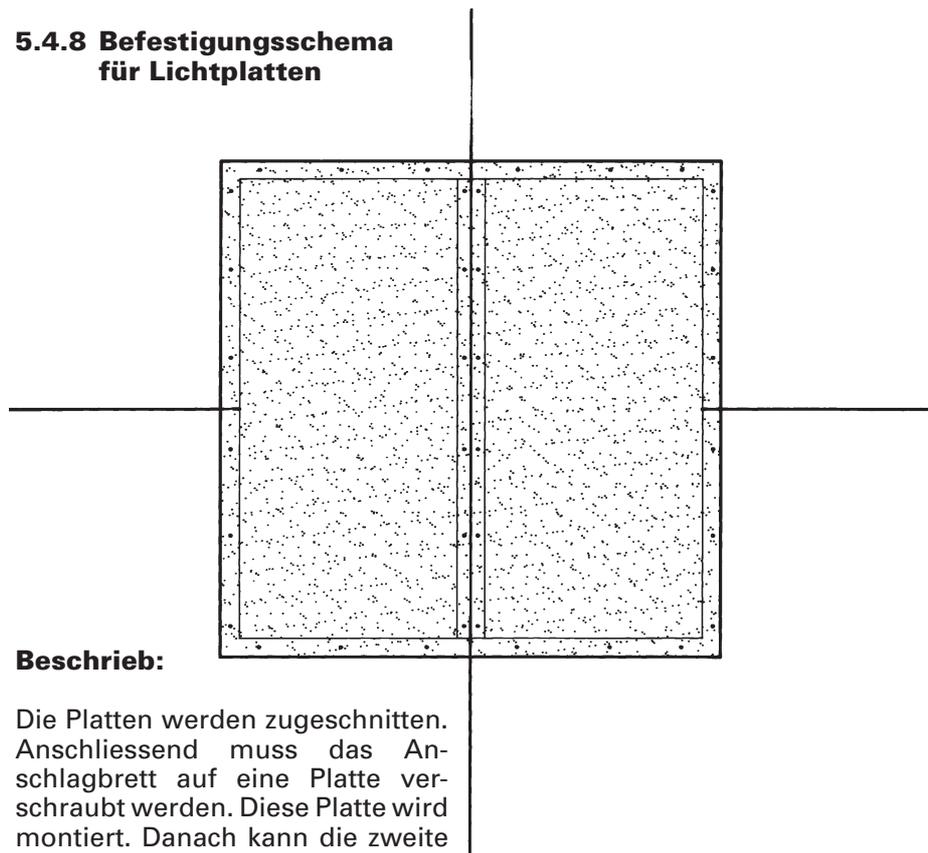


Beschrieb:

Im Bereich von Lichtplatten in der Dachfläche muss dafür gesorgt werden, dass das Licht auch durch den Kollektor in den Scheunenraum gelangen kann. Zu diesem Zweck werden die Spanplatten im Bereich der Lichtplatten ausgespart. Das entstehende Loch wird mit ACRYL-Doppelstegplatten abgedeckt.

Vorsicht! Die Bohrlöcher sollten so gross gebohrt werden, dass etwas Spiel entsteht. Zusätzlich sind Kunststoffunterlagsscheiben zu verwenden. Dadurch lässt sich die grosse Dehnung der Kunststoffplatte kompensieren.

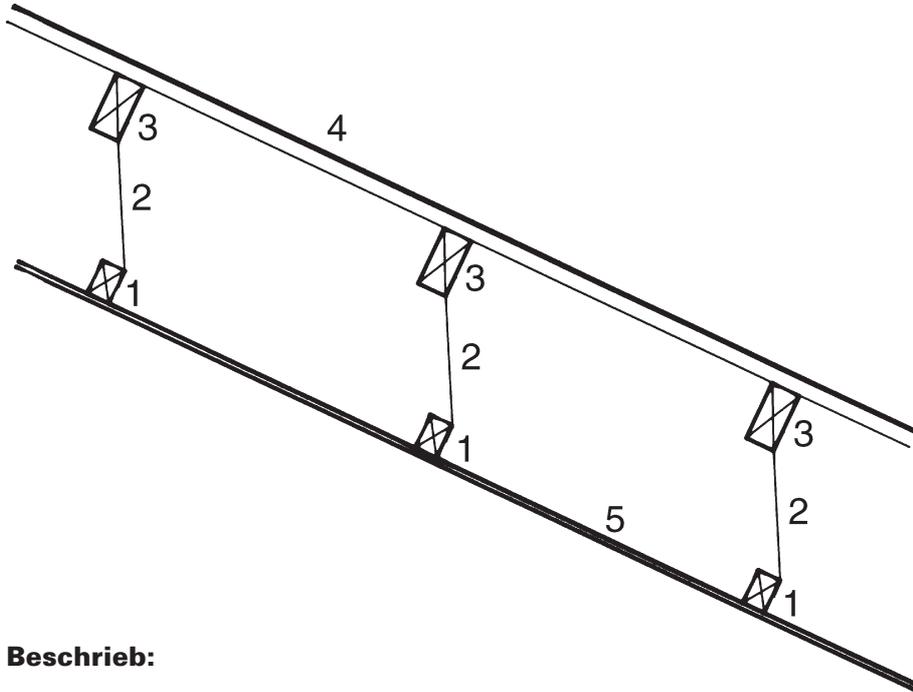
5.4.8 Befestigungsschema für Lichtplatten



Beschrieb:

Die Platten werden zugeschnitten. Anschliessend muss das Anschlagbrett auf eine Platte verschraubt werden. Diese Platte wird montiert. Danach kann die zweite Platte befestigt werden.

