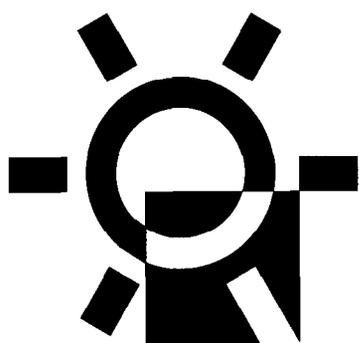


Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen

**Wärmerückgewinnung
aus der Stallluft und
Sonnenkollektoren für die
Heubelüftung**



PACER

Bundesamt für Konjunkturfragen

Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft: Planungsgrundlagen

Wärmerückgewinnung aus der Stallluft und Sonnenkollektoren für die Heubelüftung

Wärmerückgewinnung aus der Stallluft

Autoren:

Josef Brühlmeier, ZTL, 6048 Horw
Kurt Egger, INFOSOLAR, 8356 Tänikon
Wilfried Göbel, FAT, 8356 Tänikon
Hanspeter Pfenninger, Konvekta AG,
9015 St. Gallen-Winkeln

Mitarbeit:

Josef Penasa, Alfa Laval, 6210 Sursee

PC-Programm:

Wilfried Göbel, FAT, 8356 Tänikon (Konzept)
Daniel Stutz, FAT, 8356Tänikon (Programmierung)

Trägerschaft:

LBL Landwirtschaftliche Beratungszentrale
Lindau
STV Schweizerischer Technischer Verband

Sonnenkollektoren für die Heubelüftung

Autoren:

Jürg Baumgartner, FAT, 8356 Tänikon.
Franz Nydegger, FAT, 8356 Tänikon

Mitarbeit:

Josef Eugster, Holzbau, 8376 Fischen

PC-Programm:

Jürg Baumgartner, FAT, 8356 Tänikon (Konzept
und Programmierung)

Biogasanlagen

PC-Programm:

Kurt Egger, INFOSOLAR, 8356 Tänikon (Konzept)
Andreas Fritschy, Umwelt-Informatik, 8031 Zürich
(Programmierung)

Redaktion

Kurt Egger, INFOSOLAR, 8356 Tänikon

Copyright Bundesamt für Konjunkturfragen
3003 Bern, Juli 1991
Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe
erlaubt. Zu beziehen bei der Eidg. Drucksachen-
und Materialzentrale, Bern (Best.Nr. 724.221 d)

Im Anhang 3 ist das PC-Programm für die Dimensionierung von Biogasanlagen erläutert. Die Grundlagen für die Dimensionierung, Planung und Ausführung von Anlagen sind im «Biogas-Handbuch» (neue überarbeitete Auflage 1991) zusammengestellt. Dieses kann im Buchhandel oder direkt beim Verlag Wirz AG in Aarau bzw. bei der INFOSOLAR in Tänikon erworben werden.

Die vorliegende Dokumentation und die PC-Programme richten sich an landwirtschaftliche PlanerInnen (Architekten, Ingenieure), BeraterInnen und

AusbildnerInnen sowie an Mitarbeiter von Meliorationsämtern.

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

August 1991

Dr. H. Kneubühler
Stv. Direktor des Bundesamtes für Konjunkturfragen

Inhalt

Teil 1: Wärmerückgewinnung aus der Stallluft	8
1 Stallklima	8
1.1 Allgemeines	8
1.2 Wärmebilanz	9
1.3 Stalllüftung	10
1.4 PC-Programm	11
2 Wärmepumpen	14
2.1 Funktionsprinzip der Wärmepumpe	14
2.2 Systemübersicht	18
2.3 Arbeitszahl und Energiefluss	22
2.4 Werkstoffe	25
2.5 Wärmenutzung	27
2.6 Investitions- und Betriebskosten	30
2.7 Planung	31
2.8 Anlagenbeispiele	33
3 Wärmetauscher	38
3.1 Einleitung	38
3.2 Begriffe	38
3.3 Korrosion und Verschmutzung	39
3.4 Wärmetauscher-Systeme	40
3.5 Dimensionierung von Wärmerückgewinnungsanlagen	44
3.6 Wirtschaftlichkeit	46
3.7 Anlagenbeispiele	47
Teil 2: Sonnenkollektoren für die Heubelüftung	52
1 Heubelüftung	52
1.1 Allgemeines	52
1.2 Planung einer Heubelüftung	53
1.3 Lüfterwahl	58
1.4 Weitere Auswahlkriterien	62
2 Grundlagen Sonnenkollektoren	64
2.1 Sonnenenergieangebot	64
2.2 Funktionsweise	64
2.3 Kollektor mit lichtdurchlässiger Abdeckung	65
2.4 Kollektor mit dunkler Abdeckung	66
2.5 Wichtige Kollektorkenngrößen	68

3	Planung von Sonnenkollektoranlagen	70
3.1	Planungsablauf	70
3.2	Nutzbare Dachflächen und Exposition	71
3.3	Ideale Luftführung	73
3.4	Unterschiedliche Artsauglängen	76
3.5	Berechnung der Kanalhöhe mit PC-Programm	76
3.6	Sammelkanal	77
3.7	Luftkanäle	77

4	Bau von Kollektoranlagen	80
4.1	Kollektoren	80
4.2	Sammelkanal	82
4.3	Luftkanäle	85
4.4	Lüfterhäuscher/Ventilatorraum	86
4.5	Spezialformen	87

5	Investitionskosten	90
----------	---------------------------	-----------

Literaturverzeichnis	94
-----------------------------	-----------

Anhang	96
Anhang 1: PC-Programm Stallklima	96
Anhang 2: PC-Programm Sonnenkollektoren	108
Anhang 3: PC-Programm Biogas	114

Gutschein für PC-Programme	123
-----------------------------------	------------

Teil 1: Wärmerückgewinnung aus der Stallluft

1 Stallklima

1.1 Allgemeines **8**

1.2 Wärmebilanz **9**

1.3 Stalllüftung **10**

1.4 PC-Programm **11**

1 Stallklima

Richt- und Grenzwert⁶ für das Stallklima

(«Schweizerische Stallklimanorm», 1983)

Relative Luftfeuchtigkeit	70 bis 80%
Stalltemperatur (je nach Tierart)	0 bis 30°C
Kohlendioxidgehalt	3500 ppm
Ammoniakgehalt	10 ppm
Schwefelwasserstoffgehalt	5 ppm
Luftgeschwindigkeit	Winter 10 cm/s Sommer 50 cm/s

1.1 Allgemeines

Mit dem Begriff Stallklima wird der im Stall herrschende Luftzustand bezeichnet. Dieser Zustand lässt sich mit der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Luftbewegung und dem Schadgasgehalt beschreiben und messen. Der Luftzustand sollte im Stall stets so sein, dass die Tiere ihren Stoffwechsel mit einem minimalen Aufwand an Energie aufrecht erhalten können. Deshalb müssen selbst bei extremen Witterungsverhältnissen wie im Winter oder im Hochsommer im Stall gewisse Grenzwerte der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, des Kohlendioxidgehalts und der Luftgeschwindigkeit im Tierbereich eingehalten werden. Einige dieser Grenzwerte variieren nach Tierart und Tiergrösse. Sie sind in Stallklimanormen festgehalten.

Zur Steuerung des Stallklimas dienen verschiedene Lüftungssysteme wie Fenster (Fensterlüftung), Kamine (Schwerkraftlüftung) oder Ventilatoren (mechanische Lüftung). Im Unterschied zu Wohnbauten und den meisten Industriegebäuden fallen in Tierställen grosse Mengen an Wärme, CO₂ und Wasserdampf an. Die Dimensionierung der Lüftungsanlagen hat so zu erfolgen, dass die anfallende Wärme sowie das Kohlendioxid und der Wasserdampf abgeführt werden können. Gleichzeitig sollte im Winter die Temperatur in Warmställen nicht unter die Richtwerte sinken. Für Stallklimaberechnungen werden die für das Abführen des Wasserdampfs und des CO₂ nötigen Luftraten bestimmt. Daraus lässt sich für den Stall eine Wärmebilanz erstellen, die aufzeigt, ob genügend Wärme für die Erhaltung der geforderten Temperatur vorhanden ist.

Bei einer positiven Bilanz können die Luftraten erhöht werden, während bei einer negativen Bilanz eine Zusatzheizung oder ein Wärmetauscher installiert werden muss. Allenfalls lässt sich auch die Bauhülle verändern (bessere Wärmedämmung, weniger Fenster, kleinere Oberfläche des Stalles).

Eine Ausnahme sind die sogenannten Kaltställe, wo dank grossen Zu- und Abluftöffnungen ein sehr hoher Luftaustausch erzielt wird (z.B. Offenfrontställe). Damit kann für die meisten Tierarten ein

gutes Stallklima erreicht werden. Die Temperatur liegt in diesen Ställen nahe bei der jeweiligen Aussentemperatur, was erhöhte Anforderungen an das Betriebspersonal und an die technischen Einrichtungen stellt.

1.2 Wärmebilanz

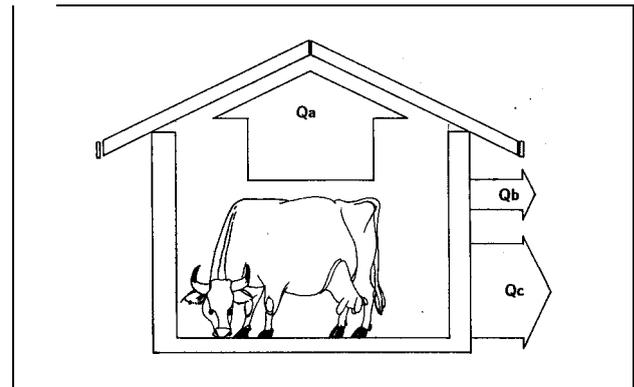
Die Wärmebilanz in einem unbeheizten Stall wird durch die Wärmeabgabe der Tiere, die Transmissions- und die Lüftungswärmeverluste bestimmt.

Wärmebilanz = Tierwärme - Transmissionsverluste - Lüftungsverluste

Tierwärme: Jedes Tier gibt eine bestimmte Menge Wärme ab, welche sich aus fühlbarer und latenter Wärme (Wasserdampf) zusammensetzt. Während die gesamte abgegebene Wärmemenge in einem weiten Temperaturbereich praktisch konstant bleibt, sind die einzelnen Anteile (fühlbare und latente Wärme) stark temperaturabhängig. Die Aufteilung der Gesamtwärme in fühlbare (Energiegehalt der Luft) und latente Wärme (Energiegehalt des Wasserdampfes) ist im Zusammenhang mit der Wasserdampfbildung und für die Berechnung der Wärmebilanz wichtig.

Die Transmissionsverluste des Stalles sind von der Baukonstruktion und der Temperaturdifferenz abhängig. Für gegebene Aussen- und Innentemperaturen können die Transmissionsverluste anhand der k-Werte der einzelnen Bauteile berechnet werden.

Die Lüftungsverluste werden anhand der benötigten Luftmengen bestimmt. Die Luftmengen werden sowohl für die Abführung des Wasserdampfes (Wasserdampfmasstab) als auch diejenige für die Abführung des CO₂ (CO₂-Masstab) berechnet. Das Winter-Lüftungssystem ist gemäss der höheren der beiden Mengen auszuführen. Die Lüftungsverluste ergeben sich aus der Erwärmung dieser Luftmenge von Aussen- auf Stalltemperatur.



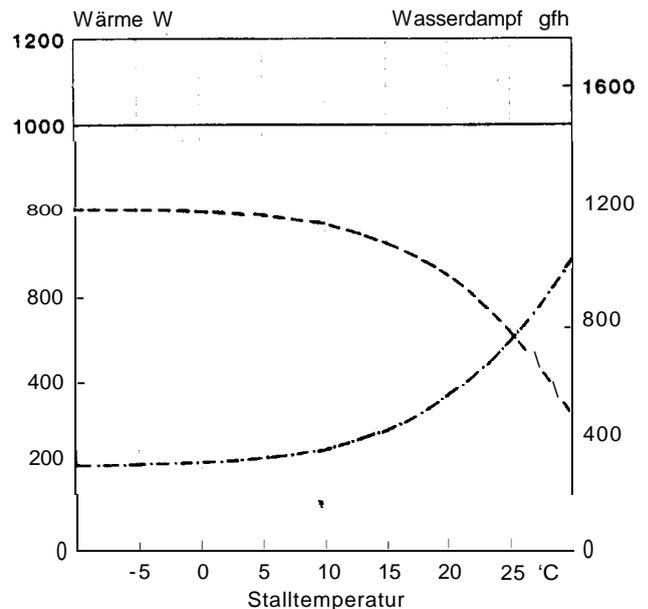
$$\text{Wärmebilanz} = Q_a - Q_b - Q_c$$

Q_a: Wärmeabgabe der Tiere (fühlbarer Anteil)

Q_b: Transmissionswärmeverluste

Q_c: Lüftungswärmeverluste

Wärmeabgabe einer Milchkuh



--- Gesamtwärmeabgabe in Watt

— Sensible Wärme (Energiegehalt der Luft) in Watt

- - - Latente Wärme (Energiegehalt des Wasserdampfes) in Watt; entspricht der Menge Wasserdampf in g/h

1000 Watt entspricht etwa der Gesamtwärmeabgabe einer Milchkuh von 500 kg. Die Abgabe an Kohlendioxid beträgt über den ganzen Temperaturbereich etwa 160 Liter pro Stunde.

CO₂-Grenzwert

Erfahrungen lassen annehmen, dass der CO₂-Grenzwert von 3500 ppm ohne gesundheitliche Folgen für die Tiere stundenweise überschritten werden kann. Der Wert für die maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK) für Menschen von 5000 ppm deutet ebenfalls darauf hin. Beim Einsatz von Wärmepumpen im Umluftbetrieb können bei höherem zugelassenem CO₂-Gehalt grössere Heizleistungen erreicht werden. Für die Berechnung und Ausführung solcher Anlagen wird ein CO₂-Grenzwert von 5000 ppm empfohlen.

Richtwerte für Wärmeabgabe und Luft-raten verschiedener Tierarten

	Gewicht (kg)	Wärme- abgabe (W)	Winter- luftrate (m ³ /h)	Sommer- luftrate (m ³ /h)
Kuh	500	1000	50	500
Rind	200	400	20	200
Rind	400	800	40	400
Kalb	100	200	10	100
Zuchtsau	200	400	20	200
Mastschwein	100	200	10	100
Ferkel	20	80	4	40

1.3 Stalllüftung

Die benötigten Luftraten variieren während des Jahres sehr stark.

Im Winter reicht bei kleinen Tieren die eigene Wärme nicht aus, um im Stall die erforderliche Temperatur zu erreichen. Die Lüftungsanlage ist so zu dimensionieren, dass der CO₂-Gehalt 0,35% (stundenweise bis 0,5%) und die relative Luftfeuchtigkeit 70 oder 80% (je nach Tierart) nicht überschreiten. Wärmedefizite lassen sich in vielen Fällen durch den Einsatz von Wärmetauschern (Kap. 3) ausgleichen.

Beim Einsatz einer Wärmepumpe im Umluftbetrieb (Kap. 2.2) kondensiert Wasserdampf im Verdampfer, womit in der Regel eine relative Luftfeuchtigkeit im Stall von unter 80% eingehalten werden kann. In diesen Fällen wird also immer nach dem CO₂-Massstab gelüftet. Umluftbetriebe- ne Wärmepumpen können in Ställen mit tiefer Stalltemperatur (z.B. 10 °C in Kuhställen) eingesetzt werden.

Wenn im Stall kein Wärmemanko mehr vorhanden ist, speziell aber in der Übergangszeit, werden die Luftraten erhöht, damit die Temperatur im Stall nicht ansteigt. Gleichzeitig wird das Stallklima verbessert (Verdünnung der Schadgase).

Damit im Sommer die anfallende Wärme abgeführt werden kann, sind Luftmengen nötig, die das Zehnfache der erforderlichen Winterluftmenge ausmachen können. Die Berechnung erfolgt so, dass die Stalltemperatur nicht mehr als 2°C (Schweine, Geflügel), bzw. 3°C (Kühe, Rinder) über der Aussentemperatur liegt.

Das Lüftungssystem muss den Anforderungen des Sommers wie auch denjenigen des Winters genügen. Das heisst, es ist eine Steuerung der Luftmenge zwischen 10 und 100% nötig. Mit Ventilatoren wird das Lüftungssystem so geplant, dass die erforderliche Sommerluftmenge erreicht werden kann. Durch Drehzahlregulierung der Ventilatoren und/oder Drosselklappen wird der Volumenstrom bis auf die Winterluftmenge reduziert. Schwerkraftlüftungen werden kleiner dimensioniert. Für den Sommerbetrieb sind dann zusätzliche Lüftungsöffnungen (Fenster, Tore) nötig.

1.4 PC-Programm

Für die Berechnungen des Stallklimas steht ein Programm für Personal-Computer zur Verfügung. Als Eingabewerte werden die Tierarten, Tierzahlen und Angaben über die Bauhülle des Stalles benötigt. Das Programm berechnet hierfür ein optimales Stallklima benötigten Luftmengen und die Wärmebilanz des Stalles.

Das Programm erlaubt, Werte für beliebige Aussentemperaturen und relative Luftfeuchtigkeiten zu bestimmen. Ebenso können die Stallbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) und die Wärmeabgabe der Tiere verändert werden. Eingaben und Resultate lassen sich ausdrucken und für spätere Verwendungen abspeichern.

Im weiteren können die Veränderung der Wärmebilanz durch den Einsatz eines Wärmetauschers und die mögliche Heizleistung einer Wärmepumpe berechnet werden.

Die detaillierte Beschreibung des Programms befindet sich in Anhang 1.

Wärmeabgabe der Tiere

Die Wärmeabgabewerte in der Schweizerischen Stallklimanorm entsprechen in vielen Fällen nicht mehr der heutigen Realität. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zum Beispiel bei Milchkühen mit Milchleistungen von lediglich acht Litern pro Tag gerechnet wurde. Der jüngste Entwurf der DIN-Norm 18910 geht von 15 Litern pro Tag aus. Das PC-Programm und die Berechnungen in dieser Dokumentation basieren auf dem CIGR-Berechnungsverfahren von 1984, welches die Grundlage sowohl für die deutsche wie für die österreichische Norm darstellt.

Beispiele zur Stallklimaberechnung

Stallart	Warmstall	Kaltstall
Höhe über Meer(m)	1350	480
Grundfläche (m ²)	128	45
Tierbestand	15 Milchkühe 20 Aufzucht kälber	9 Mast- rinder
Stalltemperatur (°C)	10	-5
Relative Luftfeucht. (%)	80	90
Aussentemperatur (°C)	-20	-11
Relative Luftfeucht. (%)	100	80
Gesamtwärme (W)	21125	7470
Wasserdampfabgabe (g/h)	7846	2418
Kohlendioxidabgabe (l/h)	3443	1218
Luftmengen: Winter (m ³ /h)	1158	1738
Sommer (m ³ /h)	12710	4018
Fühlbare Wärme (W)	16275	5975
Transmissionsverluste (W)	4764	2 2 6 8
Lüftungsverluste (W)	10229	3632
Wärmebilanz (W)	1282	75

(Richtwerte für die zu wählenden relativen Luftfeuchtigkeiten sind im Anhang 1 zu finden.)



2 Wärmepumpen

2.1	Funktionsprinzip der Wärmepumpe	14
2.1.1	Was ist unter einer Wärmepumpe zu verstehen?	14
2.1.2	Definition der Begriffe	16
2.1.3	Benennung der Wärmepumpen	17
2.2	Systemübersicht	18
2.2.1	Luft/Wasser-WP und Wasser/Wasser-WP	18
2.2.2	Umluft-Wärmerückgewinnung	21
2.2.3	Fortluft-Wärmerückgewinnung	21
2.3	Arbeitszahl und Energiefluss	22
2.3.1	Jahres-Arbeitszahl β	22
2.3.2	Energiefluss	24
2.4	Werkstoffe	25
2.4.1	Wärmepumpe	25
2.4.2	Gehäuse	25
2.4.3	Ventilatoren	25
2.4.4	Verdampfer	25
2.4.5	Elektrische Schalt- und Regelgeräte	25
2.4.6	Stall-Absorber (Kollektoren)	25
2.4.7	Luftkanäle	25
2.4.8	Reinigung	26
2.5	Wärmenutzung	27
2.5.1	Allgemeines	27
2.5.2	Wärmeleistungsbedarf	27
2.5.3	Wärmeverteilung	28
2.5.4	Wärmespeicher	28
2.5.5	Regelung	29
2.5.6	Warmwasser	29
2.5.7	Jahresenergiebedarf	30
2.6	Investitions- und Betriebskosten	30
2.6.1	Investitionskosten	30
2.6.2	Betriebskosten	31
2.7.	Planung	31
2.8	Anlagenbeispiele	33
2.8.1	Kuh- und Rinderställe	33
2.8.2	Mastschweine­ställe	34

2 Wärmepumpen

2.1 Funktionsprinzip der Wärmepumpe

2.1.1 Was ist unter einer Wärmepumpe zu verstehen?

Eine Wärmepumpe ist eine Kältemaschine, die zur Nutzung des bei höherer Temperatur abgegebenen Wärmestromes betrieben wird. Nach VDI ist der Ausdruck «Kältemaschine» als Gattungsbegriff für thermische Maschinen zu verstehen, die bei niedriger Temperatur einen Wärmestrom aufnehmen und mittels eines zugeführten Energiestromes bei höherer Temperatur wieder abgeben.

Die Kältemaschine kann auf drei verschiedene Arten genutzt werden:

- Als Kühlmaschine
- Als Wärmepumpe
- Als Kühlmaschine und als Wärmepumpe mit Doppelnutzung (gleichzeitig oder alternierend)

Am interessantesten sind jene Anwendungen, die gleichzeitig sowohl den Kühleffekt als auch die anfallende Wärme nutzen, wie z.B:

- Raumkühlung verbunden mit Wassererwärmung
- Raumentfeuchtung verbunden mit Wassererwärmung
- Weinkellerkühlung und Trocknung verbunden mit Wassererwärmung.
- Milchkühlung verbunden mit Wassererwärmung und/oder Raumheizung
- Stallkühlung bzw. Entfeuchtung verbunden mit Wassererwärmung bzw. Raumheizung (z.B. Wohnung oder Zuchtstall)

Kältemittel

Innerhalb der Wärmepumpe zirkuliert das Arbeitsmittel, Kältemittel genannt, z.B. florierte Kohlenwasserstoffe wie R11, R12, R22, R500 und R502 oder das altbekannte Ammoniak (NH₃). Die Kältemittel R11, R12, R500, R502 sollten für Neuanlagen nicht mehr verwendet werden, da sie ein sehr hohes Ozon-Gefährdungspotential aufweisen und voraussichtlich demnächst verboten werden. Als

zur Zeit günstigste <<Übergangslösung» ist R22 zu empfehlen.

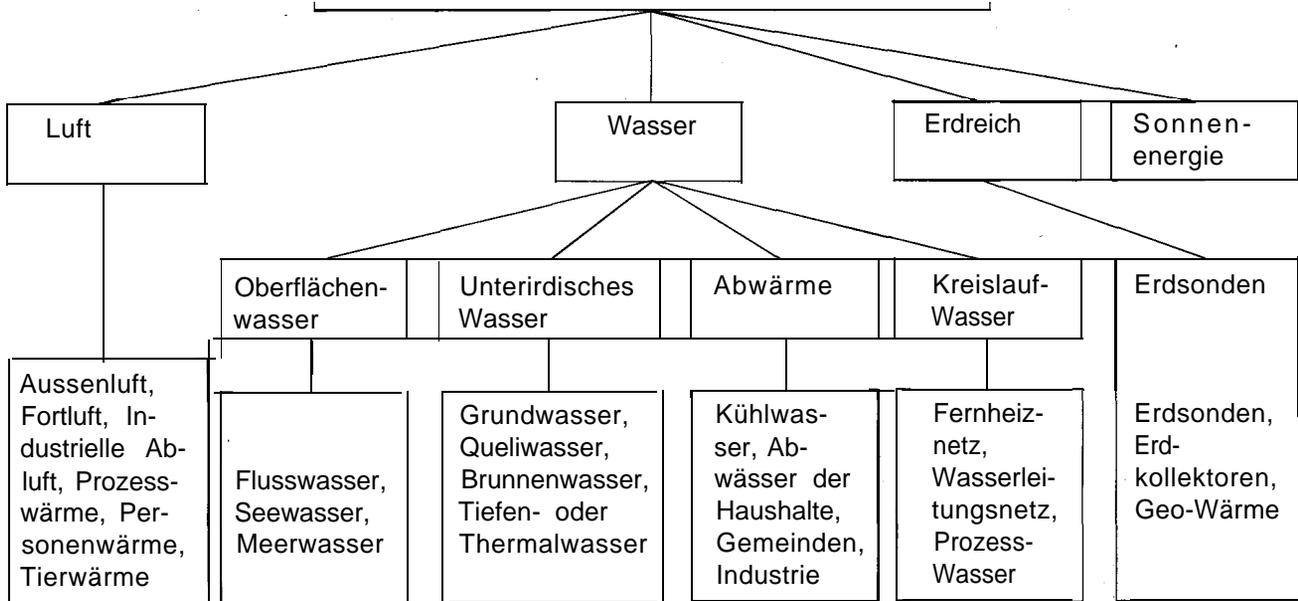
Wärmeträger

Als Wärmeträger kommen Wasser, Luft oder Wasser-Glykolgemisch in Frage.

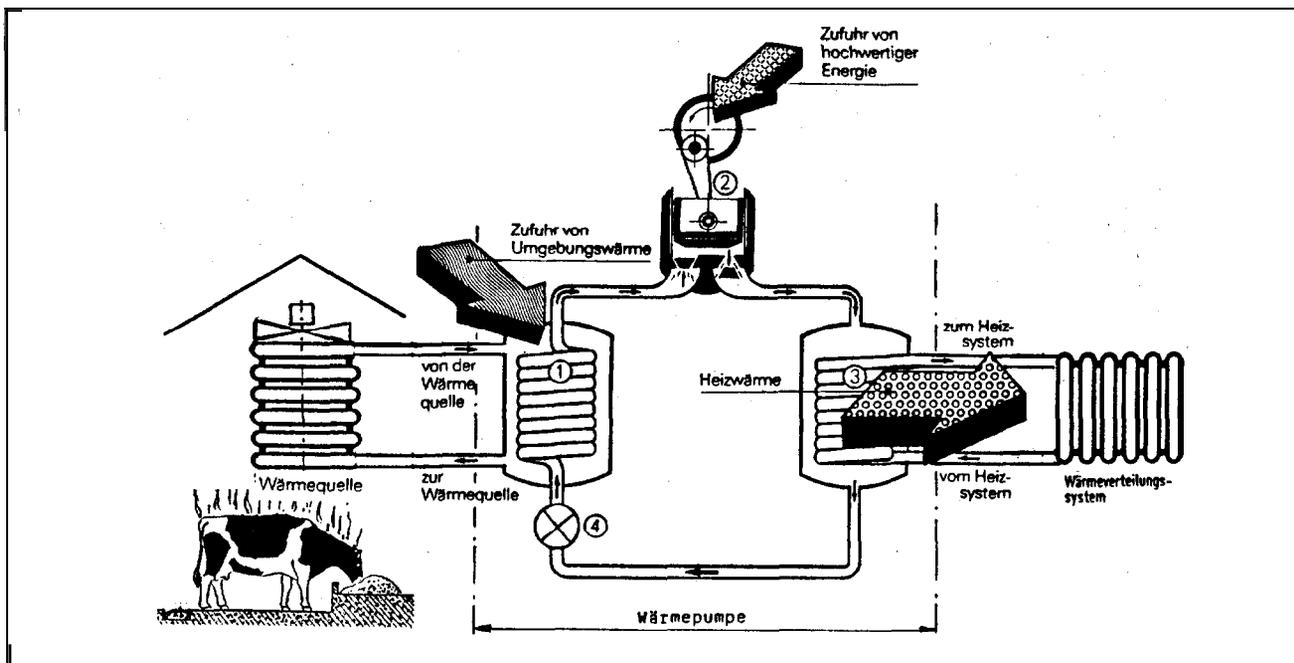
Wärmequelle

Gemäss nachfolgender Tabelle stehen für Wärmepumpen die verschiedensten Wärmequellen zur Verfügung.

Wärmequellen für Wärmepumpen-Anlagen



Funktionsprinzip und Hauptbestandteile einer Kompressor-Kältemaschine

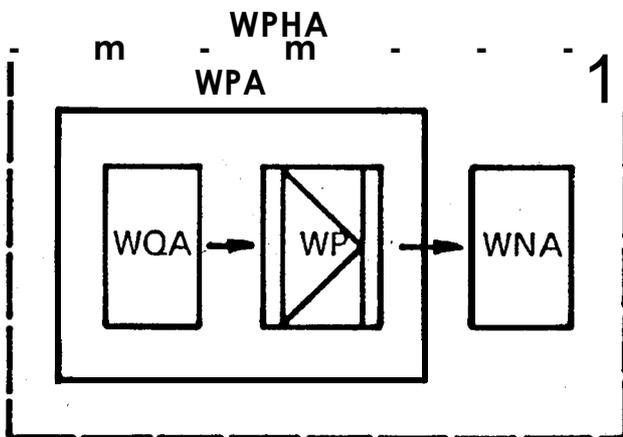


- 1: Verdampfer zur Aufnahme von Wärme bei niedriger Temperatur
- 2: Kompressor zur Verdichtung des Kältemitteldampfes
- 3: Verflüssiger (Kondensator) zur **Abgabe** von Wärme auf erhöhtem Temperaturniveau
- 4: Drosselventil zur Druckreduktion und Dosierung der Kältemittelmenge

2.1.2 Definition der Begriffe

Wenn man von Wärmepumpen, Wärmequellen, Wärmepumpenanlagen etc. spricht, ist es nützlich, sich über die heute gebräuchlichen Definitionen der Begriffe nach DIN 8900 Klarheit zu verschaffen. Dies ist insbesondere wichtig, um die Leistungs- bzw. Arbeitszahl einer Anlage exakt definieren zu können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Heizungs-Umwälzpumpe für die Wärmenutzungsanlage bei Systemvergleichen weggelassen werden kann, da diese unabhängig von der Art der Wärmeproduktion für alle Systeme benötigt wird.

Definition der Begriffe nach Din 8900



- WQA: Wärmequellenanlage
- WP: Wärmepumpe
- WPA: Wärmepumpenanlage
- WNA: Wärmenutzungsanlage
- WPHA: Wärmepumpenheizungsanlage

2.1.3 Benennung der Wärmepumpen

Die Benennung von Wärmepumpen und Wärmepumpenanlagen wird nach DIN 8900 so gebildet, dass an erster Stelle der Wärmeträger der kalten Seite bzw. die Wärmequelle und an zweiter Stelle stets der Wärmeträger der warmen Seite genannt wird.

Benennung von Wärmepumpen und Wärmepumpenanlagen nach DIN 8900

Wärmequelle	Kalte Seite	Warme Seite	Benennung der Wärmepumpe (WP)	Benennung der Wärmepumpenanlage (WPA)
Erdreich	Sole	Luft	Sole/Luft-WP	Erdreich/Luft-WPA
Erdreich	Sole	Wasser	Sole/Wasser-WP	Erdreich/Wasser-WPA
Sonne	Sole	Luft	Sole/Luft-WP	Solar/Luft-WPA
Sonne	Sole	Wasser	Sole/Wasser-WP	Solar/Wasser-WPA
Wasser-	Wasser	Wasser	Wasser/Wasser-WP	Wasser/Wasser-WPA
Wasser	Wasser	L u f t	Wasser/Luft-WP	Wasser/Luft-WPA
Luft	Luft	Wasser	Luft/Wasser-WP	Luft/Wasser-WPA
Luft	Luft	Luft	Luft/Luft-WP	Luft/Luft-WPA

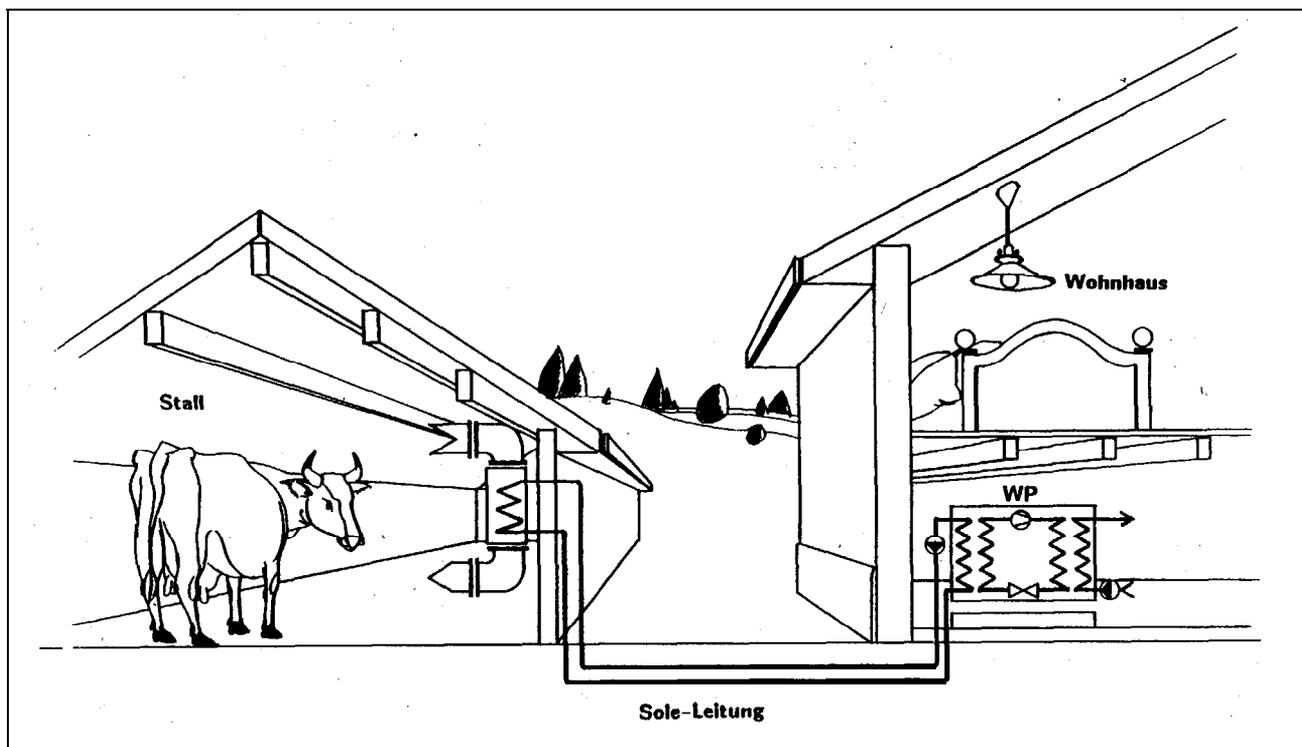
2.2 Systemübersicht

2.2.1 Luft/Wasser-WP und Wasser/Wasser-WP

In landwirtschaftlichen Betrieben kommen meist Luft/Wasser-WP, bzw. Wasser/Wasser-WP in folgender Bauweise in Frage:

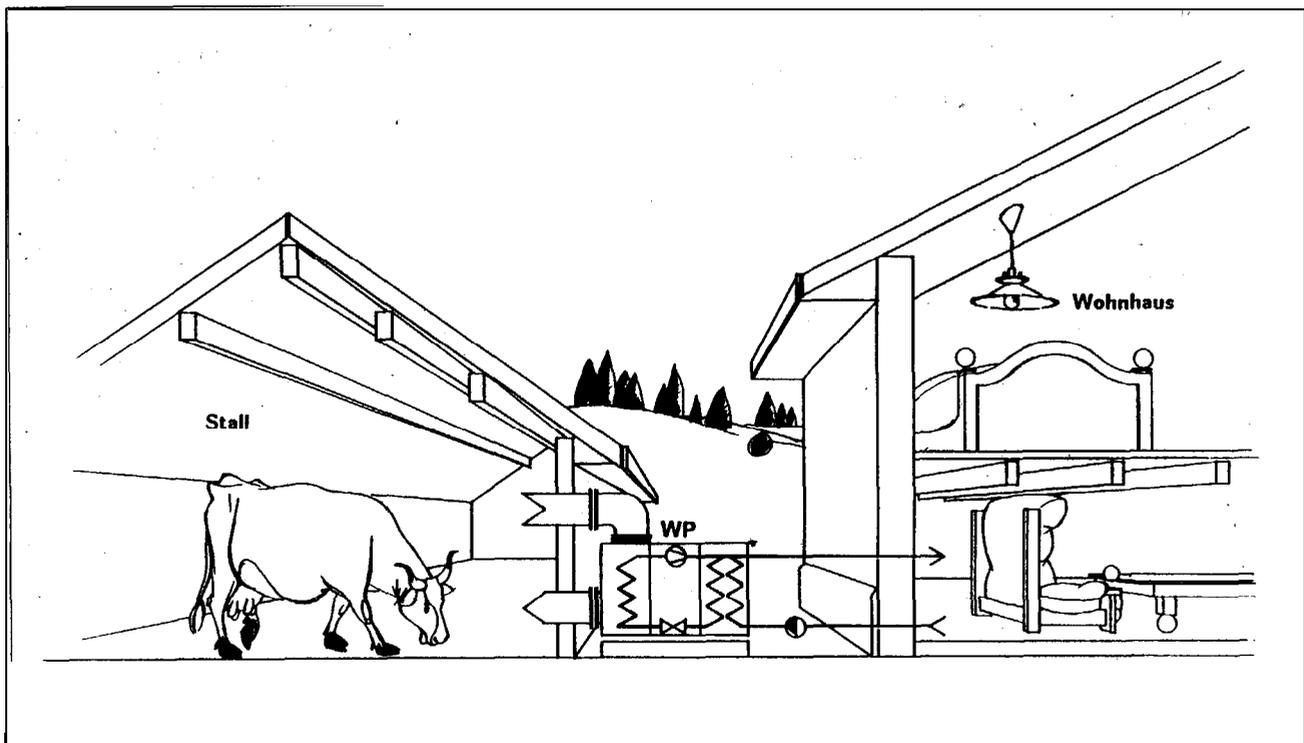
- Wasser/Wasser-WP in kompakter Bauweise (Absorberanlage, Abb. A)
- Luft/Wasser-WP in kompakter Bauweise (Kompaktanlage, Abb. B)
- Luft/Wasser-WP in Split-Bauweise (Splitanlage, Abb. C)

Bei der Wasser/Wasser-WP mit Stall-Absorber (Kollektor) ist die Wärmequelle und die Wärmepumpe mit Glykol-Leitungen verbunden. Sie ist speziell gut geeignet, wenn grössere Distanzen zu überbrücken sind. Die zusätzliche Temperaturstufe (Wärmeübergang Stallluft-Glykol) verschlechtert die Arbeitszahl der Wärmepumpe. Als Wärmepumpe kann eine normale, handelsübliche WP verwendet werden, da keine besondere Korrosionsgefahr besteht.



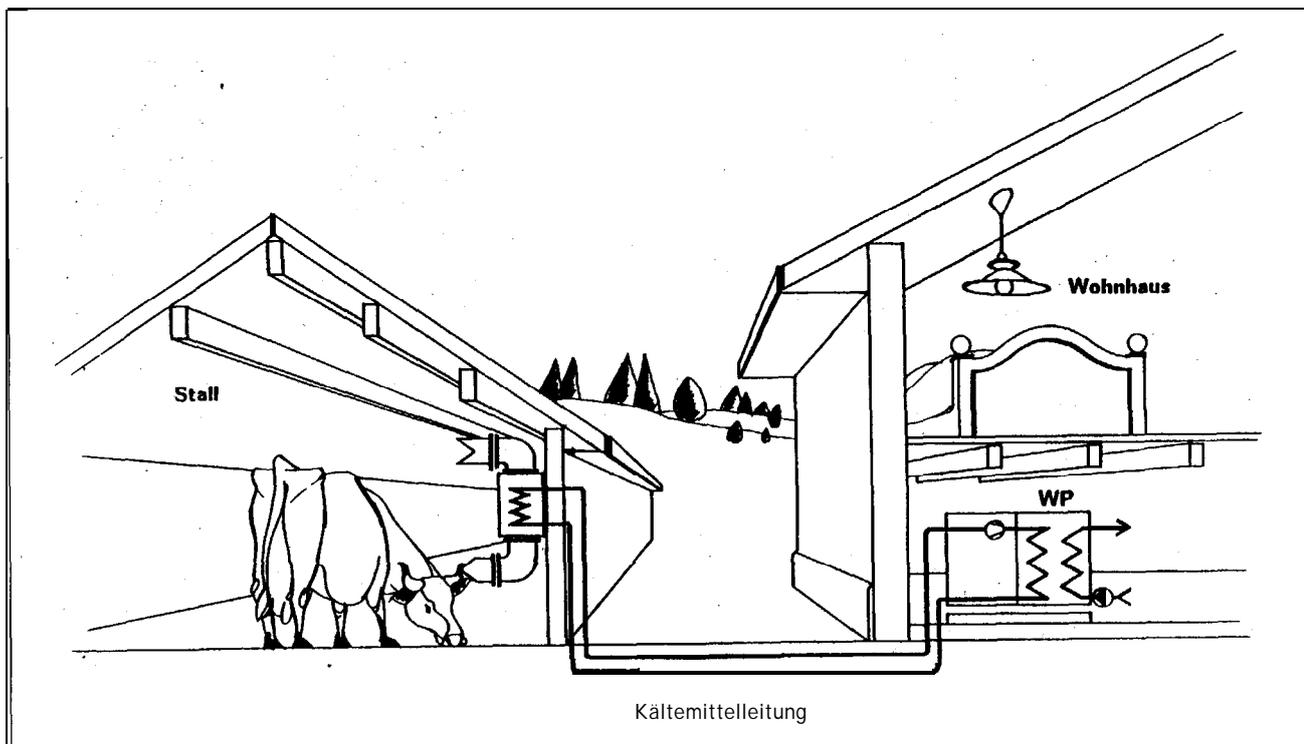
A: Stallabwärmennutzung mit einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe (Absorberanlage)

Die Luft/Wasser-Wärmepumpe in kompakter Bauweise kann im Stall selbst oder in einem Nebenraum aufgestellt werden. Sie lässt sich sowohl mit Umluft als auch mit Fortluft betreiben. Bei Aufstellung im Stall ist der Werkstoffwahl des ganzen Gerätes in Bezug auf Korrosion äusserste Aufmerksamkeit zu schenken, während bei Aufstellung in einem Nebenraum vorwiegend die luftführenden Teile im Gerät gefährdet sind.



B: Stallluft/Wasser-Wärmepumpe mit Direktverdampfer (Kompaktanlage)

Die Luft/Wasser-Wärmepumpe in Split-Bauweise kann sowohl mit Umluft als auch mit Fortluft betrieben werden. Der Verdampfer wird mit der Verflüssiger-Einheit durch Kältemittelleitungen verbunden. Die Distanz sollte 50 Meter nicht übersteigen. Kältemittelleitungen sind aufwendiger zu verlegen als Glykol-Leitungen. Sie sind auch anfälliger auf Undichtigkeiten. Bei einem Leck kann rasch die ganze Kältemittelfüllung verloren gehen. Aus ökologischen Gründen sollte dieser Typ möglichst nicht mehr installiert werden.



C: Stallluft/Wasser-Wärmepumpe mit Direktverdampfer in Split-Bauweise (Splitanlagen)

2.2.2 Umluft-Wärmerückgewinnung

Bei der Umluft-Wärmerückgewinnung wird die Stallluft im Verdampfer abgekühlt und wieder dem Stall zugeführt. Durch die Abkühlung kondensiert Wasserdampf und damit auch Ammoniak, was die Luftfeuchtigkeit senkt und das Stallklima verbessert.

Die Umluft wird um 5 bis 8°C abgekühlt, womit pro m³ Luft bis zu zwei Gramm Wasser auskondensieren.

Da der Stallluft Wärme entzogen wird, kann die Umluft-Wärmerückgewinnung nur dort eingesetzt werden, wo ein Wärmeüberschuss vorhanden ist. Dies ist in der Regel in Ställen mit niedrigen Temperaturen (geringe Transmissionsverluste) der Fall. Insbesondere sind Kuh- und Rinderställe für die Umluft-Wärmerückgewinnung geeignet.

Für die Frischluftzufuhr ist eine separate Lüftung erforderlich (z.B. Schwerkraft-Lüftung in Kuhställen). Diese ist so zu dimensionieren, dass der CO₂-Gehalt 0,35% (stundenweise 0,5%) nicht übersteigt. Da ein Teil des Wasserdampfes im Verdampfer kondensiert, ist die Feuchtigkeit in diesen Ställen normalerweise kein Problem.

2.2 Fortluft-Wärmerückgewinnung

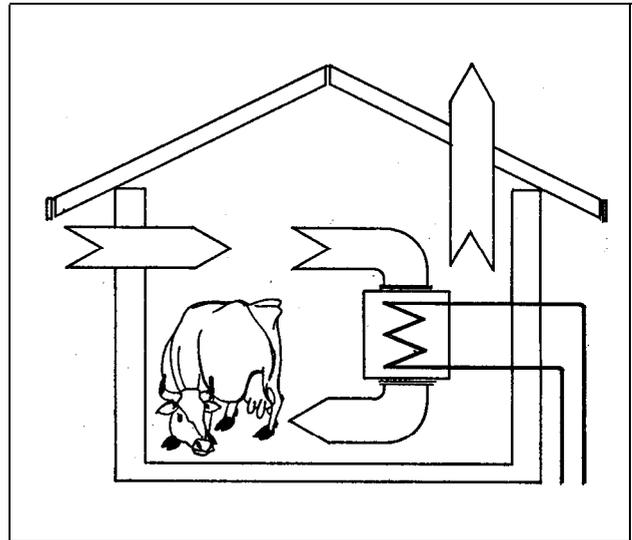
In Ställen mit hohen Innentemperaturen (Schweine- und Geflügelställe) wird das Fortluft-Verfahren angewendet, weil damit mehr Wärme zurückgewonnen werden kann. Falls der Stall ein Wärmemanko aufweist und somit beheizt werden müsste, ist es sinnvoll, den Einsatz von Wärmetauschern zu prüfen (vgl. Kap. 3).