5.4.9 Aufgehängte Abdeckung eines Zuluft- oder Sammelkanals



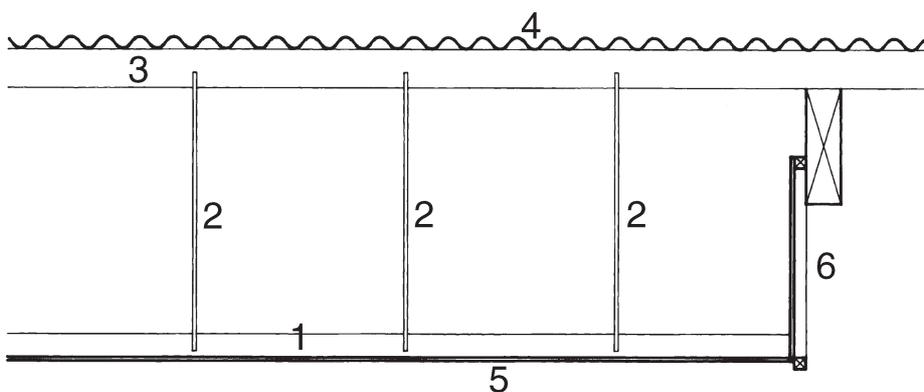
Legende:

- 1 Kantholz ca. 8/12 cm
- 2 Windrispenband 20/2 mm
- 3 Pfette
- 4 Wellplatten
- 5 Spanplatten

Beschrieb:

Die Kanthölzer **1** werden seitlich an der Wand oder einer Hilfskonstruktion befestigt. Zusätzlich werden sie in kurzen Abständen mit einem Windrispenband **2** an die Dachkonstruktion aufgehängt. Aus strömungstechnischen Gründen wäre eine Lösung mit längslaufenden Balken vorzuziehen.

5.4.10 Querschnitt zur Zeichnung 5.4.9



Legende:

- 1 Kantholz ca. 8/12 cm
- 2 Windrispenband 20/2 mm
- 3 Pfette
- 4 Wellplatten
- 5 Spanplatten
- 6 Unterkonstruktion aus Doppellatten 6/6 cm

5.5 Materialliste

Sonnenkollektoranlage in

W K , Landwirt

Materialliste

Sparrenpfetten 12 / 18 cm als Gerberpfetten Pfetten – Zwischenraum 103 cm
 Pfetten – Achsmass 115 cm

Binderabstand 481 cm

| | |
|----------------------------|---|
| Kollektor Feldereinteilung | Kollektor 2teilig durch First getrennt |
| | Symmetrieachse = Firstachse |
| Feld 1 Südgiebel | Komb. als Kollektor und Sammelkanal |
| Feld 2 + 3 + 4 | reine Kollektorfelder |
| Feld 5 | Komb. Zuführkanal von beiden Traufseiten; Kollektor |

Spanplattenbedarf

Format 280 / 207

| | | | | |
|---------------------------------|---------|-----------------|---------------|----------------------|
| Kollektor Teilbreite (Achsmass) | 8.05 m | 6 x 4.65 x 8.05 | 239.94 | m ² |
| Sammelkanal Teilbreite Süd | 8.05 m | 2 x 4.65 x 8.05 | 79.98 | m ² |
| Zuluftkanal Teilbreite West | 19.55 m | 4.65 x 19.55 | 90.95 | m ² |
| Zuluftkanal Teilbreite Ost | 16.80 m | 4.65 x 16.80 | 78.17 | m ² |
| Total | | | 489.04 | m² |
| inkl. Verschnittanteil von 5% | | | 515.00 | m ² |

Anzahl Originalplatten

| | | |
|--|----------------------|------------------|
| Kollektor | | 89 |
| Seitenwände Sammelkanal | | 5 |
| Vertikalkanal | | 12 |
| Horizontalkanal zum Lüfter inkl. Anpassung an Lüfter | inkl. Anpassungen | 20 |
| Anpassungen am Zuführkanal | | 6 |
| Total | = 765 m ² | Stück 132 |

6 Planung einer Anlage

| | |
|---|-----------|
| 6.1 Allgemeines | 59 |
| 6.2 Berechnung der Anlage | 60 |
| 6.2.1 Druckverluste | 60 |
| 6.2.2 Auswahl des erforderlichen Lüfters | 61 |
| 6.2.3 Berechnung der Anlage | 62 |
| 6.3 Auslegung der luftführenden Teile | 63 |
| 6.3.1 Grundsätze | 63 |
| 6.3.2 Berechnung eines Zuluftkanals | 63 |
| 6.3.3 Kollektorquerschnitt | 64 |
| 6.3.4 Sammelkanal | 64 |
| 6.3.4 Zuführkanal | 64 |
| 6.3.5 Spezielle Abweichungen | 64 |
| 6.4 Verhüten von Fehlern | 65 |
| 6.4.1 Standortprobleme | 65 |
| 6.4.2 Verbesserungen durch den Sonnenkollektorbau | 66 |
| 6.4.3 Fehler in der Luftführung | 67 |
| 6.4.4 Dimensionierungsfehler | 67 |
| Literaturverzeichnis | 68 |