Die warme Stallabluft wird bei diesem Verfahren im Verdampfer bis auf rund 5°C abgekühlt und an die Aussenluft abgegeben.

Da für die Wärmerückgewinnung nur Fortluft verwendet wird, hat das Verfahren keinen Einfluss auf das Stallklima.

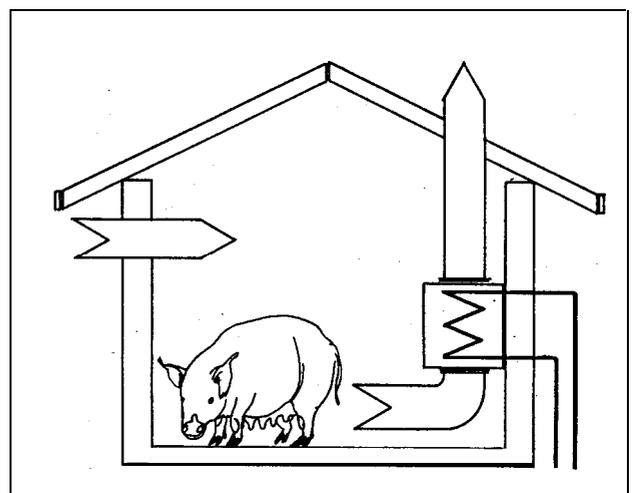
Die Fortluft-Wärmerückgewinnung kommt vor allem in Schweinemastställen zum Einsatz. Der Verdampfer wird direkt im Fortluftstrom eingebaut.

Umluft-Wärmerückgewinnung



Die Stallluft wird im Wärmetauscher abgekühlt und wieder in den Stall zurückgeführt.

Fortluft-Wärmerückgewinnung



Die Fortluft (Stallabluft) wird nach dem Wärmetauscher nach aussen abgeführt.

Es ist auch möglich, Umluft- und Fortluftverfahren zu kombinieren.

2.3 Arbeitszahl und Energiefluss

2.3.1 Jahres-Arbeitszahl β

Für die Planung einer Wärmepumpenanlage sind die Jahres-Arbeitszahl β und die Leistungszahl ϵ die entscheidenden Grössen.

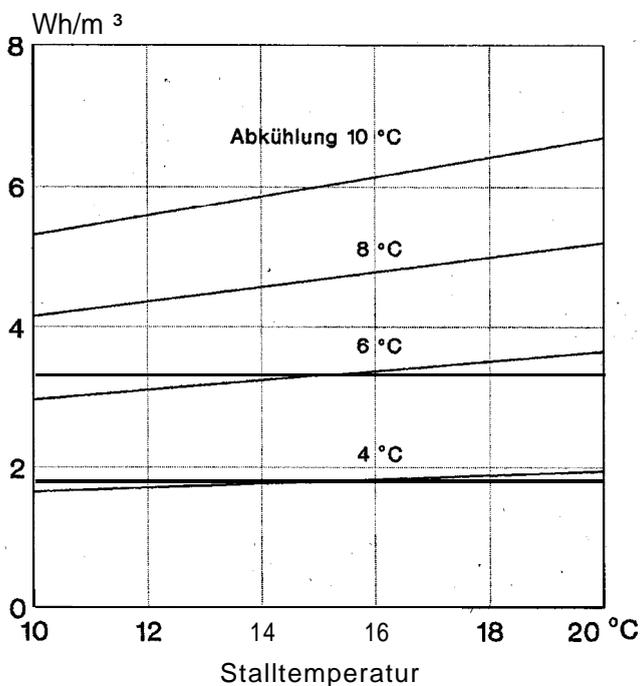
Die Jahres-Arbeitszahl β ist das Verhältnis zwischen der an die Wärmenutzungsanlage abgegebenen Nutzenergie, und der total aufgewendeten kostenpflichtigen Energie über ein Jahr. Eine Jahres-Arbeitszahl von z.B. drei bedeutet, dass mit einer Kilowattstunde Strom drei Kilowattstunden Wärme erzeugt werden können.

Dabei ist der Energiebedarf aller Hilfsaggregate, wie Ventilatoren, Pumpen, Verdichter-Kurbelwellenheizung und Steuerung ebenfalls als Aufwand zur Verdichter-Energie hinzuzurechnen. Der Energiebedarf für die Umwälzpumpe der Wärmenutzungsanlage bleibt unberücksichtigt.

Die Jahres-Arbeitszahl β ist von der Quellen- und der Heizungsvorlauftemperatur abhängig. Je höher die mittlere Quellen- und je tiefer die mittlere Heizungsvorlauftemperatur ist, desto grösser ist die Jahres-Arbeitszahl. Oder anders ausgedrückt: Je kleiner der Temperaturhub von der kalten zur warmen Seite ist, desto grösser ist die Arbeitszahl. Im weiteren wirken sich die Qualität und die Dimensionierung der Einzelteile einer Wärmepumpenheizanlage auf die Jahres-Arbeitszahl aus.

Die Tabelle zeigt mittlere Jahres-Arbeitszahlen der Wärmepumpenheizanlage für verschiedene Stall- und Heizungsvorlauftemperaturen.

Die Leistungszahl ϵ entspricht in etwa der Arbeitszahl in einem bestimmten Zeitpunkt (Momentanwert), wobei die Hilfsaggregate nicht berücksichtigt werden. Da die Quellentemperatur in der landwirtschaftlichen Anwendung (im Vergleich z.B. zu einer Aussenluft-Wärmepumpe) während der Heizsaison nicht stark schwankt, weichen die Leistungszahlen nicht wesentlich von den Arbeitszahlen ab.



Wärmegewinnung in Abhängigkeit der Stalltemperatur und der Abkühlung der Stallluft

Vorlauftemperatur der Heizung				
Mittlere Stalltemperatur	40°C	45°C	50°C	55°C
5°C	2,9-3,2	2,6-2,9	2,3-2,6	2,0-2,3
10°C	3,2-3,6	2,9-3,2	2,6-2,9	2,3-2,6
15°C	3,6-4,0	3,2-3,6	2,9-3,2	2,6-2,9
20°C	4,0-4,4	3,6-4,0	3,2-3,6	2,9-3,2
25°C	4,4-4,8	4,0-4,4	3,6-4,0	3,2-3,6

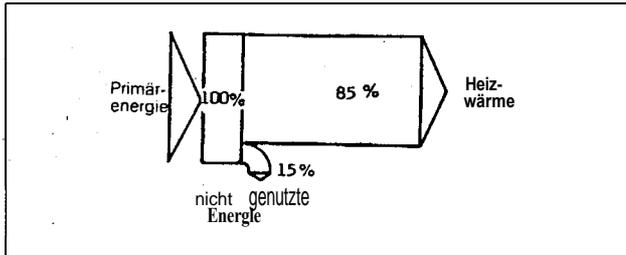
Jahres-Arbeitszahl β
 (Bestimmt über eine definierte Zeitperiode, z.B. ein Jahr)

$$\beta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{Kostenpflichtige Energie}}$$

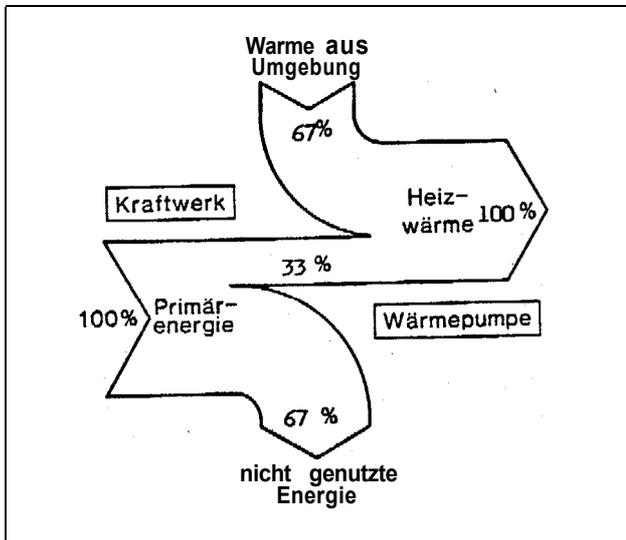
Beispiel

Jahresnutzenergie eines Bauernhauses: 24000 kWh
 Kostenpflichtige Energie (Strom): 6667 kWh
 Jahres-Arbeitszahl β : 3,5

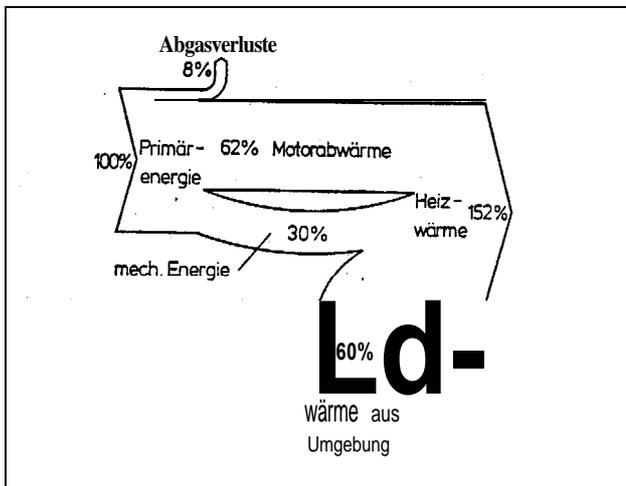
jahres-Arbeitszahlen β der Wärmepumpenheizanlage WPHA in Abhängigkeit der mittleren Stalltemperatur und der Heizungsvorlauftemperatur. Die niedrigeren Werte gelten eher für Anlagen mit Zwischenkreis-Wärmetauscher (Anlagen mit Glykol-Kreislauf), die höheren eher für Anlagen mit Direktverdampfern.



A: Konventioneller Wärme-Erzeuger (Öl-Heizkessel)



B: Energieflussdiagramm einer Elektromotor-Wärmepumpe mit thermisch erzeugter Elektroenergie



C: Energieflussdiagramm einer Gasmotor- Wärmepumpe mit Abwärme-Nutzung (Wärme-Kraftkuppelung)

2.3.2 Energiefluss

Es ist sinnvoll, die Betrachtungen des Wärmepumpenprozesses unter Einbezug des Primärenergie-Verbrauchs darzustellen. Aus Abbildung A ist ersichtlich, dass bei einer konventionellen Ölheizung nur rund 85% der eingesetzten Primärenergie genutzt werden kann.

Aus Abbildung B geht hervor, dass bei der Produktion von Elektroenergie mittels thermischer Kraftwerke nur rund ein Drittel der Primärenergie genutzt wird, während die restlichen zwei Drittel bei den meisten thermischen Kraftwerken (AKW) nicht oder nur zu einem kleinen Teil genutzt werden. Im Gegensatz zu einer Elektroheizung werden beim Einsatz einer Wärmepumpe die verlorenen zwei Drittel wieder «zurückgeholt».

Bei der hydraulischen Erzeugung von Elektroenergie wird die Primärenergie (Wasserkraft) wesentlich besser genutzt. Zur richtigen Beurteilung der Situation ist zu berücksichtigen, dass die Elektroenergie in der Schweiz zu ca. 60% aus Wasserkraftwerken und zu ca. 40% aus thermischen Kraftwerken (meist AKW s) stammt.

Wärme-Kraftkopplungsanlagen verbunden mit Wärmepumpen vermögen gegenüber der eingesetzten Primärenergie etwa 50% mehr Nutzenergie zu erzeugen (Abb. C). In Bezug auf die Nutzenergie ist der Dieselmotor dem Gasmotor etwas überlegen. Bezüglich der Produktion von Luft-Schadstoffen ist heute dagegen der Gasmotor besser. Beide Lösungen produzieren aber pro kWh Nutzenergie mehr Luftschadstoffe (insbesondere CO_n, welches den Treibhauseffekt fördert) als die Elektrowärmepumpe mit der heutigen Stromproduktion.

2.4 Werkstoffe

2.4.1 Wärmepumpe

Die Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Werkstoffe sind bei landwirtschaftlich eingesetzten Geräten ganz eindeutig höher als bei normalen Wärmepumpen.

Generell kann man aber sagen, dass die Korrosionsprobleme bei geeigneter Wahl der Werkstoffe bzw. des Schutzanstriches bewältigbar sind. Anlagen in Schweineställen und vor allem in Geflügelställen stellen infolge der höheren Schwefelwasserstoff-, Ammoniak und Staubanteile in der Luft höhere Anforderungen als solche in Rindviehställen.

2.4.2 Gehäuse

Als Werkstoff für das WP-Gehäuse hat sich im allgemeinen sendzimir-verzinktes Stahlblech mit einem zusätzlichen Lacküberzug bewährt.

2.4.3 Ventilatoren

Öfters werden Radial-Ventilatoren aus sendzimir-verzinktem Stahlblech eingesetzt. Wenn diese eine feine Beschaukelung aufweisen, führt dies vor allem bei ungenügender Filtrierung der Luft zu Staubaufbauten und dadurch zu Unwucht und Lagerschäden. Die Räder sollten zusätzlich lackiert sein.

Axialventilatoren sind, etwas weniger staubanfällig. Laufräder aus Aluminium sollten ebenfalls lackiert werden. Sehr gut bewährt haben sich Laufräder aus Kunststoff.

2.4.4 Verdampfer

Gewöhnliche Kupferrohr-Verdampfer mit aufgesetzten Aluminiumlamellen sollten in der Stallluft vor allem wegen des Ammoniaks (Korrosion) nicht verwendet werden (obwohl einige Fälle bekannt sind, wo bisher keine Probleme auftraten). Als Minimalanforderung sollten die Aluminiumlamellen kunststoffbeschichtet sein.

Auch bei unlackierten Kupferrohr-Verdampfern mit Kupferlamellen kann Korrosion in Zusammenhang mit Kondenswasser und Ammoniak aus der Stallluft entstehen. Eine elektrophoretische Lackierung oder Vollbad-Verzinnung bietet bei genügen-

der Dicke der Schicht guten Schutz. Als Mindestanforderung sind Kupferrohre mit im voraus lackierten Aluminium-Lamellen zu bezeichnen.

Besser ist ein Verdampfer mit Kupferrohren und Alu-Lamellen, der in zusammengebautem Zustand elektrophoretisch lackiert wurde, damit kein Kondenswasser zwischen Alu-Lamelle und Kupferrohr dringen kann. Damit die Reinigung mit einem Hochdruck-Reinigungsgerät vorgenommen werden kann, sind dicke, stabile Lamellen (mindestens 0,4 mm) nötig.

Die sicherste, aber auch teuerste Lösung ist ein Verdampfer aus Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl. Zu beachten ist jedoch der wesentlich schlechtere Wärmedurchgang und die daraus resultierende Vergrößerung der Verdampfer-Oberfläche, die meistens auch zu etwas schlechteren Jahres-Arbeitszahlen führt (höherer luftseitiger Druckverlust und tiefere Verdampfungstemperaturen).

2.4.5 Elektrische Schalt- und Regelgeräte

Obwohl viele dieser Elemente gegen Stallluft resistent sind, sollten die Teile möglichst ausserhalb des Stalles plaziert werden.

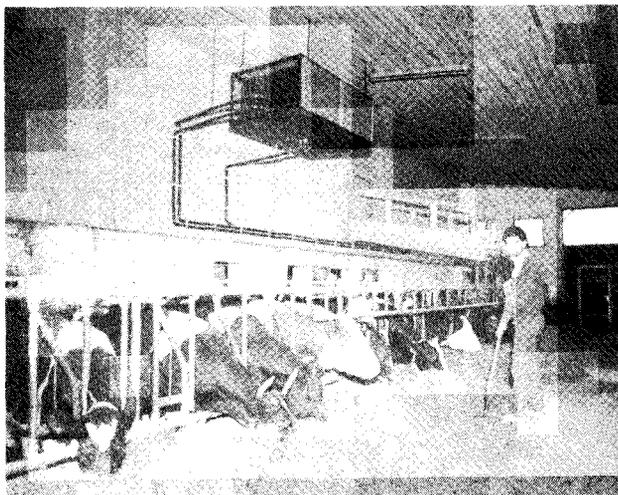
2.4.6 Stall-Absorber (Kollektoren)

Für Stall-Absorber haben sich vor allem Konstruktionen aus lackierten Aluminiumblechen, ferner Kunststoff-Platten sowie Register oder Wickel aus Kunststoffrohren durchgesetzt. Nichtrostender Stahl ist gut geeignet, aber sehr teuer. Zu beachten ist beim nichtrostenden Stahl und insbesondere bei den Kunststoffen der wesentlich schlechtere Wärmedurchgang. Wichtig ist, dass sich der Werkstoff gut für die periodische Reinigung eignet.

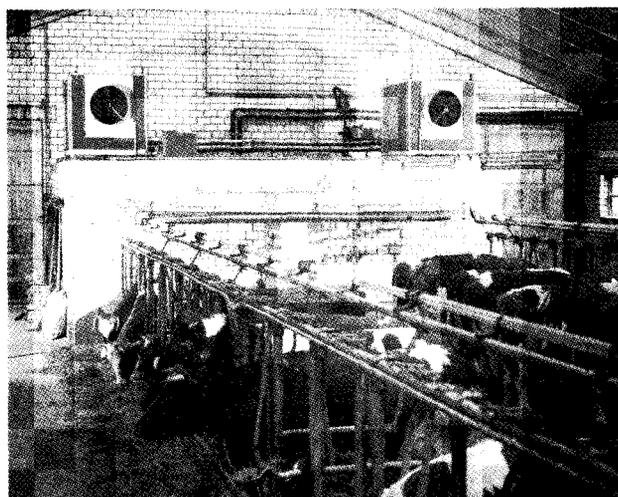
2.4.7 Luftkanäle

Für Luftkanäle werden verzinktes Stahlblech, Holz, Zement- und Gipsplatten sowie alubeschichtete Polyurethan-Schaumplatten verwendet. Ebenso lassen sich dünne Kunststoff-Folien als Luft-Verteilschläuche einsetzen. Zur Anwendung kommen ferner Spiro-Rohre und drahtspiralenverstärkte Flex-Schläuche. Nichtbrennbaren Werkstoffen ist der Vorzug zu geben.

Die Kanäle sollten immer möglichst kurz und gut reinigbar sein. Der Luftaustritt ist so zu gestalten,



Umluft-Absorber, der bezüglich Reinigung ungünstig angeordnet ist



Umluft-Absorber mit günstigen Reinigungsmöglichkeiten

dass die Tiere nicht in der Zugluft stehen. Auf kleine Luftgeschwindigkeiten (maximal 4 m/s) ist aus energetischen Gründen zu achten.

2.4.8 **Reinigung**

Die Stallluft ist je nach Tier- und Fütterungsart sowie Aufstallung stark mit Staub belastet. Im Verdampfer lagert sich dieser Staub am Wärmetauscher ab und bildet zusammen mit dem kondensierten Wasserdampf einen klebrigen Brei.

Dies erfordert eine regelmässige Reinigung des Wärmetauschers. Häufig wird sie mit einem Hochdruck-Reinigungsgerät vorgenommen. Es ist wichtig, dass der Verdampfer gut zugänglich und an einem Ort plaziert ist, wo mit Wasser hantiert werden kann. Die Reinigungsintervalle betragen zwei bis drei Wochen.

Bei Direktverdampfern wird meistens ein Filter in den Luftstrom gebaut. Die Gewebefiltermatten halten den Staub zurück, so dass nur etwa einmal jährlich eine Reinigung des Wärmetauschers nötig ist. Die Filtermatten müssen ein- bis zweimal pro Woche ausgetauscht und gereinigt werden (Abspritzen von Hand oder mit der Waschmaschine reinigen).

Fest eingebaute Reinigungseinrichtungen (z.B. Düsen) haben sich in vielen Fällen nicht bewährt, da zur Entfernung der klebrigen Staubmasse ein zu geringer Wasserdruck vorhanden ist. Im weiteren können bei kalkhaltigem Wasser die Düsen verstopfen.

2.5 Wärmenutzung

2.5.1 Allgemeines

Als Wärmenutzung kommt in erster Linie die Beheizung des Wohnhauses in Frage, weil in landwirtschaftlichen Betrieben dort der grösste Wärmebedarf vorhanden ist.

Für die Beheizung des Wohnhauses werden Stallluft-Wärmepumpen in der Regel monovalent eingesetzt. Das bedeutet, dass die Wärmepumpe der einzige Wärmeerzeuger ist. Im Gegensatz zu Außenluft-Wärmepumpen ist die Temperatur der Quelle (Stallluft) während des ganzen Jahres hoch, woraus eine gute Jahres-Arbeitszahl resultiert.

Weitere Möglichkeiten sind die Erzeugung von Brauchwarmwasser oder die Beheizung von Abferkelställen. Für die Heutrocknung eignen sich Stallluft-Wärmepumpen in der Regel nicht, weil die Wärmeleistung der Stallluft zu gering ist.

2.5.2 Wärmeleistungsbedarf

Der Wärmeleistungsbedarf von Wohnhäusern kann mit Richtwerten für die spezifische Heizleistung (W/m^2) abgeschätzt werden (vgl. Tabelle). Die Werte hängen insbesondere von der Grösse, der Lage und der Wärmedämmung des Gebäudes ab. Als Bezugsgrösse ist die Energiebezugsfläche eingesetzt, welche sich aus der Summe der beheizten Bruttogeschossflächen ergibt.

Die benötigte Heizleistung der Wärmepumpe ergibt sich aus der Multiplikation des Richtwerts mit der Energiebezugsfläche. Leistungsreserven sind bei der Dimensionierung zu vermeiden, da sie bei Wärmepumpen sehr kostspielig sind.

Etwas genauere Werte erhält man bei bestehenden Gebäuden, wenn der Energieverbrauch bekannt ist. Die Abbildung gibt Richtwerte für eine Ölheizung mit und ohne Warmwasseraufbereitung. Überschlagsmässig ergibt sich die benötigte Heizleistung der Wärmepumpe, indem der Jahresölverbrauch im m^3 mit vier multipliziert wird. (Beispiel: Jahresölverbrauch = 3000 Liter = $3 m^3$, Heizleistung der Wärmepumpe: $3 \times 4 = 12 kW$)

Diese Abschätzungsmethoden eignen sich für ein

Spezifische Heizleistung	Gebäudeart
80...100 W/m^2	Ältere Bauernhäuser
60... 80 W/m^2	Herkömmlich wärme-gedämmte Wohnhäuser
30... 50 W/m^2	Gut wärme-gedämmte Wohnhäuser
Erforderliche Heizleistung = Energiebezugsfläche x spezifische Heizleistung	

Vorprojekt. Für die definitive Projektierung muss der Wärmeleistungsbedarf unbedingt nach SIA 384/2 dimensioniert werden.

2.5.3 Wärmeverteilung

Eine Wärmepumpe arbeitet je besser, desto niedriger die Vorlauftemperatur ist; Sie sollte 50°C nicht übersteigen.