6 Planung einer Anlage

6.1 Allgemeines

Die Planung einer Heubelüftungsanlage mit Sonnenkollektor ist eine relativ komplexe Angelegenheit. Es ist sicherlich ratsam, einen Fachmann beizuziehen. Leider ist es oft so, dass aufgrund eines harten Konkurrenzkampfes von seiten der Verkäufer von Heubelüftungsanlagen keine umfassende Berechnung zu erwarten ist. Diese Firmen sehen sich in der Regel ausserstande, spezielle Dienstleistungen, wie die Planung einer ganzen Anlage, zu verrechnen und verzichten meistens auf diese Planungsarbeiten. Es lohnt sich nicht, ausgebildete Techniker für diese Dienstleistung einzustellen.

Somit verbleibt dem interessierten Landwirt nur die Möglichkeit, seine Anlage selbst zu planen. Es ist jedoch ratsam, die Hilfe von erfahrenen Beratern zu beanspruchen. Diese Berater verfügen über ein Computer-Programm, welches von der FAT entwickelt wurde. Auf diese Art kann der Kollektor relativ einfach berechnet und optimiert werden. Wesentlich aufwendiger ist jedoch die Integration der Anlage in ein bestehendes Gebäude.

Damit der Landwirt auf möglichst einfache Art eine Vorplanung durchführen kann, haben wir im nachfolgenden Kapitel einige Planungshilfen zusammengestellt. Diese Unterlagen dienen ihm auch dazu, sich über verschiedene Dimensionen innerhalb der luftführenden Teile Rechenschaft zu geben.

Die nachfolgend sehr stark vereinfachten Berechnungen sollen dem interessierten Laien die Möglichkeit geben, eine Anlage selber zu dimensionieren.

Die Methodik birgt die Gefahr von relativ grossen Unsicherheiten.

Es wird in heiklen Fällen dringend geraten, einen Fachmann zur genauen Abklärung beizuziehen !

6.2 Berechnung der Anlage

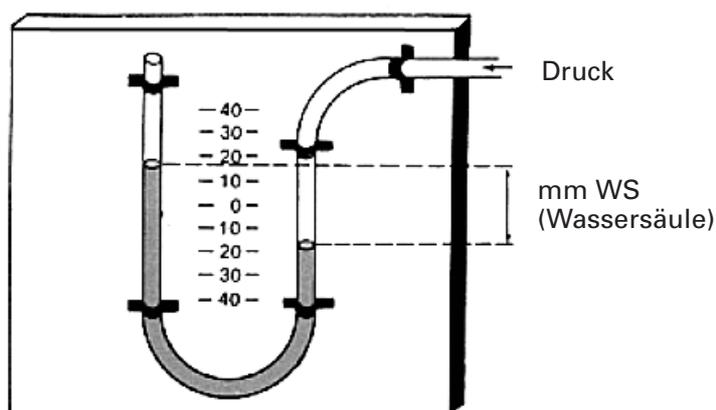
6.2.1 Druckverluste

Wie bereits erwähnt, entsteht der Anlagedruck aus einer Summe von Druckverlusten. Er wird jedoch hauptsächlich durch den Heustock, namentlich seiner momentanen Höhe und der Futterbeschaffenheit bestimmt.

Bemerkung:

Für die Berechnung des Gesamtdruckverlustes wird immer die halbe Stockhöhe berücksichtigt. Die einzelnen Druckverluste werden zusammengezählt.

| | | |
|---------------------------|--|----------------|
| Einflussfaktoren | <ul style="list-style-type: none"> • Pflanzenbestand: Beurteilung nach AGFF * • Luftmenge: in m³ pro Sekunde pro m² • Heustockfläche • Sonnenkollektor | |
| | * AGFF = Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus | |
| Annahme | Luftmenge: 0.11 m ³ pro Sekunde pro m ² | |
| Druckverlust | Angaben in mbar = cm Wassersäule pro Meter Heustockhöhe | |
| Pflanzenbestand | | |
| ausgewogen | A | 1.6 mbar pro m |
| gräser- oder kräuterreich | G, K | 1.2 mbar pro m |
| kleereich | L | 2.4 mbar pro m |
| Sonnenkollektor | | |
| Zuschlag | | 1.2 mbar |



10 mm WS = 1 mbar

Zur Überprüfung der Druckverhältnisse können einfache U-Rohr Manometer hergestellt werden.

Unter dem Belüftungsrost kann der Überdruck gemessen werden. Im Zuführkanal wird der Unterdruck festgestellt. Beide Drücke zusammengezählt ergeben den Anlagedruck.

6.2.2 Auswahl des erforderlichen Lüfters

| Berechnungsblatt Heubelüftung | | | | | |
|-------------------------------|---|------------------------|------------------------------------|--|-------------|
| Eigentümer: <u>H. Muster</u> | | Datum: <u>7.7.1994</u> | | | |
| 1 | Stockgrundfläche in m ² | <u>110</u> | 2 | 1/2 Stockhöhe in m | <u>2,5</u> |
| 3 | Luftmenge = 1) x 0.11 m ³ /s = | <u>12,1</u> | * Nettohöhe ab OK Rost gemessen | | |
| 4 | Druckverlust** pro m = mbar = | <u>1,6</u> | ** aus Tabelle Seite 40 | | |
| 5 | Gesamtdruckverlust = 2) x 4) = | <u>4,00</u> | | | |
| | Zuschlag für Sonnenkollektor | <u>1,20</u> | | | |
| | Total maximaler Anlagedruck | <u>5,2</u> | mbar | | |
| 6 | Auswahl des Ventilators | kW | p _{max} | Förderleistung bei <u>5</u> mbar m ³ /s | |
| | FAT Nr. | <u>920</u> | <u>10,0</u> | <u>9,8</u> | <u>12,4</u> |
| | FAT Nr. | | | | |
| | FAT Nr. | | | | |
| Bemerkungen: | | | | | |
| _____ | | | | | |
| _____ | | | | | |
| _____ | | | | | |

Beispiele aus der Liste der FAT

| FAT Nummer | Firma | Leistg. kW | max. Druck | (mm WS) mbar | (30) 3 | (40) 4 | (50) 5 | (60) 6 | (70) 7 | (80) 8 |
|------------|-------|------------|------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1065K | AAA | 7.5 | 11.0 | m ³ /s | 10.2 | 9.7 | 9.1 | 8.3 | 7.6 | 6.8 |
| 1069 | BBB | 7.5 | 9.4 | | 13.3 | 12.3 | 11.0 | 9.8 | 8.5 | 6.7 |
| 920 | SSS | 10.0 | 9.8 | | 14.4 | 13.5 | 12.4 | 11.6 | 10.3 | 9.0 |
| 992K | WW | 15.0 | 13.3 | | 19.5 | 18.5 | 17.5 | 16.6 | 15.3 | 14.1 |

6.2.3 Berechnung der Anlage

Mit Hilfe eines einfachen Computerprogramms kann die Kollektoranlage richtig dimensioniert werden. Als Beispiel wurde die in den vorgängigen Kapiteln (6.2.1 und 6.3.2.) erwähnte Anlage durchgerechnet. Es wird ein Kollektor von 16 m Länge und 14 m Breite angenommen. Der Luftdurchsatz beträgt 12.1 m³/s.

Resultate der Berechnung des Sonnenkollektors

Betrieb, Name: H. Muster

PLZ, Ort:

Stockfläche 1 (m²): 110

Stockhöhe 1 (m): 5.0

Stockvolumen 1 (m³): 550

Kollektor-Typ : 1 Eternit, braun, quergewellt

Kollektorlänge (m): 16.0 Luftansaug nur einseitig

Kollektorbreite (m): 14.0

Luftdurchsatz (m³/s): 12.1

Balkenhöhe (cm): 18

Geografische Höhe (m): 500

| | | | | | |
|-----------------|----|----|----|----|----|
| Kanalhöhe (cm): | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 |
|-----------------|----|----|----|----|----|

| | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| Luftgeschwindigkeit (m/s): | 4.80 | 5.08 | 5.40 | 5.76 | 6.17 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|

| | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|
| Druckverlust (mbar): | 0.62 | 0.73 | 0.87 | 1.05 | 1.28 |
|----------------------|------|------|------|------|------|

| | | | | | |
|--------------------|----|----|----|----|----|
| Wirkungsgrad (%) : | 45 | 46 | 46 | 47 | 48 |
|--------------------|----|----|----|----|----|

| | | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Temp.erhöhung*) (GrC): | 5.9 | 6.0 | 6.1 | 6.2 | 6.4 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|

*) bei einer Sonnenstrahlung von 800 W/m²

Die vorliegende Berechnung zeigt, dass bei einem vernünftigen Druckverlust von 0.62 bis 0.87 mbar eine Kanalhöhe (Mass zwischen Eternit und Unterzugplatten) von 16 bis 18 cm gewählt werden kann. Der Wirkungsgrad der Anlage beträgt 45–46%. Es kann mit einer Temperaturerhöhung von 5.9 °C bis 6.1 °C gerechnet werden.

6.3 Auslegung der luftführenden Teile

6.3.1 Grundsätze

Wollte man nach ingenieurmässigen Grundsätzen alle Anlageteile optimieren, wären komplexe Rechnungsgänge durch alle Anlageteile erforderlich. Das Hauptgewicht des Heustockes in Bezug auf die Druckverluste, mit seinen stark variierenden Einflüssen, relativiert den Druckverlust des Luftkollektors. Diese sehr stark vereinfachte Methode ist jedoch mit einigen Risiken verbunden. Umsomehr ist es wichtig, bei der Ausführung auf eine saubere Verarbeitung aller Details zu achten.