Die Wärme kann sowohl über eine Fussbodenheizung wie auch über Niedertemperatur-Heizkörper an den Raum abgegeben werden. Die Fussbodenheizung ermöglicht die niedrigsten Vorlauftemperaturen, während die Heizkörper schneller auf Fremdwärme (z.B. Sonneneinstrahlung) reagieren können. Die Kombination beider Systeme im selben Heizkreislauf ist möglich.

Probleme können sich ergeben, wenn in einem älteren Gebäude von einer Öl- oder Holzheizung auf eine Wärmepumpe umgestellt wird. In diesem Fall ist genau zu prüfen, ob die eingebauten Heizkörper auch bei maximalen Vorlauftemperaturen von 50°C genügend Wärme an den Raum abgeben. Andernfalls müssen die Heizkörper vergrößert und/oder das Gebäude besser wärmegeämmt werden.

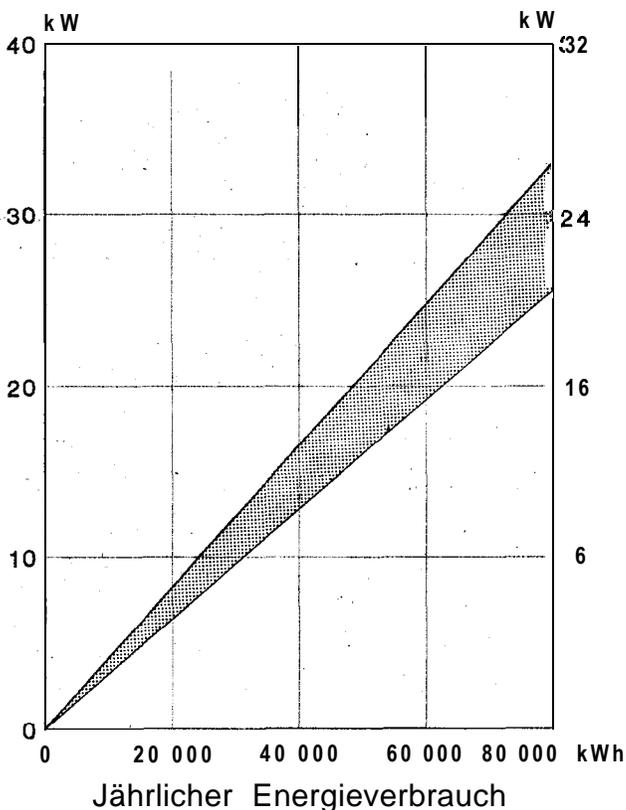
2.5.4 Wärmespeicher

Wärmepumpenanlagen sind grundsätzlich mit oder ohne Speicher möglich. Ein Speicher ist nicht notwendig, wenn das Wärmeabgabesystem träge funktioniert und eine konstante Wassermenge in der Wärmenutzungsanlage garantiert werden kann (keine Thermostatventile). Bodenheizungen sind dazu geeignet. Durch die Wärmespeicherung im Boden kann das häufige Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe vermieden werden.

Für eine hydraulisch und regelungstechnisch einwandfreie Lösung sollte jedoch ein (kleiner) Puffer-Speicher vorgesehen werden. Durch den Einsatz eines Pufferspeichers hat die Wärmepumpe längere Laufzeiten (kein «Takten»), was sich positiv auf die Lebensdauer der Anlage auswirkt. Wichtig ist, dass der Speicher drucklos vom Heizsystem abgekoppelt wird. Auf diese Weise lassen sich Fehlzirkulationen vermeiden.

Ein eigentlicher Tagesspeicher ist nicht zu empfehlen. Bei der kleinen verfügbaren Temperaturdifferenz ergäben sich für die Tag/Nachtspeicherung

Heizleistung einer Wärmepumpe



Notwendige Heizleistung (punktierter Bereich) einer Wärmepumpe in Abhängigkeit des jährlichen Energieverbrauchs einer Öl- oder Gasheizung (Achse links: WP ohne Warmwassererwärmung; Achse rechts: WP mit Warmwassererwärmung)

sehr grosse Speicher. Der Stallwürde während des Tages nicht entfeuchtet. Da während der Nacht in Zukunft immer weniger ein Niedertarif berechnet wird, bringt die Tag/Nachtspeicherung auch vom finanziellen Standpunkt aus nichts.

2.5.5 Regelung

Bei Anlagen ohne Speicher ist der Einsatz einer witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung sinnvoll. Im Teillastbetrieb muss dazu die Leistungsabgabe der Wärmepumpe verändert werden können (wobei aber die Wassermenge der Wärmenutzungsanlage konstant gehalten werden muss). Bei kleineren Anlagen wird üblicherweise eine Zweipunktregelung (Ein/Aus) eingesetzt. Um eine hohe Schalthäufigkeit zu vermeiden, muss das Wärmeabgabesystem genügend träge sein (z.B. Fussbodenheizung).

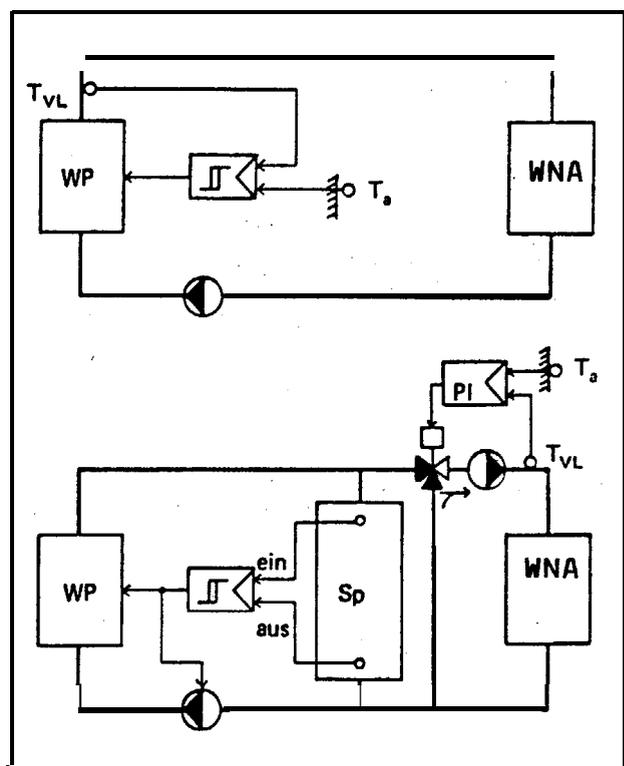
Die Regelung von Anlagen mit Speicher ist relativ kompliziert. Konstant gehaltene Speichertemperaturen vereinfachen das Regelkonzept sowie die Funktionstüchtigkeit, ergeben aber eine etwas niedrigere Jahres-Arbeitszahl. Die Wassermenge der Wärmenutzungsanlage darf in diesem Fall variabel sein (z.B. Thermostatventile).

2.5.6 Warmwasser

Das Brauchwarmwasser kann über das Heizsystem oder separat (z.B. Wärmepumpen- oder Elektro-Boiler) erwärmt werden. Bei Erwärmung mit der Wärmepumpe wird der Boiler nur zu bestimmten Zeiten geladen, während denen die Wärmepumpe auf maximale Temperatur (ca. 55°C) gestellt wird. Dazwischen arbeitet die Wärmepumpe aufgrund der Heizkurve auf niedrigeren Temperaturen. Falls eine Temperatur des Brauchwassers von über 50°C verlangt ist, muss im obersten Drittel des Boilers eine Elektro-Widerstandsheizung eingebaut werden, um das Wasser nachzuwärmen.

Das Warmwasser kann auch ausserhalb der Heizperiode mit der Wärmepumpe erzeugt werden. Die Wärmepumpe wird ein- oder zweimal pro Tag zur Aufladung des Boilers in Betrieb gesetzt. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, dass der Kompressor nicht ein halbes Jahr stillsteht und allenfalls Schaden nimmt.

Steuerung und Regelung der WP



Einfache Steuerung und Regelung einer Wärmepumpenanlage.

Oben: Ohne Speicher, das Wärmeabgabesystem hat eine genügend grosse Wärmespeicherfähigkeit
Unten: Mit Speicher, für jedes Niedertemperatur-Wärmeabgabesystem geeignet.

Eine noch bessere Jahres-Arbeitszahl wird durch die witterungsabhängige Steuerung der Kondensations-temperatur der Wärmepumpe erzielt.

Heizenergiebedarf von Wohnhäusern in MJ/m ² a			
	Ist-Werte	Soll-Werte	Neubauten
Heizung mit Warmwasser	485	400	340
Heizung ohne Warmwasser	425	340	280

Heizenergiebedarf mit und ohne Warmwasseraufbereitung für verschiedene Gebäude (nach SIA 380/1).

Ist-Werte: Bestehende Bauten (1988)
 Soll-Werte: Gute Werte nach einer Sanierung
 Neubauten: Gute Werte für Neubauten

Beispiel Investitionskosten (Preise 1990)	
Stalluft/Wasser/Wärmepumpe	
Leistung CI 5/W50:	14 kW
Stromaufnahme:	4 kW
Wärmepumpe mit Verdampfer und Kondensator für Heizung und Warmwasser, Steuerkasten eingebaut, Abtauautomatik	Fr. 21000.-
35m Transportleitung (montiert)	Fr. 3500.-
Zu- und Abluftleitungen (isoliert) für Umluftbetrieb (montiert)	Fr. 3500.1
Pufferspeicher (75011, Aussen-temperatursteuerung, Ladepumpe und Ladesteuerung)	Fr. 3200.-
Warmwasserspeicher (3001) mit Thermostaten und Ladepumpe	Fr. 3250.-
Inbetriebsetzung	Fr. 1120.-
Total	Fr. 35570.-

Nicht inbegriffen sind bauseitige Leistungen wie Maurer- und Elektroarbeiten, sowie die Einbindung ins zentrale Heizungssystem des Hauses.

2.5.7 Jahresenergiebedarf

Der Jahresenergiebedarf kann aufgrund des bisherigen Verbrauchs (bestehende Bauten) oder aufgrund von Energiekennzahlen abgeschätzt werden. Die Tabelle zeigt den Heizenergiebedarf für Ein- und Zweifamilienhäuser. Die Werte sind auf die Energiebezugsfläche bezogen. Für die Berechnung des Jahresenergiebedarfs sind diese mit der Energiebezugsfläche zu multiplizieren. Der Verbrauch an elektrischem Strom ergibt sich durch Division des Jahresenergieverbrauchs durch die Jahres-Arbeitszahl der Wärmepumpe (1 MJ = 0,28 kWh).

2.6 Investitions- und Betriebskosten

2.6.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten einer Wärmepumpenanlage sind stark von vorhandenen Gegebenheiten abhängig. Nebst der eigentlichen Wärmepumpenanlage fallen vor allem die Aufwendungen für die Wärmerückgewinnung (Luftkanäle) und die Distanz zur Wärmenutzung (Wärmetransport) ins Gewicht.

Die gesamten Investitionskosten für eine Wärmepumpenanlage im Leistungsbereich von 10 bis 20 kW betragen 35000 bis 45000 Franken.

Einen Überblick über die einzelnen Anteile gibt das nebenstehende Beispiel.

2.6.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten setzen sich aus den Energiekosten sowie den Aufwendungen für Service und Unterhalt zusammen.

Die Energiekosten berechnen sich aus dem Strombedarf für die Wärmepumpe (Kap. 2.5.7) und den Stromtarifen. Bei Wärmepumpenanlagen ohne Warmwasserspeicher beträgt der Anteil Hochtarifstrom 60 bis 80%, bei Anlagen mit Tagesspeicher 30 bis 40%. Die Gewährung von Niedertarifen während der Nacht und am Wochenende dürfte in Zukunft immer seltener vorkommen. Viele Gemeinden kennen bereits heute einen Einheitstarif während des Winters. Bei den Energiekosten sind allfällige Grund- und Leistungsgebühren mitzuberechnen.

Die Aufwendungen für Service und Unterhalt der Wärmepumpe werden mit 1,5% der Anlagekosten eingesetzt. Zusätzlich ist die Reinigung des Verdampfers und eventuell des Filters zu veranschlagen. Ein Zeitaufwand von etwa einer halben Stunde pro Woche sollte dafür ausreichen.

2.7 Planung

Die Planung einer Wärmepumpenanlage umfasst verschiedene miteinander gekoppelte Bereiche. Für die Wärmegewinnung sind Kenntnisse über das Stallklima, über Lüftungsanlagen und Wärmepumpen wichtig. Für die Wärmenutzung muss das Gebäude energetisch beurteilt werden und Wissen über Heizungsanlagen vorhanden sein.

Deshalb ist eine sorgfältige Planung gerade bei Stallluft-Wärmepumpen sehr wichtig. Die Projektierung der gesamten Anlage muss unbedingt von einem Energiefachmann oder einem Haustechnik-Ingenieur vorgenommen werden.

Das vorliegende Handbuch bietet die Grundlagen, damit bei einem bestehenden oder neu zu planendem Betrieb ein Vorprojekt erarbeitet werden kann.

Der Anlass für eine allfällige Realisierung einer Wärmepumpenanlage kann der Neubau eines

Beispiel jährliche Energiekosten

Wohnhaus: Energiebezugsfläche 180 m²
Heizenergiebedarf 400 MJ/m²a

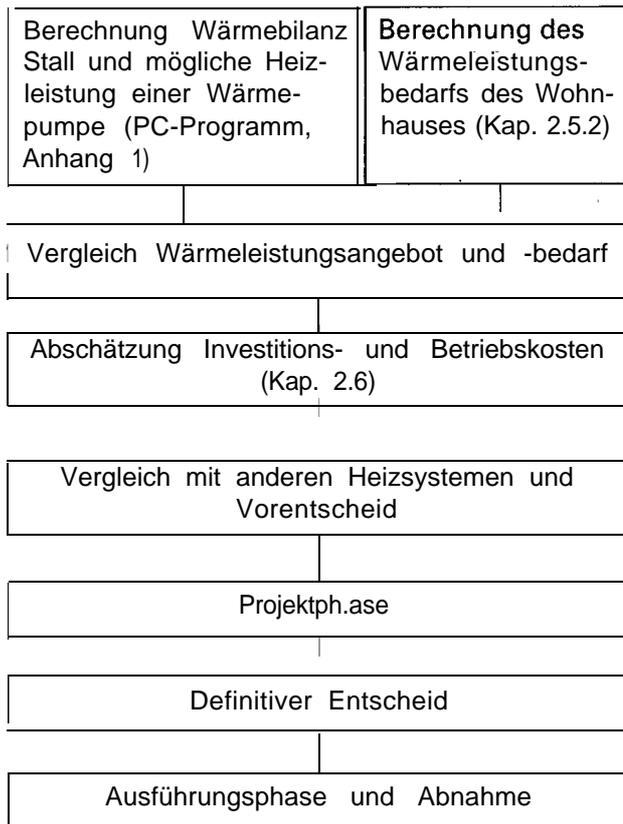
Wärmepumpe: Heizleistung 10 kW
Jahresarbeitszahl 3,5
Anteil Hochtarif 60%
Hochtarif 18 Rp/kWh
Niedertarif 10 Rp/kWh

Gesamter Heizenergiebedarf:
400 x 180 = 72000 MJ

Strombedarf der Wärmepumpe:
72000 : 3,5 = 20600 MJ = 5714 kWh
Hochtarif: 5714x60%x18=Fr.620.-
Niedertarif: 5714x40%x10=Fr.230.-

Die jährlichen Energiekosten betragen Fr. 850.-

Die Energiekosten, um den gleichen Heizenergiebedarf mit einer Ölheizung bereitzustellen, betragen bei einem Heizölpreis von Fr. 40.- pro 100 kg ebenfalls rund Fr. 850.-.



Stalles, eines Wohnhauses, die Sanierung der Wärmezeugungsanlage oder allenfalls der Wunsch nach Verbesserung des Stallklimas sein.

Im ersten Schritt ist mit dem Computer die Wärmebilanz des Tierstalles zu erstellen (genaue Programmbeschreibung im Anhang 1). Die Bilanz ist für die minimale Aussentemperatur gemäss Stallklimakarte zu berechnen. Aufgrund heutiger Erkenntnisse kann im Stall ein CO₂-Gehalt von 0,5% zugelassen werden. Für Ställe mit Temperaturen unter 15°C wird in der Regel das Umluft-, für Ställe mit höheren Temperaturen das Fortluftverfahren gewählt. Das Computerprogramm berechnet die bei einer bestimmten Jahres-Arbeitszahl der Wärmepumpe erreichbare Heizleistung.

Der zweite Schritt besteht in der Abschätzung oder Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs des Wohnhauses und allfälliger weiterer Nutzungen (Kap. 2.5.2).

Der Vergleich des Wärmeleistungsangebots und des -bedarfs zeigt, ob die vorgegebenen Verhältnisse eine Beheizung auch bei minimaler Aussentemperatur erlauben. Falls dies nicht der Fall ist, sind mögliche Verbesserungen zu prüfen: z.B. Erhöhung des Angebots durch bessere Wärmedämmung des Stalls, Senkung des Bedarfs durch bessere Wärmedämmung des Wohnhauses oder Zusatzheizung im Wohnhaus.

Im nächsten Schritt werden die Investitionskosten geschätzt (Kap. 2.6) oder entsprechende Offerten eingefordert. Dabei müssen die Kosten der gesamten Anlage bestimmt werden. Insbesondere sind die Kanäle für die Stallluft, allfällige Transportleitungen (Wärme, Sole) inkl. Grabarbeiten sowie die Einbindung in das bestehende Heizsystem mitzubedenken. Auf eine optimale Platzierung des Verdampfers (Zugänglichkeit, Reinigungsmöglichkeit) ist zu achten.

Anhand des jährlichen Heizenergiebedarfs, der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe und der Stromtarife werden die Energiekosten (Kap. 2.6) berechnet. Die Betriebskosten beinhalten zusätzlich die Aufwendungen für Service und Unterhalt der Wärmepumpe wie auch die Arbeit für die Reinigung des Verdampfers und eventuell des Filters.

Die Investitions- und Betriebskosten lassen sich nun mit den Kosten für andere Heizsysteme (z.B. Holz- oder Ölheizung) vergleichen. Für einen Vorentscheid sind weitere Kriterien wie Platzbedarf, Handhabung, Stallklimaverbesserung und ökologische Auswirkungen miteinzubeziehen.

Bei positiver Vorentscheid kann die Projektphase eingeleitet werden. Spätestens in diesem Moment ist ein Energiefachmann oder ein Haustechnik-Ingenieur zu engagieren. Dieser erarbeitet ein detailliertes Projekt mit offerierten Preisen für die gesamte Anlage, wobei allenfalls zusätzliche Abklärungen nötig werden (insbesondere Wärmenutzung im Wohnhaus). Aufgrund des Projektes entscheidet der Bauherr definitiv.

Als letzter Schritt folgt die Ausführungsphase mit Offertvergleichen, Vergabungen, Bauleitung und Inbetriebsetzung. Bei einer Wärmepumpenanlage ist es wichtig, dass die Verantwortung für die gesamte Anlage von einer Person (Fachingenieur, Architekt) wahrgenommen wird (im Werkvertrag berücksichtigen). Diese Person organisiert auch die Übergabe der Anlage und die Instruktion des Betreibers. Abnahmeprotokolle sind unbedingt zu erstellen, damit die garantierten Leistungen des Herstellers überprüft werden können. Im Falle eines späteren Mangels sind diese Protokolle für die Ursachenfindung ebenfalls dienlich. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Steuerung von Wärmepumpenanlagen ungenügend auf das zu beheizende Gebäude abgestimmt sind. Es ist also äusserst wichtig, dass mindestens während des ersten Betriebsjahres eine Optimierung **der Anlage** durch einen Fachmann vorgenommen wird.

Wichtige Kriterien für die Auswahl einer WP

- Umluft- oder Fortluftverfahren
- Direktverdampfer oder Absorber
- Optimale Platzierung für Reinigung und Unterhalt

Inhalt einer Bauherrendokumentation

- Abnahmeprotokolle
- Benützeranleitungen
- Serviceverträge
- Berechnungen (z.B. Wärmebedarfsberechnungen des Wohnhauses)
Unterlagen für die eigene Erfolgskontrolle

2.8 Anlagenbeispiele

2.8.1 Kuh- und Rinderställe

Eine Milchkuh mit 600 kg Gewicht erzeugt eine Gesamtwärmeleistung von gut 1000 W, wovon im Winter rund drei Viertel als fühlbare und ein Viertel als latente Wärme in Form von Wasserdampf anfallen. Diese Wärmemenge ist bei einer Temperatur von 10 bis 15°C vorhanden. Für eine Wärmepumpe sind das ideale Bedingungen.

Meist wird die Wärmepumpe bei Kuhställen mit Umluft betrieben, um dem Stall die Überschusswärme und Feuchte zu entziehen. Dabei wird die Umluft um 6 bis 7°C abgekühlt. Um den CO₂-Gehalt im Stall nicht über 0,35% (stundenweise bis 0,5%) ansteigen zu lassen, wird Frischluft mit einer Schwerkraftlüftung oder mit Ventilatoren zugeführt.

Beispiel: Kuhstall

Stall

Tiere:	20 Kühe à je 600 kg
Gesamtwärmeabgabe:	22 kW
Stallgrundfläche:	189 m ²
Durchschnittlicher k-Wert der Baukonstruktion:	0,7 W/m ² K
Stalltemperatur:	10°C
Relative Stallluft-Feuchtigkeit:	80 %
Minimale Aussentemperatur:	-13°C

Wärmepumpe	
Jahres-Arbeitszahl der WP:	3,0
WP im Umluftbetrieb	

Wohnhaus

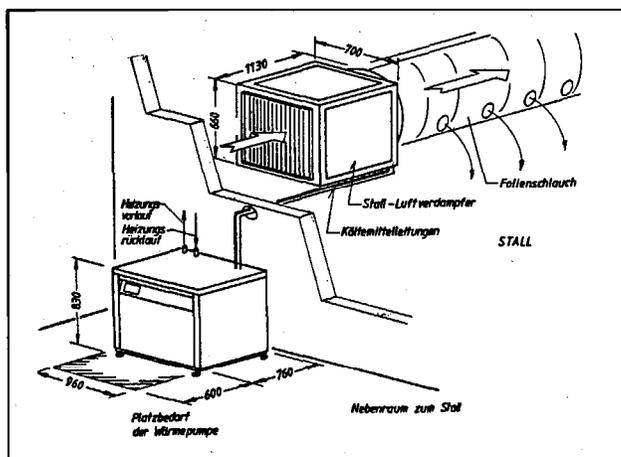
Energiebezugsfläche:	170 m ²
Spezifische Heizleistung:	50 W/m ²
Wärmeleistungsbedarf:	8500 W

Wärmebilanz (bei -13°C)

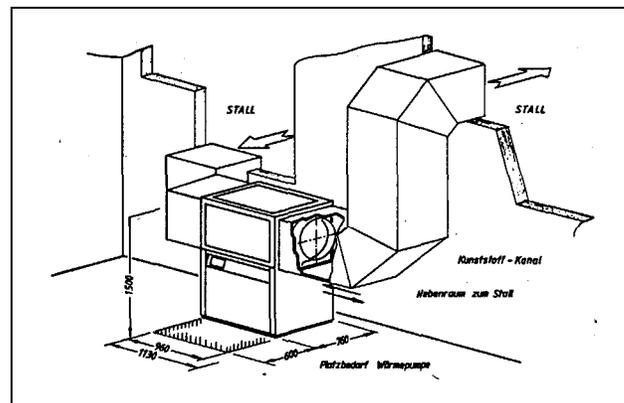
Lüftungsmassstab	0,35%	0,5%-CO ₂
Luftmenge (m ³ /h)	1120	760
Fühlbare Wärme (W)	16870	16870
Transmissionsver. (W)	-5300	-5300
Lüftungsverluste (W)	-8440	-5740
Wärmeüberschuss (W)	3130	5830
Heizleistung der WP (W)	4700	8750

Unter der Annahme, dass ein CO₂-Gehalt von maximal 0,5% zugelassen wird, kann das Haus mit der Wärmepumpe beheizt werden.