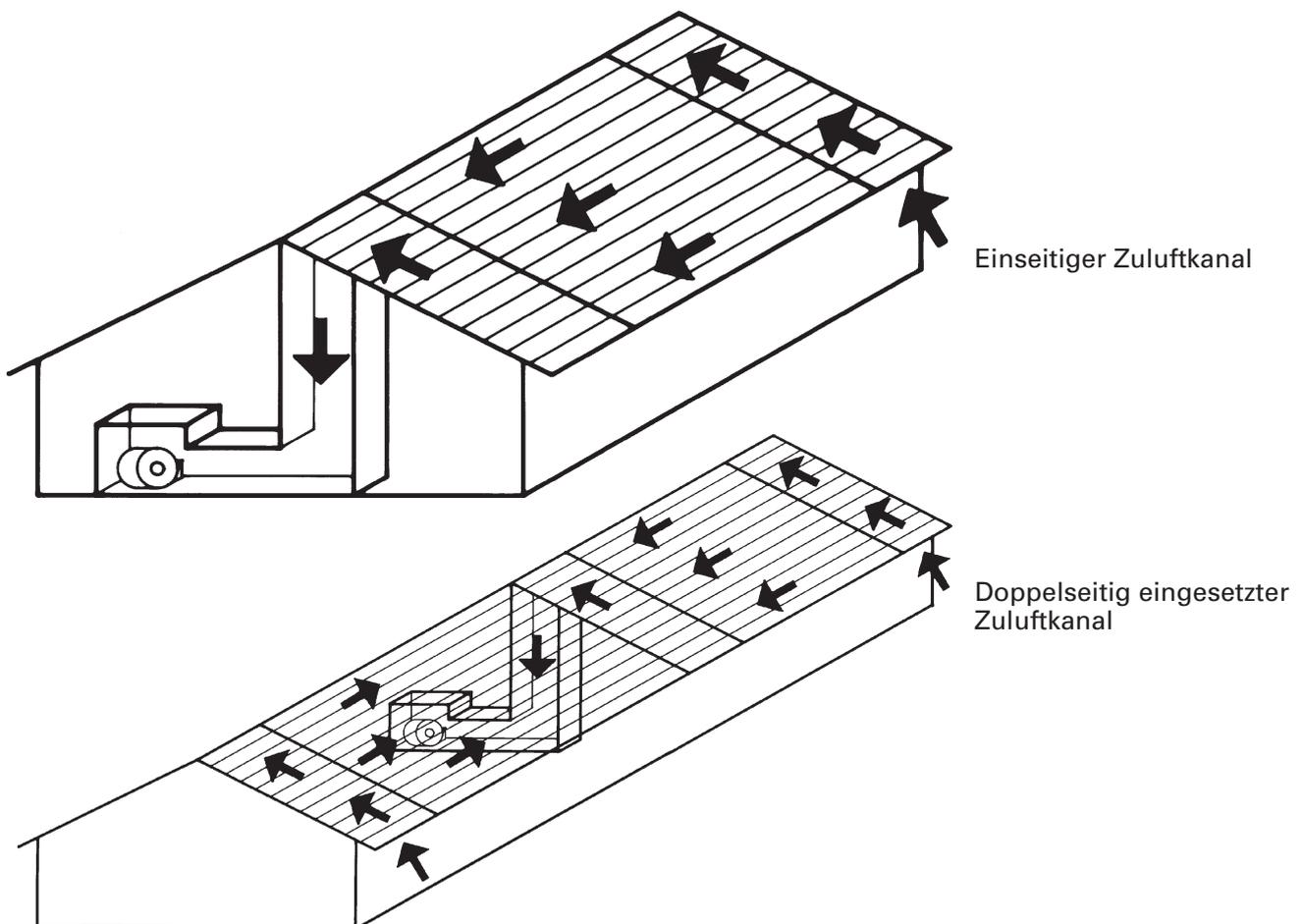
Damit die Rechnungsarbeit einfach bleibt, werden verschiedene Randbedingungen als Konstanten festgesetzt. Dies betrifft zum Beispiel die lokalen Bedingungen der maximalen Luftgeschwindigkeiten.

Wichtiger Hinweis !

Als Basis für alle Berechnungen für die Kanalquerschnitte gilt die Luftmenge bei **halber** Stockhöhe.

6.3.2 Berechnung eines Zuluftkanals

Der Zuluftkanal kann einseitig oder doppelseitig eingesetzt werden. Für den einseitigen Kanal muss die gesamte Luftmenge berücksichtigt werden. Für den Fall eines doppelseitigen Kanals wird die Gesamtluftmenge, anteilmässig auf die beiden Kanäle verteilt, gerechnet.



Innerhalb des Zuluftkanals wird vorteilhafterweise mit einer maximalen Luftgeschwindigkeit von 3 m/s gerechnet. In diesem Fall sind auch keine Unzulänglichkeiten mit strömungshemmenden Balken innerhalb des Kanals zu erwarten.

In speziellen Fällen, welche hohe Luftleistungen erfordern, ist es zulässig, die Luftgeschwindigkeit auf 5 m/s zu erhöhen. Dies muss jedoch konstruktiv berücksichtigt werden, indem man die Balkenkonstruktion längs zur Luftführung verlegt.

6.3.3 Kollektorquerschnitt

Hier ist generell eine Luftgeschwindigkeit von 5 m/s zu wählen. Auf diese Art wird ein hoher Wirkungsgrad erreicht.

Anmerkung:

Je kürzer der Kollektor, desto besser der Wirkungsgrad. Kollektoren über 20,0 m sollten vermieden werden (Druckverlust!).