Bei der minimalen Aussentemperatur von -13°C beträgt die Umluftmenge rund 1500 m³/h (während 24 Stunden). Die Kondensation er-



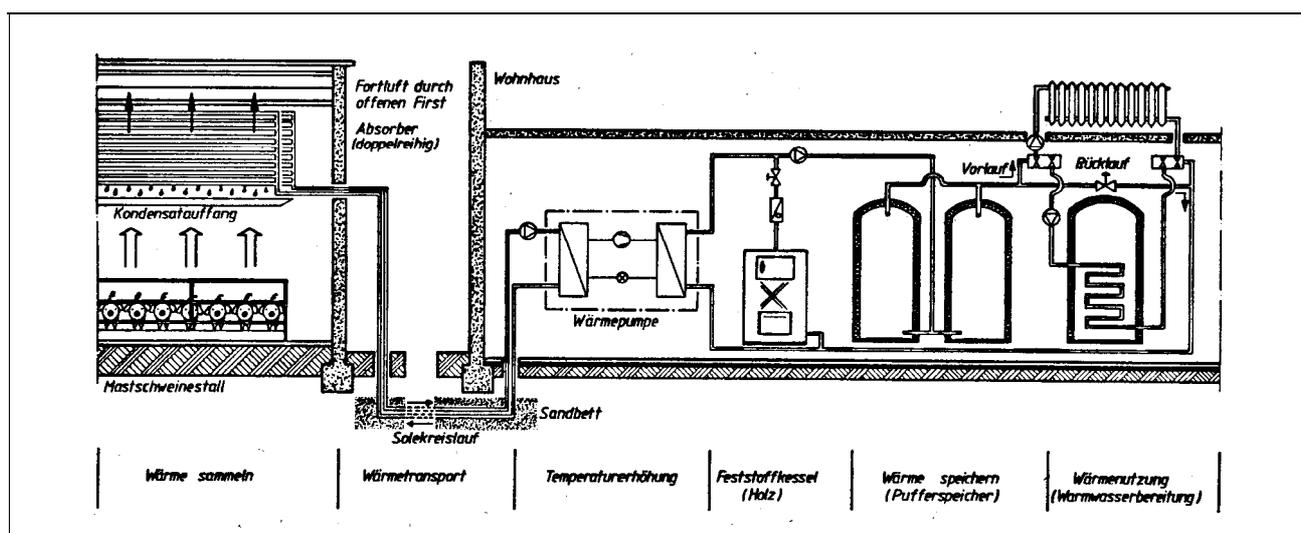
Beispiel einer Splitanlage mit Direktverdampfer für den Umluftbetrieb



Beispiel einer Kompaktwärmepumpe für den Umluftbetrieb

2.8.2 Mastschweineeställe

Bei Mastschweineeställen wird in der Regel das Fortluftverfahren angewendet. Die Stalltemperaturen liegen bei 15 bis 20°C, womit **gegenüber dem** Umluftverfahren mehr Wärme zurückgewonnen werden kann (grössere Temperaturdifferenz). Eine Abkühlung um 10°C ergibt einen Wärmegewinn von rund 6 Wh pro m³ Fortluft. Da die Schadgase in Schweineeställen aggressiver sind, werden praktisch **nur** Absorber-Anlagen eingesetzt, welche mit Kunststoff-Wärmetauschern arbeiten. Die Absorber werden direkt im Fortluftstrom oder als sogenannte stille Absorber an der Decke des Stalles montiert. Die Montage im Fortluftstrom verursacht einen höheren Druckabfall und somit höhere Stromkosten für den Ventilator. Der stille Absorber hat einen schlechteren Wärmeübergang und bedingt somit eine grössere Austauschfläche.



Mastschweineestall mit ccstiller Kühlung)) in der Fortluft lohne Ventilator)

Beispiel: Mastschweinestall

Stall

Tiere:	40 Mastschweine à je 40 kg und 40 Mastschweine à je 80 kg	
Gesamtwärmeabgabe:		11,4 kW
Stallgrundfläche:		108 m ²
Durchschnittlicher k-Wert der Baukonstruktion:	0,6 W/m ² K	
Stalltemperatur:		15°C
Relative Stallluft-Feuchtigkeit:		75%
Minimale Aussentemperatur:		-13°C

Wärmepumpe

Jahres-Arbeitszahl der WP:	3,0
WP im Fortluftbetrieb	

Wohnhaus

Energiebezugsfläche:	170 m ²
Spezifische Heizleistung:	50 W/m ²
Wärmeleistungsbedarf:	8500 W

Wärmebilanz (bei -13°C)

Lüftungsmassstab	Wasser- 0,35%-CO ₂ dampf	
Luftmenge (m ³ /h)	.807	764
Fühlbare Wärme (W)	10916	10916
Transmissionsverluste (W)	-3920	-3920
Lüftungsverluste (W)	-7207	-6826
Wärmebilanz (W)	-211	170
Wärmegew. aus Fortluft (W)	4541	4301
Heizleistung der WP (W)	6812	6451

Bei der minimalen Aussentemperatur reicht die Wärmeleistung nicht aus, um das Wohnhaus zu beheizen. Eine genügende Wärmeleistung besteht bei einer Aussentemperatur von -4°C.

Die Wärmebilanz des Stalles ist bei der minimalen Aussentemperatur praktisch ausgeglichen. Das heisst, es muss keine zusätzliche Heizung eingesetzt werden.

3 Wärmetauscher

3.1	Einleitung	38
3.2	Begriffe	38
3.3	Korrosion und Verschmutzung	39
3.4	Wärmetauscher-Systeme	40
3.4.1	Plattentauscher	40
3.4.2	Kreislaufverbundsysteme	41
3.4.3	Kunststoff-Rohrbündel-Wärmetauscher	43
3.4.4	Rotierende Wärmetauscher und Wärmerohre	43
3.5	Dimensionierung von WRG-Anlagen	44
3.5.1	Allgemeines	44
3.5.2	Berechnung der Luftmenge	44
3.5.3	Berechnung der Wärmetauscherleistung	44
3.5.4	Garantie/Abnahme	45
3.5.5	Sommerbetrieb	45
3.6	Wirtschaftlichkeit	46
3.6.1	Investitions- und Betriebskosten	46
3.6.2	Wärmerückgewinn und Nutzen	46
3.7	Anlagenbeispiele	47
3.7.1	Schweinstall	47
3.7.2	Geflügelstall	47

3 Wärmetauscher

3.1 Einleitung

Tiere geben Kohlendioxid und Wasserdampf ab. Diese Gase müssen abgeführt und durch frische Aussenluft ersetzt werden. Bei kleinen Schweinen und bei Geflügel muss diese Aussenluft im Winter erwärmt werden. Dafür stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- Anschluss an die zentrale Heizungsanlage des Wohnhauses über eine Fernleitung
- Installation einer separaten Heizungsanlage für den Stall (Öl-, Gas-, Holz- oder Elektroheizung)
- Installation einer Wärmerückgewinnungsanlage (WRG-Anlage) für die Lüftungsanlage'

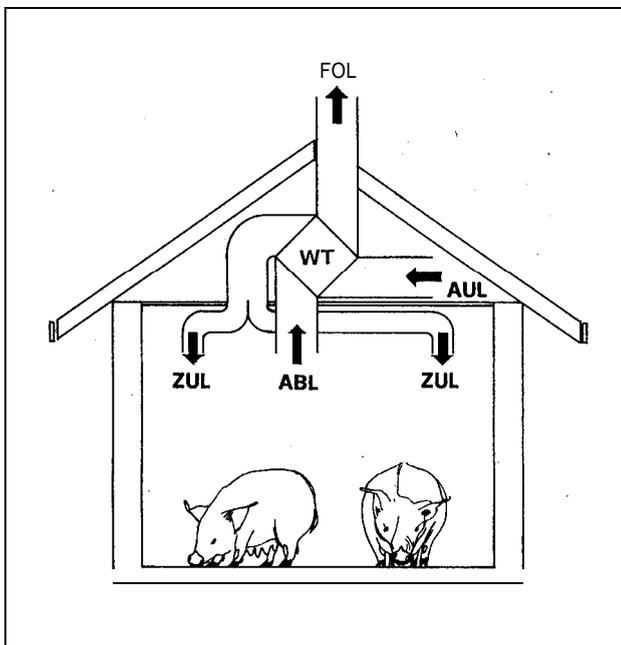
Aus energetischer und ökologischer Sicht stellt die WRG-Anlage die sinnvollste Möglichkeit dar. Bei richtiger Planung und richtigem Betrieb ist sie oft auch eine interessante wirtschaftliche Alternative zu einer konventionellen Heizungsanlage.

Die WRG-Anlage hat zum Ziel, Wärme aus der Fortluft auf die in den Stall gelangende frische Aussenluft zu übertragen.

Da mit der Lüftungsanlage Wasserdampf und Schadstoffe abgeführt und durch trockene Aussenluft ersetzt werden müssen, kommen nur Systeme in Betracht, welche eine vollständige Trennung zwischen Fortluft und Aussenluft gewährleisten.

WRG-Anlagen sind am meisten bei Schweineställen und in der Geflügelmast verbreitet. Weniger Erfahrungen liegen von Kälberställen vor.

Stallluft-Wärmetauscher



WT:	Wärmetauscher
ABL:	Abluft
FOL:	Fortluft
AUL:	Aussenluft
ZUL:	Zuluft

3.2 Begriffe

Die aus dem Stall abzuführende Luft wird vor dem Wärmetauscher Abluft und nach dem Wärmetauscher Fortluft genannt. Die frische zuzuführende Luft heisst vor dem Wärmetauscher Aussenluft und nach dem Wärmetauscher Zuluft. Meistens werden die Begriffe «Fortluft» für die Abluft und die Fortluft sowie «Aussenluft» für die Aussenluft und die Zuluft verwendet. Im Textteil dieser Dokumentation wird dies ebenso gehandhabt.

Für die Beurteilung einer WRG-Anlage ist der Wirkungsgrad, auch Rückwärmezahl genannt, von Bedeutung. Sie gibt das Verhältnis der Erwärmung der Aussenluft und der Temperaturdifferenz zwischen der Fortluft und der Aussenluft an.

Der Wirkungsgrad hängt von der Art und der Konstruktion des Wärmetauschers, von den Temperaturniveaus und auch von der Verschmutzung ab. In der Praxis werden Werte zwischen 0,2 und 0,7 erreicht. Eine gute WRG-Anlage sollte bei allen Betriebsbedingungen einen Wirkungsgrad von mindestens 0,5 (Wirkungsgrad > 50%) erreichen.

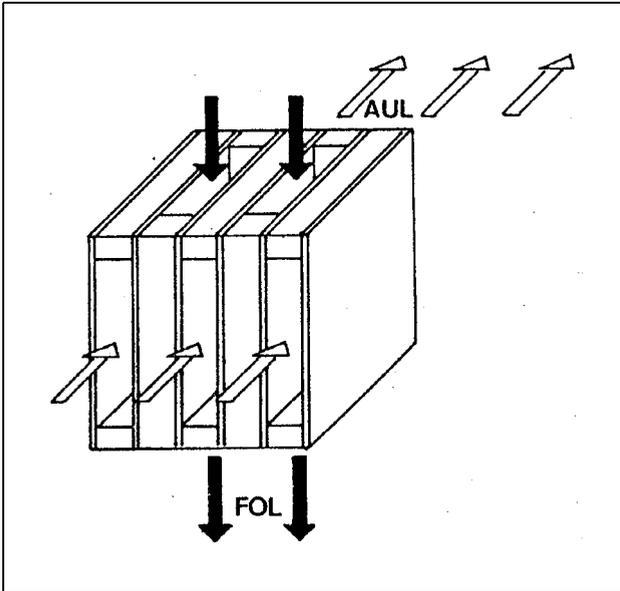
3.3 Korrosion und Verschmutzung

Ein Wärmetauscher muss eine genügend hohe Lebensdauer erreichen und daher aus nicht korrodierendem Material bestehen oder einen für die Stallluft geeigneten Korrosionsschutz aufweisen. Da in der Stallluft Ammoniak vorhanden ist, muss auf Buntmetalle (Cu, Al, Ms) verzichtet werden. Wo dies aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist (z.B. können Alu-Lamellen nicht durch Chromstahl ersetzt werden), müssen diese Materialien mit einer porenfreien, möglichst diffusionsbeständigen Beschichtung versehen werden. Zweikomponentenlackierungen mit einer Schichtdicke von ca. 100 µm haben sich dabei bewährt.

Jeder in der Stallluft installierte Wärmetauscher verschmutzt innert kurzer Zeit. Er muss deshalb so konstruiert sein, dass die Schmutzpartikel möglichst schlecht haften. Auf Kunststoff- oder beschichteten Metall-Oberflächen haftet der Schmutz schlechter als auf relativ porösen Metalloxid-Oberflächen. Die Platten- oder Lamellenabstände müssen genügend gross gewählt werden, damit die Wärmetauscher gründlich gereinigt werden können. Durch das Anbringen von Filtern werden die Wärmetauscher zwar weniger verschmutzt, dafür müssen die Filter häufig (mindestens wöchentlich) und die Wärmetauscher trotzdem periodisch (ungefähr monatlich) gereinigt werden. Ausserdem verursachen die Filter einen Luftwiderstand und somit einen höheren Energiebedarf für die Aussen- und Fortluftventilatoren.

Wirkungsgrad =	$\frac{T_{ZUL} - T_{AUL}}{T_{ABL} - T_{AUL}}$		
T:	Temperatur		
AUL:	Aussenluft		
ZUL:	Zuluft		
ABL:	Stallabluf		
Beispiel			
Wirkungsgrad	0,5	0,5	0,6
Aussenluft (AUL)	-5	0	-5° c
Zuluft (ZUL)	6'	8	8°C
Stallabluf (ABL)	17	17	17°C

Plattenwärmetauscher



3.4 Wärmetauscher-Systeme

3.4.1 Plattentauscher

Allgemeines

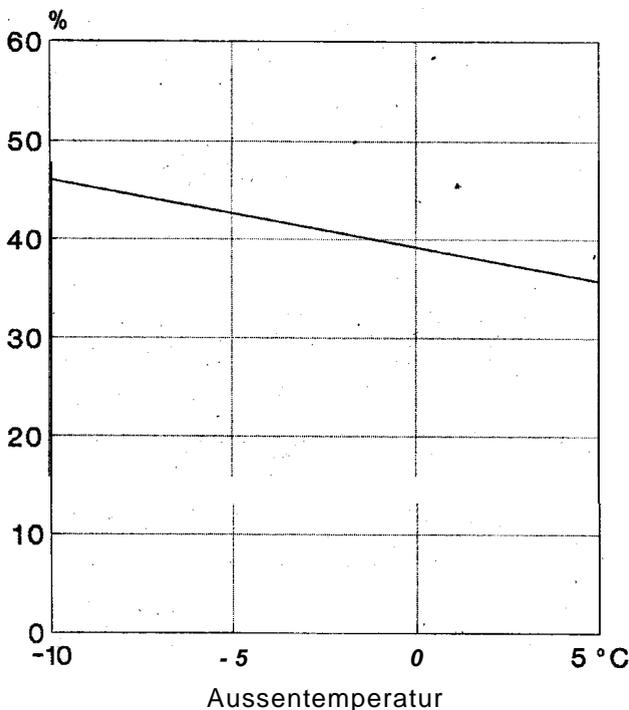
Der Aussen- und der Fortluftstrom werden entlang von Trennflächen geführt, durch welche die Wärme direkt übertragen wird. Bei Taupunktunter-schreitung des Fortluftstromes wird Feuchtigkeit ausgeschieden und zusätzlich Kondensationswärme (latente Wärme) übertragen. Plattentauscher haben sich insbesondere bei Schweineställen und in der Geflügelmast gut bewährt und sind dort am meisten verbreitet.

Als Material werden in der Landwirtschaft vorwiegend Kunststoffplatten (Stegplatten), zum Teil auch beschichtete Alu-Platten, eingesetzt. Glas oder Kunststoffolien haben sich aus Gründen der Verletzlichkeit nicht bewährt. Wegen der Verschmutzung sollte der Plattenabstand mindestens 8 mm betragen.

Einfriergrenze

Leider haben Plattentauscher eine relativ hohe Einfriergrenze. Bei Aussentemperaturen von ca. -10°C beträgt die Plattentemperatur knapp 0°C, sodass das auf der Fortluftseite ausgeschiedene Kondensat einzufrieren beginnt.

Durch die Eisschicht auf den Platten **verringert** sich die Fortluftmenge und die Wärmedurchgangszahl, sodass die Plattentemperatur weiter absinkt bis der Wärmetauscher praktisch vollständig zugefroren ist. Es muss daher verhindert werden, dass die Aussenlufttemperatur beim Eintritt in den Plattentauscher auch im tiefsten Winter nie unter -10°C absinkt. Eine häufig angewandte Möglichkeit ist das Ansaugen der Aussenluft aus dem Hohlraum über dem Stall. Durch den Wärmeverlust der Stalldecke wird die Aussenluft vorgewärmt. Eine Alternative ist die Reduktion des Luftmassenverhältnisses Aussenluft zu Fortluft, entweder durch Drosselung des Aussenluft-Volumenstromes oder mit Hilfe eines Bypasses um den Plattentauscher.



Gemittelte Wirkungsgrade aus Messungen von einem Stegplattentauscher in einem Schweinestall in Abhängigkeit der Aussentemperatur. Die hier erzielten Wirkungsgrade sind für moderne Anlagen zu niedrig.

Reinigung

Ein Plattenwärmetauscher sollte rund alle drei Wochen gereinigt werden, indem die Platten mit viel Wasser abgespritzt werden. Daher ist eine einfache und gute Zugänglichkeit, sowie ein Wasseranschluss und ein Ablaufsystem unerlässlich. Plattentauscher, welche aus herausziehbaren Einschüben bestehen, lassen sich gut reinigen.

Wenn zu lange mit der Reinigung gewartet wird, reduziert sich der Luftvolumenstrom und die Leistung. Im Extremfall verschliesst die klebrige Staubmasse den Tauscher vollständig.

Tauschergrosse

Bei Plattenwärmetauschern kann mit einer Wärmedurchgangszahl von rund $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ gerechnet werden. Je rund 25 m^3 Stallluft pro Stunde (bei der minimalen Luftmenge) wird eine Wärmetauscherfläche von 1 m^2 benötigt.

3.4.2 Kreislaufverbundsysteme

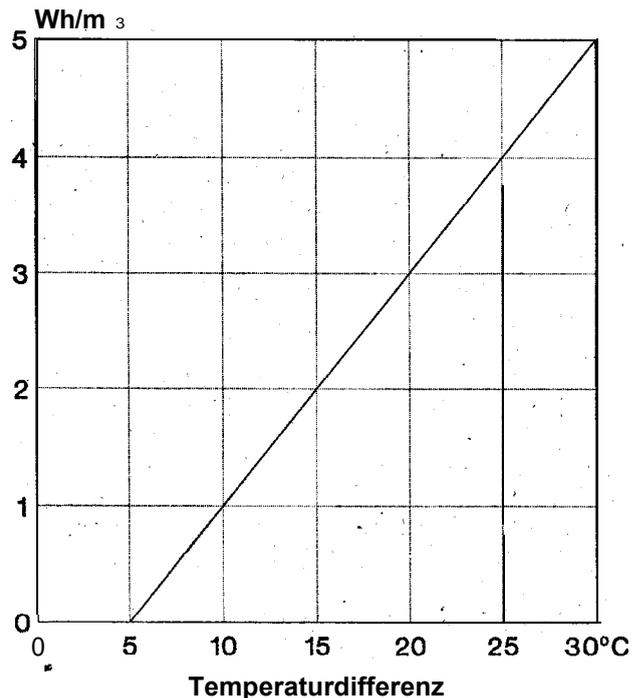
Allgemeines

Die Fortluft wird in Lamellen- oder Glattrohr-Wärmetauschern abgekühlt. Das dadurch erwärmte Wasser/Glykol-Gemisch wird über ein Leitungssystem mit Umwälzpumpe dem Wärmetauscher in der Aussenluft zugeführt und diese damit erwärmt.

Dieses Wärmerückgewinnungssystem hat den Vorteil, dass Aussenluft und Fortluft nicht mit Kanälen zusammengeführt werden müssen. Verbindungsleitungen für das Wasser/Glykol-Gemisch benötigen weniger Platz und sind leichter und kostengünstiger zu montieren. Ausserdem kann die aus der Fortluft zurückgewonnene Wärme auf jene Ställe geleitet werden, in denen Wärme benötigt wird. So ist es zum Beispiel in einem Mastschweinestall möglich, die Wärme aus dem Endmaststall dem Ferkelstall zuzuführen.

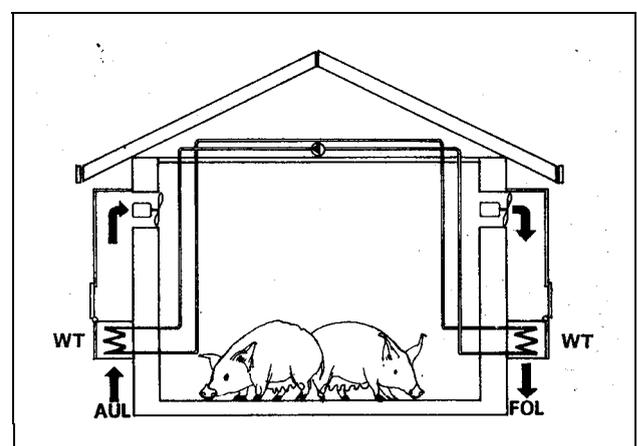
Konstruktion der lamellierten Wärmetauscher

Lamellierte Wärmetauscher für einen Wasser/Glykol-Betrieb sollten beidseitig mit Sammelkollektoren ausgeführt und vollständig entleerbar sein.