Der Kollektor besteht aus einer Summe von Einzelkanälen, welche zwischen den Pfetten bzw. Sparren verlaufen. Für die Berechnung wird zunächst die Gesamtfläche ermittelt, und anschliessend wird die Einzelfläche eines Kanals berechnet.

Die Berechnung erfolgt aufgrund des FAT-Berichtes Nr. 407 und dem PC-Programm.

6.3.4 Sammelkanal

Dieser Kanal kann gleich berechnet werden wie der Zuluftkanal. Die Kanalhöhe darf keinesfalls kleiner sein als bei den Teilkanälen des Kollektors. Die Luftgeschwindigkeit sollte ca. 4 m/s betragen. Nähere Angaben können ebenfalls dem FAT-Bericht Nr. 407 entnommen werden.

6.3.4 Zuführkanal

Vorsicht!
Zu lange Kanäle können zu einer erheblichen Abkühlung der Trocknungsluft führen.

Auch dieser Kanal berechnet sich wie der Zuluftkanal. Zu berücksichtigen ist die Luftgeschwindigkeit. Bei engen Platzverhältnissen kann sie auf 5 m/s angenommen werden. Bedingung ist in diesem Fall, dass der Kanal im Innern mit glatten Wänden ausgeführt wird. Nur so können grössere Druckverluste verhindert werden. Ist genügend Platz vorhanden und will man die Kanalwand von aussen verkleiden, darf die Luftgeschwindigkeit maximal 4 m/s betragen.

6.3.5 Spezielle Abweichungen

In speziellen Fällen kann von diesen einfachen Berechnungsmethoden abgewichen werden. So ist es durchaus möglich, den Querschnitt des Zuluftkanals sowie des Sammelkanals allmählich zu reduzieren. Er wird dann leicht konisch ausgebildet.

Als Beispiel kann ein konisch verlaufender Hetzerbinder beim Zuluftkanal eine Vereinfachung der Montage zulassen. Dies gilt dann, wenn die Zuluft bei der Traufe angesogen wird. Auf dem Weg zum First wird laufend ein Teil der Zuluft in den Kollektor abgezweigt. Somit reduziert sich die Luftmenge laufend gegen den First. Aus diesem Grund kann auch der Kanalquerschnitt reduziert werden.

In solchen und ähnlichen Fällen muss der Kanal in verschiedene Teilbereiche aufgeteilt werden. Die entsprechende Luftmenge ist dann für einen bestimmten Punkt zu ermitteln. Aufgrund dieser Fläche kann der Kanal an diesem Ort bemessen werden.

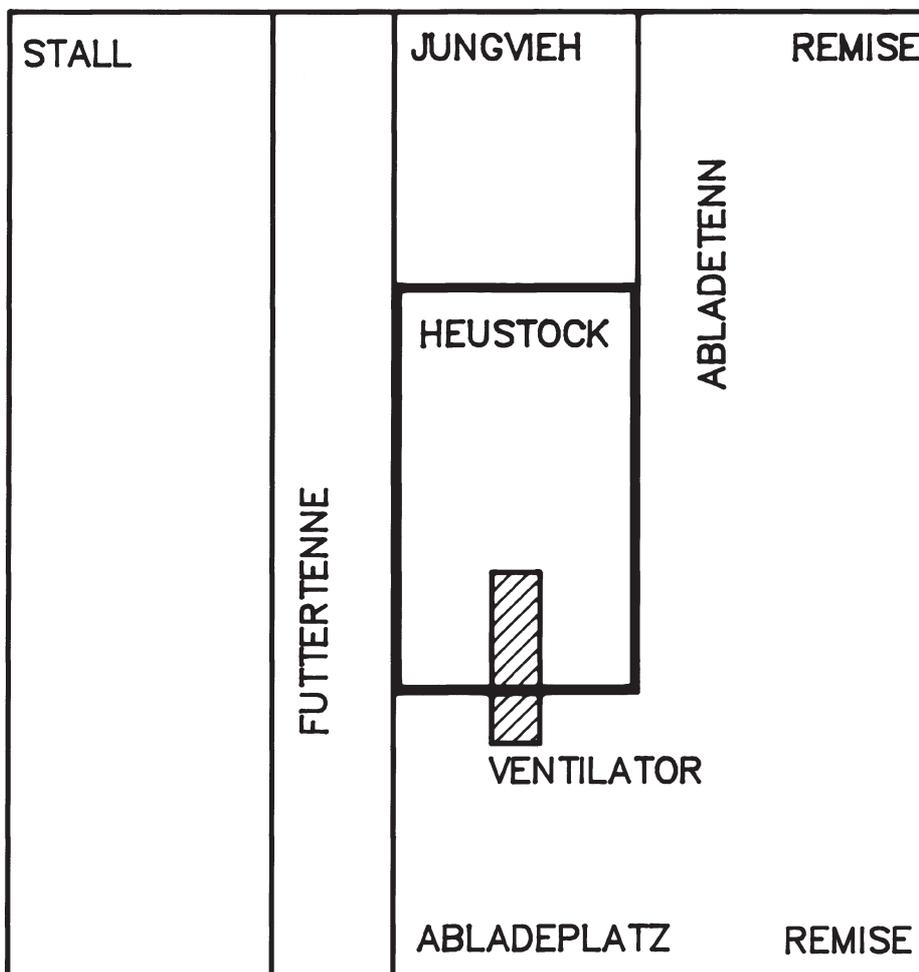
Solche Massnahmen können im Zusammenhang mit Montagevereinfachungen praktische Bedeutung bekommen. Damit keine Fehler vorkommen, müssen diese Fälle genau überlegt werden!