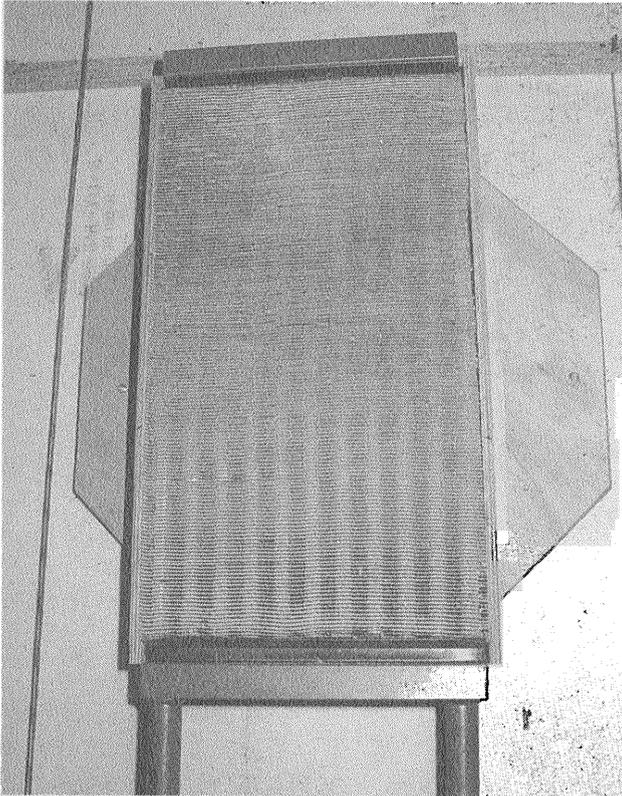


Mittlere Wärmerückgewinnung von verschiedenen Stallluft-Plattentauschern in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Aussen- und Stallluft

Wärmerückgewinnung mit Kreislaufverbundsystem



Lamellierter Wärmetauscher



Die Rohre sind aus verzinktem Stahl oder Chromstahl V4A gefertigt, die Sammelkollektoren aus Stahl (sandgestrahlt und beschichtet) oder ebenfalls aus V4A. Für die Lamellen wird fast ausschließlich beschichtetes Aluminium (Dicke ca. 0,4 mm) verwendet. Die Beschichtung sollte ca. 100µm betragen und porenfrei sein. Bei Lamellenabständen unter 5 mm verstopfen die Wärmetauscher rasch.

Vor der Inbetriebnahme muss die Anlage gründlich gespült werden, bis sämtliche Rost- und Zunderpartikel entfernt sind. Erst dann darf das Wasser/Glykol-Gemisch eingefüllt werden.

Einfriergrenze

Auch bei Kreislaufverbundsystemen darf die Rohroberfläche nicht unter 0°C sinken, damit das Kondensat in der Fortluft nicht gefriert. Die Einfriergrenze kann mit einfachen Massnahmen auf -20°C oder darunter gesenkt werden.

Durch eine Vergrößerung der Wärmetauscherfläche in der Fortluft gegenüber derjenigen in der Aussenluft kann das Temperaturniveau des Wasser/Glykol-Gemisches angehoben und somit die Einfriergrenze gesenkt werden. Der gleiche Effekt wird mit einer Vergrößerung der Umwälzmenge und der damit verbundenen Verkleinerung der Temperaturdifferenz des Wasser/Glykol-Gemisches erreicht. Möglich ist auch der Einbau einer Frostschutzregulierung, welche die Leistung der WRG-Anlage bei tiefen Temperaturen begrenzt und ein Einfrieren des Kondensats verhindert.

Reinigung

Wegen des gegenüber des Plattentauschers kleineren Lamellenabstandes von 5 mm sind beim lamellierten Tauscher eher kürzere Reinigungsintervalle (ca. alle zwei Wochen) notwendig. Da Lamellentauscher mit Leitungen verbunden sind, werden diese in montiertem Zustand gereinigt. Es ist deshalb ganz besonders auf gute Zugänglichkeit, auf einen Wasseranschluss und entsprechende Abläufe zu achten. Der Schmutz wird wie bei Plattentauschern mit viel Wasser aus den Lamellen gespült.

3.4.3 Kunststoff-Rohrbündel-Wärmetauscher

Für die Wärmeabgabe an die Aussenluft können auch Rohrbündel aus Kunststoff verwendet werden. Die Wärmeabgabe an die Aussenluft erfolgt meistens mit Lamellentauschern.

Der grosse Vorteil der Rohrbündel-Wärmetauscher ist die einfache Reinigungsmöglichkeit und die geringe Verschmutzungsneigung.

Der Nachteil ist der schlechte Wärmübergang und die geringe äussere Übertragungsfläche. Um eine genügende Leistung zu erreichen (Wirkungsgrad mindestens 50%), müssen grosse Leitungslängen installiert werden.

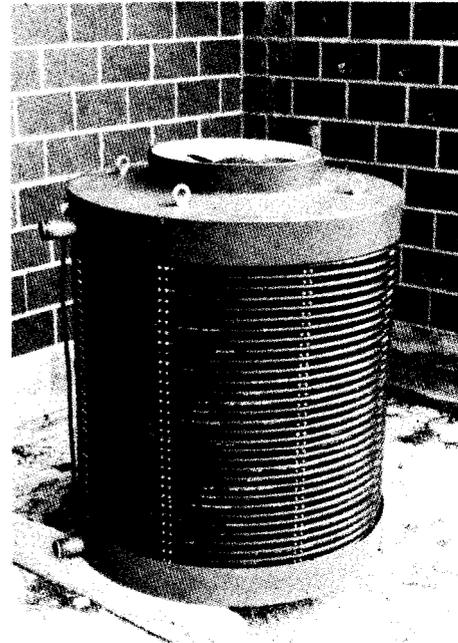
Im weiteren ist zu beachten, dass nur Kunststoffe verwendet werden, welche bezüglich Sauerstoffdiffusion vollständig dicht sind (z.B. mit integrierter Alufolie). Ein stetiger Sauerstoffzutritt verbraucht die Korrosionsschutz-Inhibitoren sehr schnell und führt im System zu Korrosion (meistens Lochfrass).

3.4.4 Rotierende Wärmetauscher und Wärmerohre

Rotierende Wärmetauscher eignen sich für einen Einsatz in der Landwirtschaft nicht. Mit zunehmender Verschmutzung und Korrosion übertragen sie Feuchtigkeit von der Fortluft in die Aussenluft. Auch Lecklufttraten sind nicht zu vermeiden. Ausserdem können rotierende Wärmetauscher nur bedingt gereinigt werden.

Wärmerohre (Heatpipe), welche sich für einen Einsatz in der Stallluft eignen würden, sind heute nicht auf dem Markt. Die auf dem Markt erhältlichen Typen bestehen meistens aus Kupferrohren **mitdünnen Alu-Lamellen** und kleinen Lamellenabständen. Diese Produkte sind korrosions- und verschmutzungsgefährdet. Ebenso lassen sie sich schlecht reinigen. Von Wärmerohren ist beim heutigen Marktangebot deshalb abzusehen.

Rohrbündel-Wärmetauscher



3.5 Dimensionierung von WRG-Anlagen

3.5.1 Allgemeines

Da die Wärmetauscher einen Teil des Lüftungssystems darstellen, sind diese zusammen mit der gesamten Lüftungsanlage des Stalles zu planen. Insbesondere bei kleineren Objekten wird der Planer der Lüftungsfirma die Wärmetauscher, die Ventilatoren, die Luftkanäle und die Steuerung dimensionieren und die Gesamtanlage planen.

Wärmetauscher können sowohl in einzelnen Stallabteilen wie auch in ganzen Ställen eingesetzt werden. Einzelne Stallabteile für Ferkel oder Zuchtschweine weisen bei schlechter oder mässiger Wärmedämmung trotz Einsatzes eines Wärmetauschers meistens ein Wärmedefizit auf. In diesen Fällen führt die Zusammenführung der Luft aus mehreren Ställen (z.B. Zucht-, Ferkel- und Mastschweineställe) zusammen mit einem Wärmetauscher häufig zu einer ausgeglichenen oder positiven Wärmebilanz. Die folgenden Berechnungen sind also einerseits für einzelne Stallabteile und andererseits auch gesamthaft für Ställe mit mehreren Abteilen durchzuführen.

Die vorliegende Dokumentation zeigt das Vorgehen für die Dimensionierung einer WRG-Anlage (Luftmenge, Wärmetauscherleistung), während die Lüftungsanlage selbst nicht behandelt wird.

Im Gegensatz zu WRG-Anlagen in Industrie und Gewerbe spielen in der Landwirtschaft die Einblasttemperaturen nach dem Wärmetauscher eine untergeordnete Rolle. Die zu fördernde Luftmenge ist durch die Randbedingungen des Stallklimas (Abfuhr des Wasserdampfes und des Kohlendioxids) gegeben. Es geht also darum, möglichst viel Wärme aus der Fortluft zurückzugewinnen, und so die Aussenlufttemperatur möglichst stark anzuhähen.

Für die Dimensionierung der WRG-Anlage sind die minimale und die maximale Luftmenge sowie die benötigte Leistung des Wärmetauschers zu bestimmen.

3.5.2 Berechnung der Luftmenge

Die Luftmenge für die Auslegung des Wärmetauschers und des dazugehörigen Ventilators wird mit dem PC-Programm «Stallklima» bestimmt (genaue Programmbeschreibung im Anhang 1). Die minimale Luftmenge entspricht der Winterluftmenge bei der minimalen Aussentemperatur. Die maximale Luftmenge für den Wärmetauscher entspricht der Luftmenge bei derjenigen Aussentemperatur, bei welcher der Wärmetauscher ausser Betrieb genommen wird. Dies ist frühestens dann der Fall, wenn die Wärmebilanz des Stalles ohne Wärmetauscher ausgeglichen ist.

Mit dem Einsatz einer WRG-Anlage weist der Stall bei Aussentemperaturen, die höher als die minimale Aussentemperatur sind, einen Wärmeüberschuss auf. Die Luftmenge kann deshalb bei diesen Temperaturen gegenüber den theoretischen Berechnungen erhöht werden. Das Stallklima wird damit spürbar verbessert, ohne dass im Stall ein Wärmemanko entsteht.

In der Regel wird der Wärmetauscher solange eingesetzt, bis dieser keine nutzbare Wärme mehr zurückgewinnt (Übererwärmung des Stalls). Dies ist bei Aussentemperaturen der Fall, welche weniger als etwa 5 bis 10°C unter der Stalltemperatur liegen. Die maximale Luftmenge für den Wärmetauscher wird für eine Aussentemperatur berechnet, die 5°C unter der Stalltemperatur liegt. Damit ist gewährleistet, dass die erforderlichen Luftmengen mit dem eingebauten Wärmetauscher gefördert werden können, auch wenn die Aussentemperatur während eines Tages in der Übergangszeit stark schwankt.

Der Ventilator für den Wärmetauscher muss zwischen der minimalen und der maximalen Luftmenge regelbar sein. Als Richtwert kann für die maximale Luftmenge die drei- bis fünffache minimale Luftmenge angenommen werden.

3.5.3 Berechnung der Wärmetauscherleistung

Die benötigte Wärmetauscherleistung lässt sich direkt aus den Berechnungen des PC-Programms für die entsprechenden Aussentemperaturen herauslesen («Wärmerückgewinn WT»).

3.5.4 Garantie/Abnahme

Der Wirkungsgrad eines Wärmetauschers ist vom Hersteller schriftlich garantieren zu lassen. Er sollte bei Temperaturdifferenzen von 30 bis 10°C mindestens 50% betragen (Wärmetauscher in sauberem Zustand).

Bei der Abnahme der Lüftungsanlage müssen die Luftvolumenströme und die Leistungen im Interesse des Bauherrn gemessen und in einem Protokoll festgehalten werden. Dies erlaubt die Berechnung des Wirkungsgrades und somit die Überprüfung der Garantieleistungen. Im Falle eines späteren Mangels dient das Protokoll der Ursachenfindung.

3.5.5 Sommerbetrieb

Die Wärmetauscher sind nur während des Winters und allenfalls in der Übergangszeit in Betrieb. Die Lüftungsanlage muss hingegen auch für den Sommerbetrieb ausgelegt werden. Die dazu benötigten Luftmengen können dem PC-Programm «Stallklima» entnommen werden.

Der Sommerbetrieb wird entweder mit einer unabhängigen Lüftungsanlage (separate Ventilatoren) oder in Kombination mit der WRG-Anlage realisiert. In Kombination mit der WRG-Anlage kann der Wärmetauscher in einem Bypass umgangen werden, womit der Druckverlust abnimmt und die geförderte Luftmenge erhöht wird. Bei einigen Wärmetauscher-Produkten können die Wärmetauscher-Pakete entfernt und durch einen «Sommereinsatz» ersetzt werden. Damit wird die gleiche Wirkung wie beim Bypass erreicht.

Beispiel

Schweinestall mit 100 Ferkeln à 20 kg
 Luftmengen gemäss Wasserdampf-Massstab
 Stalltemperatur: 20°C
 Minimale Aussentemperatur: -12°C
 Relative Luftfeuchtigkeit aussen: 100%/80%
 WT-Einsatz bis Aussentemperatur: 15°C
 Relative Luftfeuchtigkeit im Stall: 70%

Aussentemperatur	(°C)	-12	15
------------------	------	-----	----

Luftmenge	(m ³ /h)	513	2642
-----------	---------------------	-----	------

Tierwärme (fühlbare)	(W)	6 241	6241
Transmissionsverluste	(W)	-3200	- 500
Lüftungsverluste	(W)	-5247	-4220

Wärmebilanz ohne WT	(W)	-2206	1521
Wärmerückgewinn WT	(W)	2772	0

Wärmebilanz mit WT	(W)	566	1521
--------------------	-----	-----	------

Auslegung WT

- Minimale Luftmenge: 513 m³/h
- Maximale Luftmenge: 2642 m³/h
- Benötigte Wärmetauscherleistung (bei -12 °C): 2.7 kW

Beispiel Investitionskosten (Preise 1990)

Gleichdrucklüftungsanlagen für vier Mast-
schweinställe (je 70 bis 80 Plätze) mit inte-
grierten Wärmetauschern (je ein WT pro Stall).

Lüftungsanlage mit integriertem Kunststoff-
platten-WT (Tauscherfläche 40 m², maximale
Ventilatorleistung 4800 m³/h);
4 x Fr. 2900.- Fr. 11600.-

Luftkanäle, Kamine, Dacheinfassung,
Elektronische Steuergeräte, etc.
4 x Fr. 2500.- Fr. 10000.-

Aussenluftverteilung im
Dachraum Fr. 2500.-

Alarmanlage Fr. 900.-

Montage und Anpassungs-
arbeiten Fr. 6000.-

Total Fr. 31000.-

Anteil Wärmerückgewinnungsanlage (ca.)

Wärmetauscher mit Gehäuse Fr. 8000.-

Zusätzliche Luftkanäle und
Montage Fr. 5000.-

Total Anteil WRG Fr. 13000.-

3.6 Wirtschaftlichkeit

3.6.1 Investitions- und Betriebskosten

Die Investitionskosten einer Wärmerückgewin-
nungsanlage sind im Detail schwierig zu beziffern.
Wärmetauscher werden ja in ein Lüftungssystem
integriert, welches unabhängig der WRG installiert
werden muss. Für eine Wirtschaftlichkeitsrech-
nung sind demnach die Mehrkosten für Wärme-
tauscher, längere Luftkanäle, Drosselklappen,
Bypass etc. zu belasten. Nebenstehend ist ein
Beispiel für einen Mastschweinstall mit vier Ab-
teilen aufgeführt.

Betriebskosten ergeben sich aus dem grösseren
Stromverbrauch der Ventilatoren und den Unter-
haltskosten. Der Strombedarf lässt sich aus dem
zusätzlichen Druckverlust des Wärmetauschers
berechnen. Dieser sollte bei der maximalen Luft-
menge 100 bis 150 Pa nicht übersteigen. Ein zusätz-
licher Druckverlust von 80 Pa bei einer Fördermen-
ge von 2000 m³/h verursacht einen höheren Strom-
bedarf von rund 80 Watt.

Die Unterhaltskosten umfassen im wesentlichen
die Reinigung des Wärmetauschers. Für die Reini-
gung muss je nach Anlage zwei- bis vierwöchent-
lich eine halbe bis eine Stunde Arbeit eingesetzt
werden.

3.6.2 Wärmerückgewinn und Nutzen

Je nach Wirkungsgrad des Wärmetauschers kön-
nen 40 bis 60% der Lüftungswärmeverluste zu-
rückgewonnen werden. Für die Jahresbilanz ist
jedoch nur die Wärmemenge von Bedeutung,
welche nutzbringend eingesetzt werden kann
(Ersatz einer Heizung, Verbesserung des Stallkli-
mas durch Erhöhung der Luftmenge). Dieser
Gewinn hängt in erster Linie vom Einsatzort (Stall-
temperatur, Baukonstruktion/Wärmedämmung)
ab. Bei Tieren mit hoher Stalltemperatur (z.B. Fer-
kel) und einem Stall mit mittlerer Wärmedäm-
mung kann der Wärmetauscher während rund
3000 Stunden pro Jahr nutzbringend eingesetzt
werden. Bei Vormastschweinen sind dies noch
lediglich rund 1000 Stunden. Der nutzbare jährli-
che Wärmerückgewinn beträgt zum Beispiel bei
einem Stall mit 100 Ferkeln etwa 3000 bis 6000

kWh. Dies ergibt eine Einsparung von einigen Hundert Franken pro Jahr.

Mit der Energieeinsparung allein lassen sich die Mehrkosten für eine WRG-Anlage kaum amortisieren. Meistens kann jedoch dank des Wärmetauschers auf eine zusätzliche Heizung des Stalles verzichtet werden. In diesen Fällen werden die Mehrkosten mehr als aufgewogen, da eine separate Heizung oder eine Wärmefernleitung mit der entsprechenden Wärmeverteilung teurer zu stehen kommt.

Der Einsatz eines Wärmetauschers bringt noch andere Vorteile. Die Aussenluft wird im Winter um etwa 10°C erwärmt, womit die Erkältungsgefahr der Tiere reduziert wird. Das Stallklima wird verbessert, indem dank des Wärmetauschers grössere Luftmengen bei ausgeglichener Wärmebilanz gefördert werden können. Dies reduziert den Schadstoffgehalt im Stall, und das Wohlbefinden der Tiere steigt. Nicht zuletzt wird das Bauschadenrisiko (Kondensation und Schimmelbildung) infolge der geringeren Luftfeuchtigkeit reduziert.

3.7 Anlagenbeispiele

3.7.1 Schweinestall

An der Landwirtschaftlichen Schule in Flawil ist eine zentrale Wärmerückgewinnungsanlage in einem Schweinestall installiert. Der Stall (Grundfläche rund 350 m²) umfasst drei Abferkelställe mit je **fünf** Boxen, einen Maststall (60 Plätze) und einen Stall für die Galtsauen, Eber und Remonten. Die Fortluft aus allen Abteilen wird zum Wärmetauscher geleitet, welcher sich im Dachraum befindet. Die Aussenluft wird aus dem Dachraum durch den Wärmetauscher geführt und auf die einzelnen Ställe verteilt. Eingesetzt ist ein Kunststoff-Plattenwärmetauscher mit herausziehbaren Tauscherpaketen mit einer Fläche von 65 m². Die maximale Luftleistung der Ventilatoren (Fortluft, Aussenluft) beträgt ca. 3000 m³/h. Der Sommerbetrieb wird mit separaten Ventilatoren sichergestellt.

Seit der Installation der WRG-Anlage muss im Stall (abgesehen von den Ferkellampen) nicht mehr geheizt werden. Die Berechnungen haben gezeigt,

dass die Anlage trotz der relativ hohen Investitionskosten von Fr. 20 000.- (1980) wirtschaftlich betrieben werden kann.

3.7.2 Geflügelstall

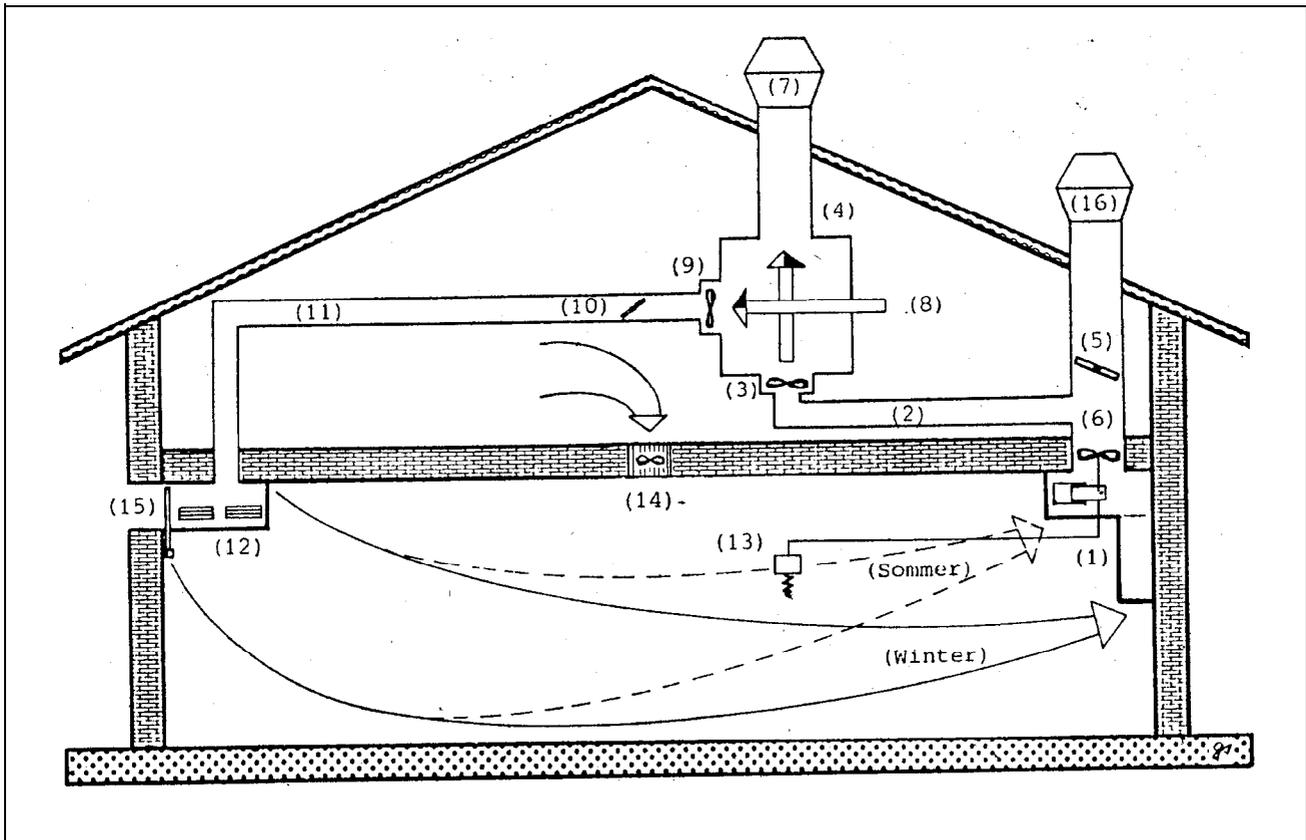
Interessant ist die Wärmerückgewinnung bei Geflügelmastställen, wo Stalltemperaturen zwischen 20 und 30°C (je nach Alter der Tiere) verlangt werden.