6.4 Verhüten von Fehlern

6.4.1 Standortprobleme

Es kann in der Praxis immer wieder festgestellt werden, dass der Standort des Heustockes und des Lüfters ungünstig gewählt werden. Für die Architekten ist es allgemein nicht einfach, alle Erfordernisse in der Planung einer Scheune optimal zu erfüllen. Oft wiegen arbeitstechnische Vorteile, oder Belange der Tierhaltung, schwerer als der optimale Standort eines Heustockes bzw. eines Heulüfters.

Bei Scheunen mit bodenlastigem Heustock ist oft der Stall auf der Südseite der Scheune eingeplant. Meistens bleibt für den Heustock die Nordseite. Wird in diesem Fall der Heulüfter ebenfalls auf der Nordseite und möglicherweise nahe am Boden, oder in noch schlimmeren Fällen im Boden versenkt, angeordnet, kann man von einer problematischen Anlageplanung sprechen. Vielleicht mag diese Darstellung etwas übertrieben sein. Die Besichtigung von zahlreichen Anlagen beweist, dass sehr viele Heubelüftungen Mängel aufweisen, die offensichtlich sind. Im Einzelfall untersucht, zeigte sich jedoch bald, dass für andere wichtigen Belange Prioritäten gesetzt wurden. Die Heubelüftung musste darunter leiden.



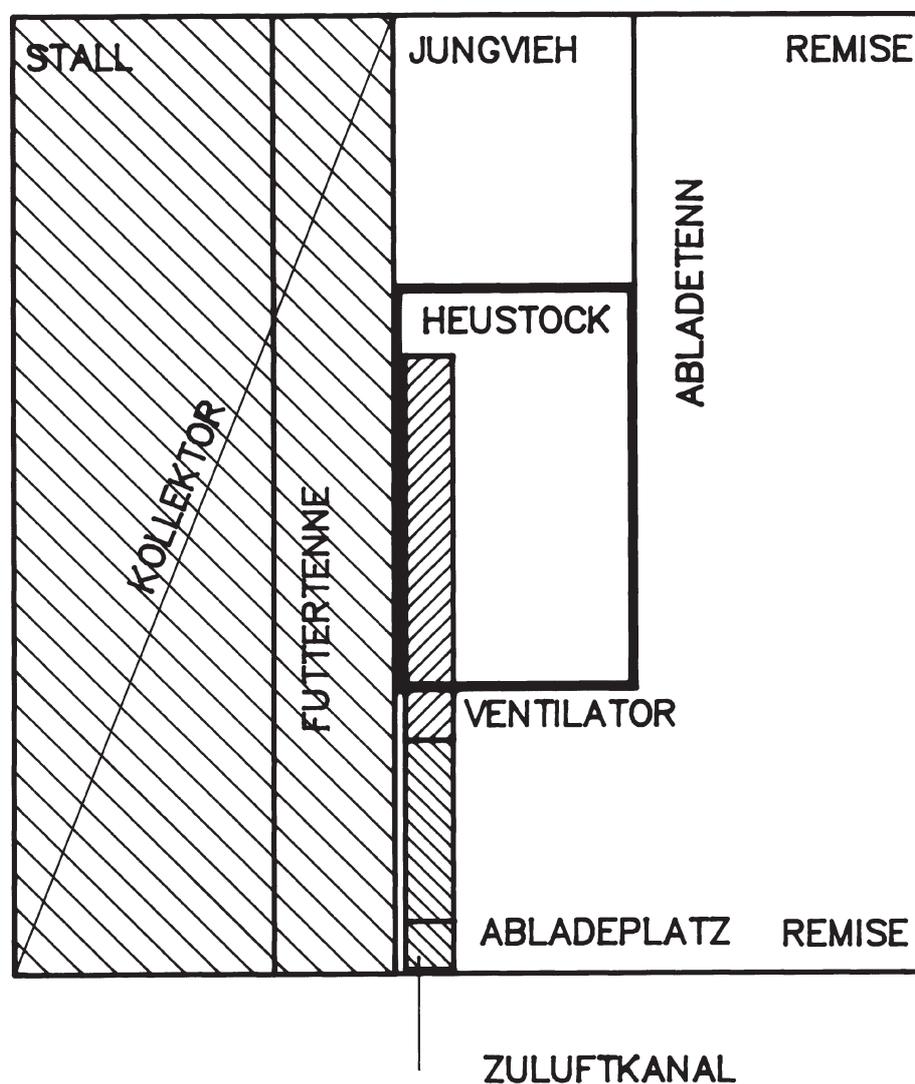
Besonders oft kommt es vor, dass bei Greiferscheunen der Heustock mitten in der Scheune plaziert wird. Der Lüfter wird direkt neben den Stock eingebaut. Die Luft wird direkt in der Scheune angesogen. Meistens wird in der Nähe während der Betriebszeit ein Schiebtor offen gelassen. Je nach

den Witterungsverhältnissen lässt es sich aber nicht immer vermeiden, dass ein Kurzschluss mit der feuchten Abluft aus dem Heustock erfolgt. Es entsteht dann ein Luftkreislauf, welcher den Trocknungsvorgang sehr stark beeinträchtigt.