Geflügelmastställe werden heute in der Regel als betriebsfertige Anlagen vertrieben. Das heisst, dass Gebäude, Fütterungs-, Entmistungs- und Lüftungsanlage als Gesamtpaket verkauft werden. In der Schweiz rüstet eine Firma die Anlagenserienmässig mit einer Wärmerückgewinnung aus.

Eingesetzt wird ein zylindrischer Faltenbalg-Wärmetauscher (vgl. Abbildung). Die Tauscherflächen (ca. 50 m²) sind aus kunststoffbeschichtetem Aluminiumblech hergestellt. Als Lüfter dient ein doppelter Flügelkranz, welcher pro Stunde maximal 9000 m³ Luft fördert (Bypass-Betrieb ohne Tauscherpaket).

Für eine Hallengrösse von 300 m² (ca. 5000 Poulets) werden zwei Wärmetauschereinheiten eingesetzt. Messungen haben ergeben, dass der Energieverbrauch dank der WRG um rund 60% gesenkt werden konnte, was einer Reduktion des jährlichen Verbrauchs an Heizöl von etwa 5000 kg entspricht. Die Mehrkosten für die Wärmerückgewinnung belaufen sich auf etwa Fr. 15 000.-.

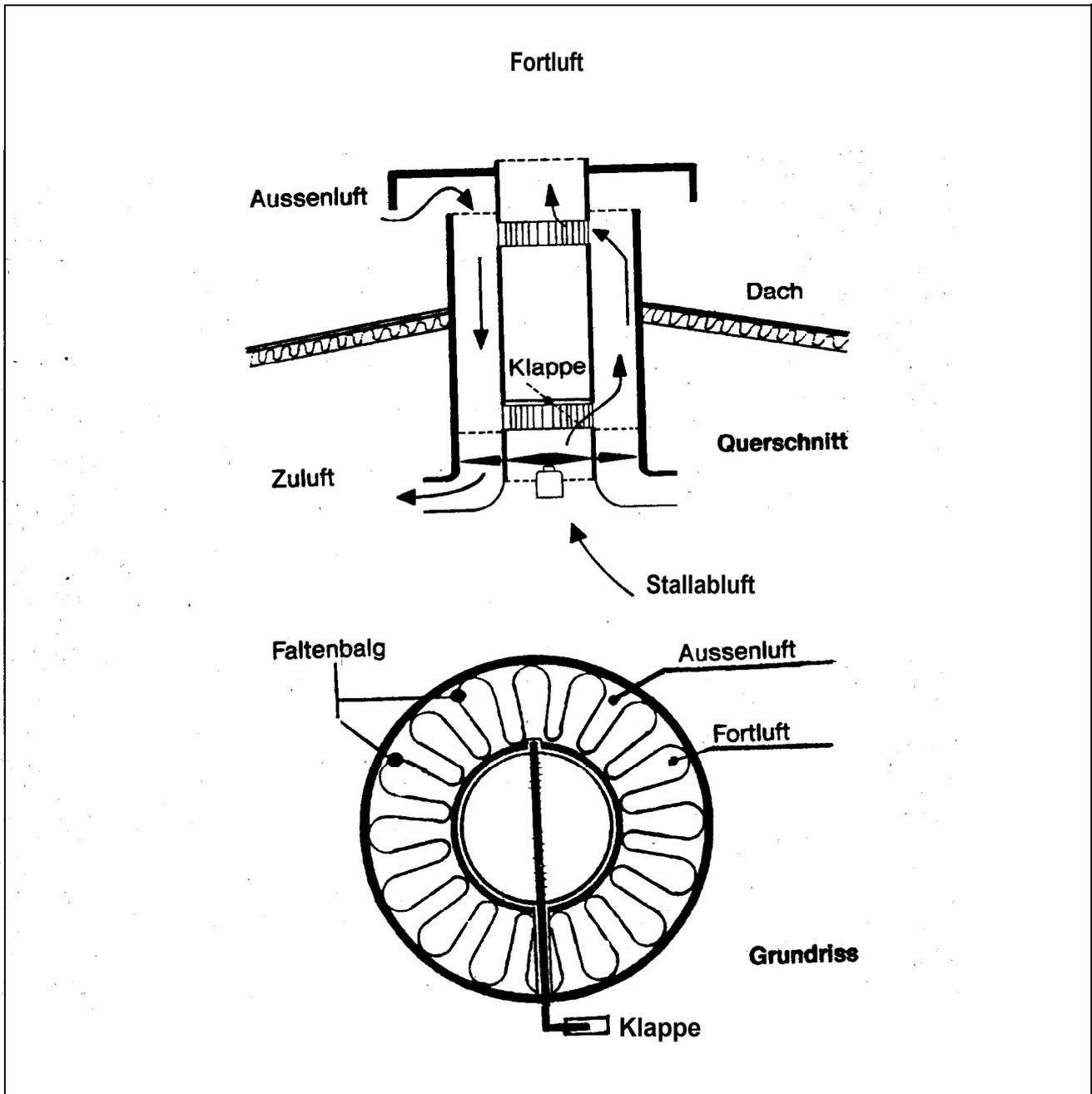
WRG-Anlage in einem Schweinezucht- und -maststall



- | | |
|------------------------------------|---|
| 1: Fortluftsammlerkanal im Stall | 9: Aussenluftventilator in WRG |
| 2: Zuführkanal zur WRG | 10: Regulierklappe im Aussenluftkanal |
| 3: Fortluftventilator in WRG | 11: Aussenluft-Zuführkanal |
| 4: Wärmetauscher | 12: Aussenluft-Einströmkanal im Stall |
| 5: Regulierklappe im Fortluftkamin | 13: Stallthermostat |
| 6: Kamin-Ventilator | 14: Öffnung für Zusatzfrischluft (Futterraum) |
| 7: Fortluftkamin für WRG | 15: Aussenluft-Schieber für Sommerbetrieb |
| 8: Aussenluft-Ansaug vom Dachraum | 16: Fortluftkamin für Sommerbetrieb |

Zylindrischer

Faltenbalg-Wärmetauscher





Teil 2: Sonnenkollektoren für die Heubelüftung

1 Heubelüftung

1.1 Allgemeines 52

1.2 Planung einer Heubelüftung 53

1.2.1	Flächentrocknungsanlage	53
1.2.2	Heubedarf	54
1.2.3	Raumgewicht	54
1.2.4	Stockvolumen	55
1.2.5	Stockgrundfläche AS	55
1.2.6	Separater Heu- und Emdstock?	56
1.2.7	Funktionsmasse	56

1.3 Lüfterwahl 58

1.3.1	Luftmenge QW	58
1.3.2	Luftdruck pW	58
1.3.3	Wahl des Ventilators	59
1.3.4	Minimalluftmenge QK	59
1.3.5	Luftdruck pK bei Minimalluftmenge	59
1.3.6	Vorhandene Druckreserve pD	59
1.3.7	Elektrische Leistungsaufnahme Nel	61
1.3.8	Wirkungsgrad Eta	6
1.3.9	Lärm	62

1.4 Weitere Auswahlkriterien 62

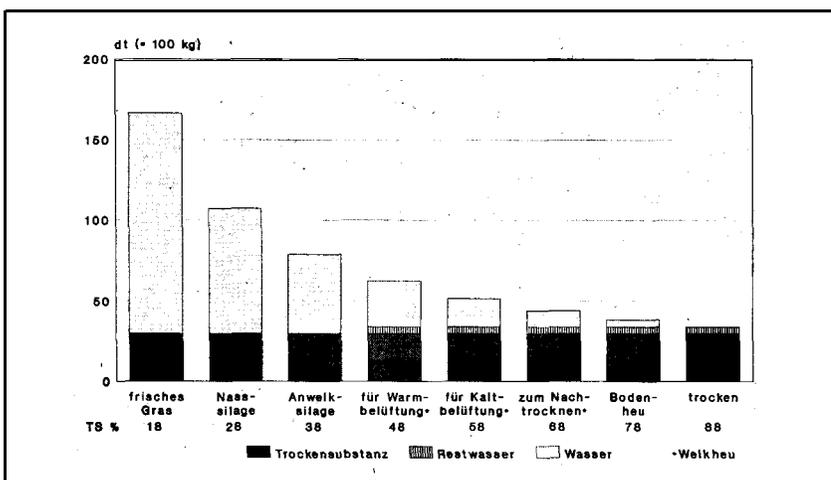
1 Heubelüftung

1.1 Allgemeines

Jahr für Jahr steigt die Zahl der Betriebe mit Heubelüftung immer noch an. Gemäss der Betriebszählung von 1990 besitzen heute 44000 Landwirte eine oder mehrere Belüftungsanlagen.

Ein Drittel der Anlagen weist ein Alter von 20 und mehr Jahren auf. Viele dieser Belüftungen verfügen noch über Axialventilatoren. Die steigenden Stockdrücke durch einen frühzeitigen Schnitt, höhere Einfuhrfeuchten sowie der Einsatz von Sonnenkollektoren bedingen druckstabile Radialventilatoren. Das erste Kapitel beschreibt die Wahl eines geeigneten Ventilators aus der aktuellen Liste der FAT-gemessenen Heulufte-Daten.

Eine Hektare (ha) frisch gemähtes Heugras ergibt ungefähr 30 Dezitonnen (dt, 1 dt = 100 kg) Trockensubstanz (TS). Dieses Gras mit beispielsweise 18% TS enthält noch 136,7 dt Wasser. Es muss dem Gut bei der Heubereitung bis auf den kleinen Rest von 4,1 dt entzogen werden, damit das Futter bei zirka 88% TS lagerfähig wird. Mit einer Belüftungsanlage von 100 m² Grundfläche ist es nicht möglich diese Wassermenge zu entziehen, ohne dass das Heu verdirbt. Nur mit grossem technischem Aufwand, zum Beispiel mit einer Graströcknungsanlage, beträgt die Entzugsdauer noch drei bis vier Stunden. Diese hohe Trocknungskapazität verursacht einen grossen Energieaufwand (zirka 1300 Öl und 400 kWh Strom für 30 dt TS).



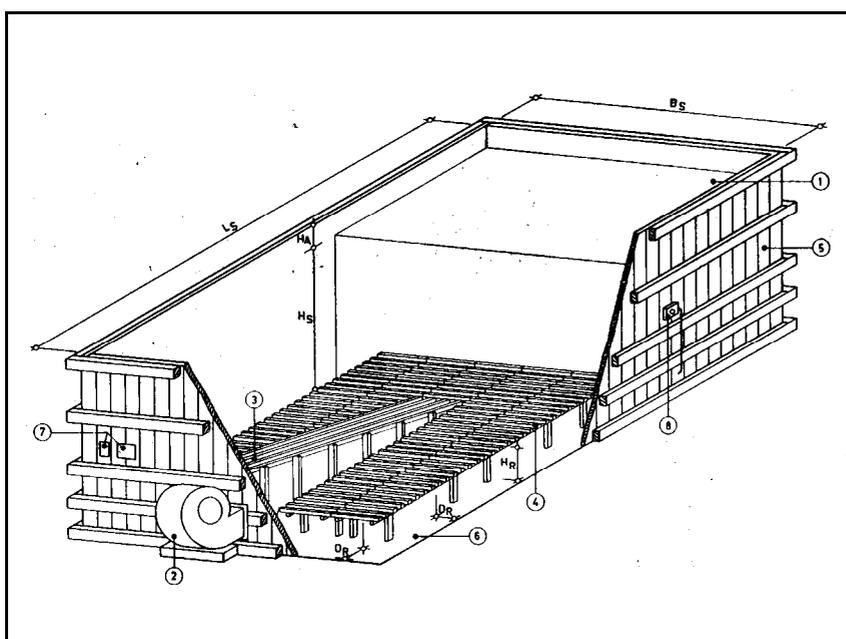
Je nach Anwekgrad verdunstet noch viel Wasser auf dem Heustock. Eintägiges Heuen (Trockensubstanz etwa gleich wie Anwek-silage) kommt nur in Ausnahmefällen und in reduzierter Menge in Frage. Bodenheu schwitzt etwas Wasser durch die Eigenerwärmung aus.

Die billigere Art ist immer noch die Vortrocknung auf dem Feld mittels Sonnenwärme. J.nach Grad der Vortrocknung sind mit der Heubelüftung noch erhebliche Wassermengen zu verdunsten. Das Säulendiagramm zeigt, dass mit dem Verfahren «Warmbelüftung» (Sonnenkollektoren, Wärmepumpen oder Warmluftofen mit Ölheizung) mehr als dreimal soviel Wasser entzogen werden muss, wie im Verfahren «Nachtroknen»). Das letztere benötigt jedoch mehr als zwei Schönwettertage für die Vortrocknung auf dem Feld, was mit einem höheren Wetterisiko verbunden ist und grössere Feldverluste verursacht. Obenbelüftungen, Heuturm oder Heuberg sowie Anlagen mit Entlüftungen eignen sich höchstens für eine Nachtroknung, nicht aber für eine Heutrocknung unter 70% TS. Solche Anlagen können auch kaum mit einem Sonnenkollektor ausgerüstet werden.

1.2 Planung einer Heubelüftung

1.2.1 Flächentrocknungsanlage

Untenbelüftungsanlage



- 1: Heustock
- 2: Ventilator
- 3: Einlaufkanal
- 4: Rost
- 5: Ein wandung
- 6: Boden
- 7: Steuergerät
- 8: Luftdruckkontrolle

- LS: Stocklänge
- BS: Stockbreite
- HS: Stockhöhe
- HA: Absetzhöhe
- HR: Rosthöhe
- DR: Abstand zwischen Rost und Einwanderung

Heubedarfsberechnung	
16 Kühe mit 4800 kg Milch; 16 kg TS = 256 kg TS	
4 Aufzuchtrinder 6-12 Mt.; 4,5 kg TS = 18 kg TS	
5 Aufzuchtr. 13-18 Mt.; 6,5 kg TS = 32,5 kg TS	
3 Aufzuchtr. 19-24 Mt.; 8,5 kg TS = 25,5 kg TS	
Total pro Tag	332 kg TS
Bedarf während 200 Tagen	66400 kg TS
davon 1/3 Heu	22130 kg TS
15% Zuschlag (Reserve)	3320 kg TS
Total für die Winterperiode	25450 kg TS
Heugewicht	28700 kg Heu
Verkauf von Heu	10 900 kg Heu
Total	39 600 kg Heu

Raumgewicht von Heu mit 88% TS in kg/m³		
Nutzungsstadium	Stockhöhe	
	3 m	6 m
2 - 3; früh - mittelfrüh	90	100
3 - 4; mittelfrüh- mittelspät	80	90
4 - 5; mittelspät - spät	70	80

Die Untenbelüftungsanlage mit Flächenrost gemäss Abbildung ist die Regel bei einer Neu- und Umplanung. Anlagen mit Haupt- und Nebenkanälen setzen sich nicht durch, weil die Heustöcke ungleichmässig abtrocknen.

1.2.2 Heubedarf

Der Heubedarf ist abhängig :

- von der Zahl und Art der rauhfutterverzehrenden Tiere
- von der Dauer der Winterfütterungsperiode (150 bis 210 Tage)
- vom Heuanteil in kg TS in der Futtermischung (unter Berücksichtigung der Silage, des Trockengrases, Energieausgleichs- und Milchleistungsfutter, Futterrüben, usw.)
- vom allfälligen regelmässigen An- oder Verkauf von Heu

Nebstehende Tabelle zeigt ein Rechenbeispiel. Ein zweiter Weg zur Berechnung der Heumenge führt über den geschätzten Ernteertrag mit den entsprechenden Heuflächen.

1.2.3 Raumgewicht

Nach einer FAT-Erhebung schwankt das Raumgewicht zwischen 51 und 129 kg TS/m³, also im Verhältnis 1 : 25. Es ist deshalb nicht möglich, eine Normzahl für die ganze **Schweiz anzugeben**, hierfür alle Heustöcke zutrifft.

Neuere Werte zeigen, dass das Nutzungsstadium, bzw. der Rohfasergehalt des Heus das Raumgewicht beeinflusst. Auch die Stockhöhe spielt eine Rolle.

Folgende Einflüsse erhöhen das Raumgewicht:

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

Die Einlagerung mit dem Greifer reduziert das **Raumgewicht gegenüber der Einlagerung mit dem Gebläse bis zu 20%**.

1.2.4 Stockvolumen

Aus der Heubedarfsberechnung und dem Raumgewicht lässt sich das notwendige Stockvolumen bestimmen.

1.2.5 Stockgrundfläche AS

Die Stockhöhe (HS in der Abbildung «Untenbelüftungsanlage») soll auf maximal 5 m begrenzt werden. Höhere Stöcke bedingen zu grosse Luftdrücke, um die Trocknungsluft durch den Stock zu pressen.

Bei einer Neuplanung strebt man bei reiner Heufütterung als Richtzahl eine Stockgrundfläche von 7 bis 8 m² pro GVE an. Ein hohes Raumgewicht (100 kg/m³) vermindert die Richtzahl um 1 bis 2 m². Ein tiefes Raumgewicht (70 kg/m³) bewirkt das Gegenteil.

Die Stockgrundfläche richtet sich nach dem Entwurfsplan des Architekten oder nach den baulichen Gegebenheiten. Der Grundriss hängt oft vom Binderabstand ab und nicht von der zweckmässigen Grösse für die Belüftung. Bei einem gegebenen Stockvolumen und bekannter Stockgrundfläche ergibt sich die Stockhöhe.

Schmale lange Stöcke, zum Beispiel 5 x 20 m, lassen sich schwieriger belüften als quadratische oder rechteckige mit einem Seitenverhältnis von 1:1,5. Die maximale Breite eines Heustocks hängt von der Abladeeinrichtung ab. Das Fördergebläse mit Teleskoprohr und Schwenkbogenverteiler eignet sich für eine Streubreite bis 14 m.

Mit Vorteil unterteilt man Stöcke mit einer Grundfläche von mehr als 150 m². Zwischen den Stöcken braucht es keine Einwandung. Es genügt, an der Trennstelle den Rost zu unterbrechen.

Für die Unterteilung grösserer Stöcke sprechen folgende Gründe:

Berechnung des Stockvolumens

$$\text{Stockvolumen in m}^3 = \frac{\text{Totalmenge Heu in kg}}{\text{Raumgewicht in kg/m}^3}$$

$$\text{Beispiel: } \frac{39600 \text{ kg}}{80 \text{ kg/m}^3} = 495 \text{ m}^3$$

Berechnung der Stockhöhe

$$\text{Stockhöhe HS in m} = \frac{\text{Stockvolumen in m}^3}{\text{Stockgrundfläche in m}^2}$$

$$\text{Beispiel: } \frac{495 \text{ m}^3}{110 \text{ m}^2} = 4,5 \text{ m}$$

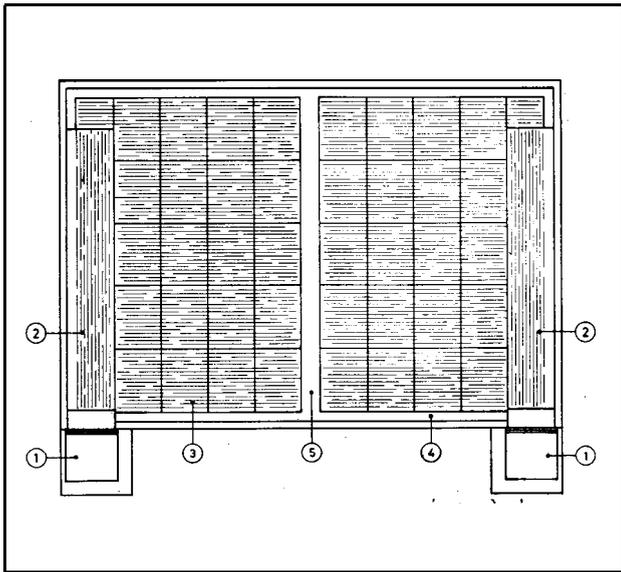
Richtwerte Heustock

Grundfläche: 7 - 8 m² pro GVE
(max. 150 m²)

Höhe: max. 5 m

Form: quadratisch oder rechteckig,
(max. 1:1,5)

Belüftung zweier Heustöcke



Eine Trennwand ist nicht notwendig, wenn beide Stöcke parallel beschickt werden. Die Ventilatoren (1) mit den Zufuhrkanälen (2) fördern die Luft unter zwei Rosthälften (3). Der Abstand (5) zwischen den Rosten entspricht dem doppelten Abstand zwischen Rost und Einwandung (4).

Kleine Einführmengen lassen sich auf grossen Stöcken nicht gleichmässig verteilen. An Stellen, die kaum oder nicht durch das feuchte Futter überdeckt werden, entweicht unverhältnismässig viel Luft ungenutzt durch die bereits trockenen Flächen.

Die Luftansaug- und Zufuhrkanäle müssen sehr grossdimensioniert werden, um keine zu hohen Druckverluste zu erhalten. Ein 15 kW-Ventilator benötigt bereits einen Querschnitt von 4 m².

- Für die Anwendung von Sonnenkollektoren eignen sich grosse Heustöcke weniger gut. Man strebt eine Luftanwärmung von mindestens 5 bis 6° C an.
- Anlagen mit Wärmepumpen oder Luftentfeuchtern bedingen für grosse Stöcke hohe elektrische Anschlusswerte und weisen einen grossen Investitionsbedarf aus.

1.2.6 Separater Heu- und Emdstock?

Trotz Unterteilung von Stöcken über 150 m², vermeidet man separate Heu- und Emdstöcke. Diese Aufteilung halbiert die Trocknungskapazität und verdoppelt die Trocknungsdauer. Zwei gleichzeitig beschickte Stöcke mit zwei Ventilatoren bringen dagegen eine grosse Trocknungsleistung. Wird das gesamte Heu innert kurzer Zeit auf die Hälfte der Stockfläche eingeführt, entstehen pro Einfuhrtag grosse Schichthöhen, welche erhöhte Luftdrücke erfordern. Dies führt beim Trocknen zu Problemen (Schimmelbildung) infolge allzulanger Lüftungszeiten.

1.2.7 Funktionsmasse

Bei der Planung einer Belüftungsanlage vergisst man oft Masse, die entweder das Stockvolumen oder die Funktion der Belüftung mindern. Die Rosthöhe HR beträgt für Stöcke bis rund 50 m² Grundfläche 30 cm, von 50 bis 100 m² 35 cm und für grössere Stöcke 40 cm.

Das Absetzen des Heus während der Trocknung benötigt eine Höhe H_{avon} von etwa 20% der Einfüllhöhe. Bei 1 m Schichthöhe sind dies 20 cm.

Die Richtzahl DR bestimmt das Mass zwischen dem Rost und der Einwandung. Sie errechnet sich aus dem Verhältnis Rostfläche zur Stockgrundfläche. Die folgende Tabelle enthält die Richtwerte.