6.4.2 Verbesserungen durch den Sonnenkollektorbau

Viele ausgeführte Sonnenkollektoren, welche nachträglich eingebaut wurden, bewirken eine wesentliche Verbesserung der ursprünglichen Anlage. In diesen Fällen war es möglich, die vorhandenen Mängel teilweise oder ganz zu beheben.

Die Fassung der aufgewärmten Luft beim Kollektor ermöglicht eine gezielte Zuluftführung bis zum Lüfter. Die Luftführung erfolgt in einem Zuführkanal. Auf diese Art kann die schlechte Luftfassung der ursprünglichen Anlage aufgegeben werden.



Anhand dieses einzelnen Beispiels kann man aufzeigen, dass der Einbau eines Sonnenkollektors, nebst seiner eigentlichen Funktion als Wärmerzeuger, zusätzlich die Nachteile einer bestehenden Anlage mindestens teilweise beheben kann.

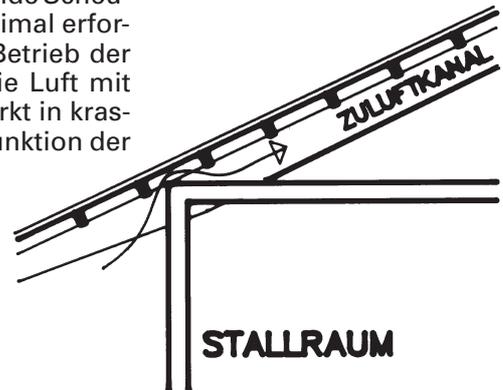
Als Variante könnte ein 2seitiger Ansaug-Sammelkanal in der Mitte angebracht werden. Der Ventilator käme in die Remise und die Luft würde auf der Längsseite des Stockes eingeblasen. Der Druckverlust dieser Anlagevariante wäre geringer als bei der Ausführung gemäss der Skizze.

6.4.3 Fehler in der Luftführung

Sehr oft müssen beim Einbau von Sonnenkollektoren in bestehende Scheunen Kompromisse gemacht werden. Wird zum Beispiel der minimal erforderliche Kanalquerschnitt stark unterschritten, kann dies den Betrieb der Anlage stark beeinträchtigen. Bei solchen Engpässen muss die Luft mit erheblichem Kraftaufwand «durchgezogen» werden. Dies bewirkt in krassen Fällen sehr grosse Druckverluste. In solchen Fällen ist die Funktion der gesamten Anlage in Frage gestellt.

Lange Kanäle vom Kollektor bis zum Lüfter führen zu erheblichen Temperaturverlusten. Die im Kollektor erwärmte Luft kühlt dann wieder ab. Die Leistung der Anlage wird entsprechend vermindert. Nach Möglichkeit sind Wege zu suchen, um die Kanallänge zu reduzieren.

Verheerend sind Luftleckagen. Sie führen ebenfalls zu einer mehr oder weniger starken Abkühlung der Zuluft. Sie können an den verschiedensten Stellen auftreten. Besonders gefährdet sind Übergangsstellen zwischen Kollektor und Sammelkanal, beim Anschluss zwischen Kanal und Aussenwand oder auch die Anschlussbereiche beim Ventilator.



Nur bei einer exakten Arbeitsausführung und einer peinlich genauen Abdichtung aller Anschlussstellen sind Leckagen zu verhindern.

6.4.4 Dimensionierungsfehler

Es ist allgemein von Vorteil, die Dimensionierungsberechnungen ernst zu nehmen. Nur eine optimal berechnete Anlage, welche genau nach den Berechnungen und den Plänen ausgeführt wird, kann eine gute Leistung erbringen.

Zu gross ausgelegte Anlagen haben einen schlechten Wirkungsgrad und benötigen zu viel Material und Arbeitszeit für den Bau. Zu klein dimensionierte Anlagen haben in der Regel einen besseren Wirkungsgrad. Die fehlende Leistung führt jedoch zu Enttäuschungen.

Literaturverzeichnis

Impulsprogramm PACER

Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft

Planungsgrundlagen; 1991

Eidg. Drucksachen und Materialzentrale, 3000 Bern
(Bestell-Nr. 724.221 d)

FAT-Berichte

Verschiedene FAT-Berichte im Zusammenhang mit der Heubelüftung
sowie über Sonnenkollektoren

Nr. 406 Die Heubelüftung von A-Z

Nr. 407 Sonnenkollektoren für die Heubelüftung-Planen und Realisieren

Weitere Berichte zum Thema: Nr. 325, 326, 332, 430

Bezugsquelle:

Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik,
Bibliothek, 8356 Tänikon Tel. 052 62 31 31

Theo Pfister, Flawil

Leitfaden für Planung, Berechnung, Bau und Betrieb von Sonnenkollektoren für die Heubelüftung, 1988