Abstand (DR) in cm von der Einwandung zum Rost in Funktion der Stockgrundfläche													
Stockbreite (BS) in m	Stocklänge (LS) in m												
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	30	30	35	35	35	35	35	40	40	40	40	40	40
5	35	40	40	40	40	45	45	45	45	45	45	50	50
6	40	40	45	45	45	50	50	50	50	55	55	55	55
7	45	45	50	50	55	55	55	55	60	60	60	60	65
8	45	50	55	55	55	60	60	65	65	65	65	70	70
9	50	55	55	60	60	65	65	70	70	70	70	75	75
10	55	55	60	65	65	70	70	70	75	75	80	80	80
11	55	60	65	65	70	70	75	75	80	80	85	85	85
12	55	60	65	70	70	75	80	80	85	85	85	90	90
13	60	65	70	70	75	80	80	85	90	90	90	95	95
14	60	65	70	75	80	80	85	90	90	95	95	100	100

<----- Stöcke über dieser Fläche unterteilen

Richtwerte Belüftung	
Luftmenge:	0,11m ³ /s und pro m ² Stockfläche
Luftdruck inkl. Sonnenkollektor:	4 mbar für 4 m Stockhöhe 5 mbar für 5 m Stockhöhe

1.3 Lüfterwahl

Die Wahl eines Ventilators richtet sich zuerst nach der Stockgrundfläche und der Stockhöhe. Diese bestimmen Luftmenge und Luftdruck des Ventilators. Als weitere Auswahlkriterien bieten sich die Vergleiche von Wirkungsgrad und Lautstärke (Lärm) an. Der Standort des Lüftermotors (Höhe über Meer, Umgebungstemperatur) beeinflusst die elektrische Leistungsaufnahme. Auch der zu zahlende Preis, die Garantieleistungen, usw. spielen eine Rolle. Ein Berechnungsschema mit Beispiel ist auf der folgenden Seite aufgeführt.

Zu erwartender Druckverlust durch den Heustock (PF) und durch Bauteile (Z)			
Luftmenge QW (m ³ /s pro m ²)		0,11	0,07
Pflanzenbestand nach AGFF*):		mbar pro m Stockhöhe	
		PF1	PF2
ausgewogen gräser- oder kräuterreich	A	1,6	1,1
kleereich	G, K L	1,2 2,4	0,8 1,5
Bauteil		Zuschläge m bar	
		Z1	Z2
Sonnenkollektor		1,2	0,5
Wärmepumpe		1,5	0,6
Luftentfeuchter		0,7	0,3
*) Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus AGFF			

1.3.1 Luftmenge QW

Die Luftmenge QW hängt von der Stockfläche AS ab und beträgt 0,11m³/s pro m² Fläche. Wer in der Regel das Heu am zweiten Tag nach dem Schnitt einführt, kann die Luftmenge bis 10% reduzieren. Man erhöht die Luftmenge bis zu 10%, wenn meistens schweres Welkheu (unter 60% TS) getrocknet wird.

Zuviel Luft ergibt einen erhöhten Druck mit entsprechendem Stromverbrauch. Zudem lässt sich mit mehr Luft die Trocknungsleistung kaum steigern.

1.3.2 Luftdruck pW

Zur Luftmenge gehört der notwendige Druck des Ventilators. Den Druck pW beeinflussen die Stockhöhe HS, der Pflanzenbestand und die Luftmenge QW. Für den abzuschätzenden Druck pW setzt man die halbe Stockhöhe ein.

Zusätzliche Massnahmen zur Lüfterwärmung wie Sonnenkollektor, Wärmepumpe und Luftentfeuchter erfordern Zuschläge Z. Einzig der Warmluftofen mit Ölheizung oder andere Geräte mit Hilfsventilatoren benötigen keinen Zuschlag.

1.3.3 Wahl des Ventilators

Aus der erforderlichen Luftmenge QW und dem notwendigen Druck pW lässt sich der geeignete Ventilator aus der Tabelle (folgende Seite) wählen. Bei einem Luftdruck von 5 mbar (=gerundeter Wert von 4,8) folgt man der Kolonne V8 senkrecht von oben nach unten.

Alle Ventilatoren, die bei 5 mbar eine Luftmenge von 10,9 bis 12,1 m³/s (10,9 m³/s = 12,1 - 10%) in der Zeile H1 aufweisen, kommen für eine erste Wahl in Frage. Das sind alle Ventilatoren mit Ausnahme der FAT-Nr. 0001. Der Typ XI scheidet aus.

1.3.4 Minimalluftmenge QK

Einige Ventilatoren vermindern ihre Luftleistung bei einem höheren Druck stark, das heißt bei grösserer Stockhöhe liefern sie zu wenig Luft. Ein Lüfter soll nach dem letzten Emd immer noch mindestens 0,07 m³/s pro m² Stockfläche fördern.

1.3.5 Luftdruck pK bei Minimalluftmenge

Zur Minimalluftmenge QK gehört auch der entsprechende Luftdruck pK. Dieser geht von einer kleineren Luftmenge QW von 0,07 m³/s pro m² aus (Tabelle Druckverlust). Die Berechnung von pK erfolgt mit der gesamten Stockhöhe HS. Diese Bedingung erfüllen alle restlichen Ventilatoren (Typen X, Y und Z)

1.3.6 Vorhandene Druckreserve pD

Damit der Ventilator auch noch Luft fördert, wenn ausnahmsweise einige Wagen schwereres Futter eingeführt werden, ist eine Druckreserve von mindestens 2 mbar erwünscht. Der erforderliche Maximaldruck pmax in den Heublüfter-Daten (V3, H3) übersteigt in diesem Falle den Luftdruck pK um 2 mbar oder mehr. FAT-Nr. 0004 oder Typ Z hat zu wenig Druckreserve und scheidet aus.

Berechnungsschema mit Beispiel

Stockfläche AS (aus Kap. 1.2.5) 110 m²

Stockhöhe HS (aus Kap. 1.2.5) 4,5 m

Ventilatorwahl:

Luftmenge QW (m³/s):
(AS x 0,11) - 10% 10,9 bis 12,1

Luftdruck pW (mbar):
0,5 x HS x PF1+Z1 4,8

Kontrolle:

Luftmenge QK (m³/s):
AS x 0,07 min. 7,7

Luftdruck pK (mbar):
HS x PF2 + Z2 5,5

Luftdruck pD (mbar):
pK + 2 7,5

FAT-Nr.	QW (m³/s)	QK (m³/s)	pmax- pD (mbar)	Nel/ NelN (%)	Eta (%)	Lärm (dBA)	Preis F r .
0001	7,1	-	-	-	-	-	-
0002	11,1	10,6	3,6	14	49	73	7500.-
0003	11,8	11,0	4,1	17	43	72	8000.-
0004	10,9	8,8	0,6	-	-	-	-

Auszug aus der Zusammenfassung der von der FAT gemessenen und umgerechneten Heulüfter Daten (Eine ausführliche Liste ist an der eidg. Forschungsanstalt FAT in Tänikon erhältlich)

	VI	V 2	v 3	v 5		V 8			V11		
	FAT Nr.	Ventilatorenliste	(mm WS) p mbar	(20) 2	(30) 3	(40) 4	(50) 5	(60) 6	(70) 7	(80) 8	
HI -> H2 -> H3 ->	0001 84 RE	Firma A TYP X1 Lärm dB(A) v 68 s 74	n = 960 U/min NeIN = 5.5 kW pmax = 10.1 mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	8,7 5,5 31	8,2 5,9 42	7,7 6,1 51	7,1 6,0 59	6,4 6,1 63	5,9 6,3 66	5,2 6,3 66
HI -> H2 -> H3 ->	0002 84 RD	Firma A TYP X Lärm dB(A) v 71 s 74	n = 980 U/min NeIN = 9.2 kW pmax = 11.1mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	13,6 9,4 30	13,0 9,9 39	12,3 10,3 48	11,6 10,5 55	10,6 10,5 60	9,7 10,6 64	8,6 10,5 66
HI -> H2 -> H3 ->	0003 84 RD	Firma B TYP Y Lärm dB(A) v 71 s 73	n = 1043 U/min NeIN = 10.0 kW pmax = 11.6mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	13,5 10,3 26	12,9 10,9 36	12,4 11,2 44'	11,8 11,7 51	11,0 11,5 57	10,2 11,7 61	9,3 11,7 64
HI -> H2 -> H3 ->	0004 84 RD	Firma C TYP Z Lärm dB(A) V 69 S 71	n = 660 U/min NeIN = 7.5 kW pmax = 6.9mbar	Q (m³/s) Nel (kW) Eta (%)	15,6 7,3 43	14,1 8,0 53	12,6 8,1 62	10,9 8,4 65	8,8 8,3 64		

1.3.7 Elektrische Leistungsaufnahme Nel

Der Elektromotor des Ventilators erträgt eine gewisse Überbelastung. Diese beträgt für Standorte bis 700 m über Meer 20 % und darüber 13 % der Nennleistung NelN. Die Dichte der Luft beeinflusst deren Kühlwirkung. Auch höhere Temperaturen verringern die Dichte. Deshalb begrenzt der Einsatz von Sonnenkollektoren oder Wärmepumpen ebenfalls die Überbelastbarkeit auf ungefähr 13 % (auch unter 700 m über Meer). In den Heulüfter-Daten sucht man den grössten Wert der aufgenommenen Leistung Nel (H2, V5 bis V8) und teilt ihn durch die Nennleistung NelN(H2, V3). Die Multiplikation mit 100 ergibt die Überbelastung in %.

Fand eine Überprüfung der elektrischen Anschluss-Verhältnisse statt? Der vorhandene Querschnitt der Anschlussleitung und deren Absicherungsart (normal oder träge) zeigen, welche maximale Leistung des Elektromotors zur Verfügung steht. Nebestehende Tabelle enthält eine Übersicht.

1.3.8 Wirkungsgrad Eta

Der Ventilator gibt mechanische Leistung bestehend aus Luftmenge und Luftdruck ab. Der Elektromotor bezieht Leistung aus dem Stromnetz. Das Verhältnis zwischen der abgegebenen (Luftmenge und Luftdruck) und der bezogenen Leistung (Kilowatt) heisst Wirkungsgrad. Je grösser der Wirkungsgrad ist, desto besser setzt der Ventilator (Elektromotor inbegriffen) die bezogene Leistung aus dem Stromnetz um.

Der Vergleich der Wirkungsgrade von Ventilatoren nur bei einem bestimmten Druck, z.B. 2 mbar, täuscht ein falsches Ergebnis vor. Im Verlauf der Heuernte steigt der Druck von 2 mbar bis zum Luftdruck pK, im Berechnungsbeispiel bis zu 5,5 mbar.

Es liegt deshalb nahe, den Wirkungsgrad über den ganzen Einsatzbereich zu vergleichen. Dafür bildet man das arithmetische Mittel der Wirkungsgrade. Differenzen von 2 bis 3% sind unbedeutend. Verschiedene Motorenfabrikate, ungleich gespannte Keilriemen, gerundete Rechenwerte, usw. führen zu diesen Unterschieden. Differenzen über 5% beeinflussen jedoch die Wahl des Lüfters.

Minimale Absicherung, Leiterquerschnitte und Überlastbarkeit von Ventilatormotoren

Elektrischer Leiterquerschnitt mm ²	Absicherung in Ampere Normal	Nennleistung NelN		Max. zulässige elektr. Leistung in kW bei Überbelastung von		
		Träge kW	PS	20 %	13 %	
2,5/1,5	15	10	3	4	3,6	3,4
4/2,5	20	15	4	5,5	4,8	4,5
4/2,5	20	15	5,5	7,5	6,6	6,2
6/4	25	20	7,5	10	9	8,5
10/4	40	20	9	12)	10,8	10,2
10/6	40	25	10	13,5*)	12	11,3
10/6	40	25	11	15	13,2	12,4
16/10	50	40	15	20	18	17
16/10	60	40	18,5	25	22,2	20,9
16	60	50	22	30	26,4	24,9

*) Keine Normmotoren

Bewertung der Wirkungsgrade auf der Basis von 203 Radialventilatoren - Stand 1. Januar 1991

Luftdruckbereich mbar	Wirkungsgrad Eta in %			
	schwach	genügend	gut	ausgezeichnet
2-4	unter 38	36 - 42	43 - 47	über 47
2-5	unter 42	42 - 46	47 - 50	über 50
2-6	unter 45	45 - 49	50 - 53	über 53
2-7	unter 47	47 - 52	53 - 54	über 54
2-8	unter 49	49 - 52	53 - 55	über 55

Bewertung des Lärms auf der Basis von 203 Radialventilatoren - Stand 1. Januar 1991				
Lautstärke in dB(A)				
Messung von	sehr laut	laut	leise	sehr leise
vorne	über 71	69-71	67-68	unter 67
seitlich	über 74	72-74	70-71	unter 70

Ferner zeigt die Tabelle der Wirkungsgrad-Bewertung, ob ein Ventilator schwache, genügende, gute oder ausgezeichnete Werte aufweist.

1.3.9 Lärm

Bei Heubelüftungen mit Sonnenkollektoren ergeben sich in der Regel keine Lärmprobleme, weil die Ventilatoren in Luftkanälen stehen. Sollten trotzdem Schwierigkeiten auftreten, ist bei der Wahl des Ventilators auf seine Lärmemission zu achten. Die FAT-Liste der gemessenen Heublüfter führt ausschließlich Radialventilatoren auf. Nebenstehende Tabelle stellt die gemessenen Lärmwerte und deren Beurteilung von sehr laut bis sehr leise dar. Die Bandbreite vom tiefsten bis zum höchsten gemessenen Wert beträgt 20 dB(A), was eine Ver vierfachung der Lärmemission vom leisesten zum lautesten Ventilator bedeutet.

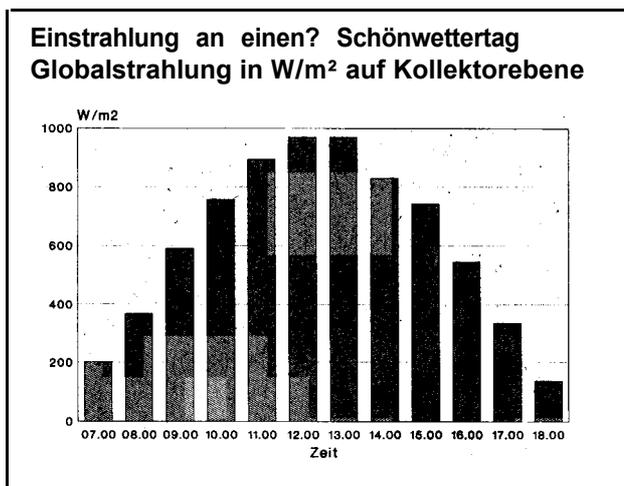
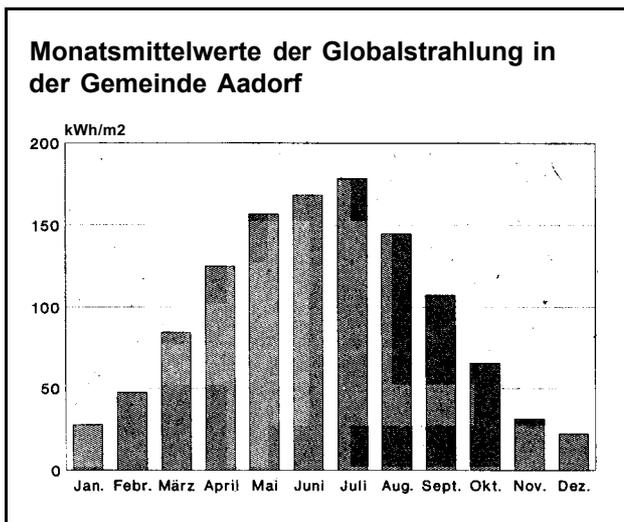
1.4 Weitere Auswahlkriterien

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

2 Grundlagen Sonnenkollektoren

2.1	Sonnenenergie-Angebot	64
<hr/>		
2.2	Funtionsweise	64
<hr/>		
2.3	Kollektor mit durchlässiger Abdeckung	65
<hr/>		
2.4	Kollektor mit dunkler Abdeckung	66
2.4.1	Eternitkollektoren	67
2.4.2	Ziegelkollektoren	67
2.4.3	Blechkollektoren	67
<hr/>		
2.5	Wichtige Kollektorkenngrößen	68
2.5.1	Luftherwärmung	68
2.5.2	Wirkungsgrad	68
2.5.3	Druckverlust	68

2 Grundlagen Sonnenkollektoren



2.1 Sonnenenergie-Angebot

Das Sonnenenergieangebot schwankt einerseits sehr stark im Jahresverlauf und andererseits im Verlaufe des Tages. Pro m² horizontale Fläche strahlen zum Beispiel in den fünf Monaten Mai bis September im Mittelland durchschnittlich 100 bis 180 kWh Energie ein (vgl. Beispiel Aadorf). An Schönwettertagen beträgt die Einstrahlung auf die Kollektorebene bis zirka 1000 W/m² oder als Mittelwert zwischen 8 und 18 Uhr zirka 600 W/m². Aus dieser Leistung kann ein Kollektor mit z.B. 45% Wirkungsgrad bei 10 stündiger Laufzeit an einem Tag 2,5 bis 3 kWh Energie pro m² gewinnen.

Der grosse vorteil der Sonnenenergie-Nutzung für die Heubelüftung in der Landwirtschaft liegt darin, dass sie in die Jahreszeit mit hohem Strahlungsangebot der Sonne fällt. Da aber Schönwetterperioden oft durch Gewitter gestört oder unterbrochen werden, ergeben sich nur wenige Heuerntegelegenheiten mit drei und mehr Tagen, welche für die Bodenheubereitung ausreichen würden. Um die Heubelüftungsanlagen effizienter zu betreiben, lassen sich Hilfsmittel wie Ölöfen, Wärmepumpen, Luftentfeuchter oder Sonnenkollektoren einsetzen.

Der Sonnenkollektor stellt die einzige Lösung dar, welche auf zusätzliche Fremdenergie verzichten kann. Zudem lässt sich die Heubelüftung gezielt an Tagen mit gutem Strahlungsangebot einsetzen. In der übrigen Zeit erfolgt der Betrieb intervallmässig, damit die Gärung des Heus unterdrückt werden kann.

2.2 Funktionsweise

Ein dunkler Gegenstand (Absorber) wird von den Sonnenstrahlen erwärmt und kann die gewonnene Wärme wieder an die Umgebung abgeben. Diesen Effekt nutzt der Sonnenkollektor aus.

Beim Luftkollektor gibt der dunkle Körper die Wärme an die vorbeiströmende Luft ab. Die Erhöhung der Lufttemperatur bewirkt ein Absinken der relativen Luftfeuchtigkeit und erhöht dadurch das Wasseraufnahmevermögen der Luft.

Je nach Anlagebedingungen kann der Wasserdampfgehalt pro m³ Luft um 50 bis 75% erhöht und der Stromverbrauch des Ventilators entsprechend reduziert werden. Dadurch ist es möglich, das Heu entweder feuchter einzuführen oder schneller zu trocknen. Der Landwirt wählt in der Regel eine Kombination der beiden Vorteile.

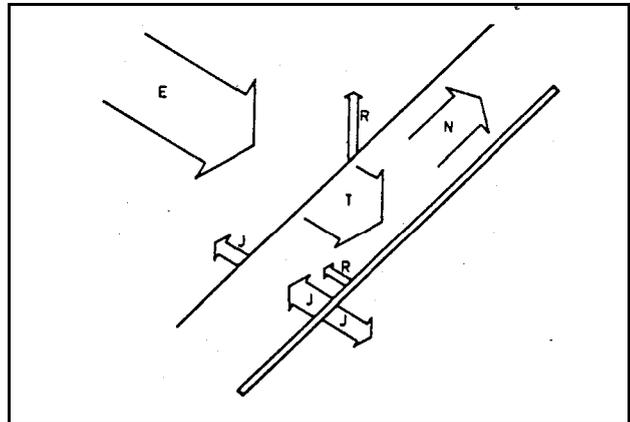
Es stehen grundsätzlich zwei verschiedene Kollektorbauweisen zur Verfügung.

2.3 Kollektor mit- lichtdurchlässiger Abdeckung

Der Kollektor mit der lichtdurchlässigen Abdeckung nutzt 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. Die Wärmestrahlung kann die Abdeckplatte nicht mehr durchdringen. Somit lässt sich die eingestrahlte Energie gut ausnutzen, da die Abstrahlung an die Umgebung gering bleibt.

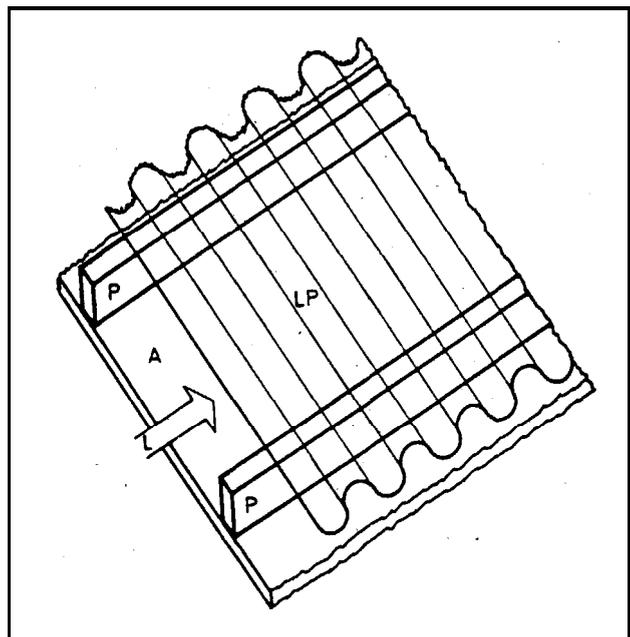
Weil die lichtdurchlässigen Kollektoren in der Landwirtschaft aus ästhetischen Gründen praktisch nicht mehr erstellt werden können, wird hier nicht auf weitere Details wie selektive Beschichtungen etc. eingegangen.

Sonnenkollektor schematisch



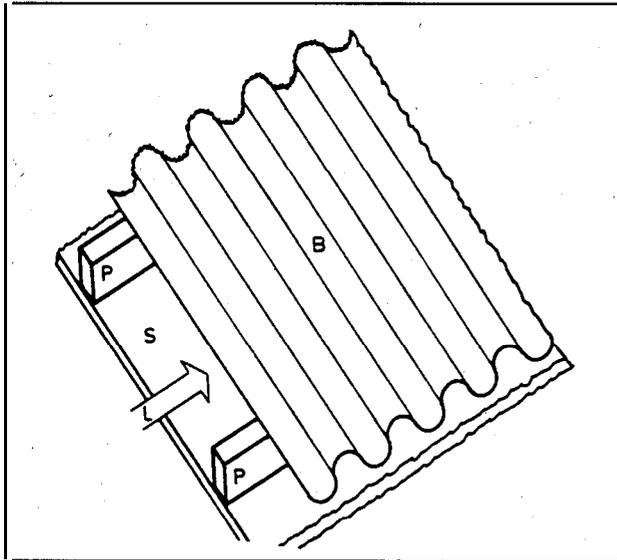
- E: Einstrahlung
- R: Reflexion
- J: Wärmeabstrahlung
- N: Nutzenergie
- T: beim lichtdurchlässigen Kollektor durchgelassene Strahlung
- T: beim Kollektor mit dunkler Abdeckung Wärmeübertragung an die Luft

Lichtdurchlässiger Kollektor



- P: Balken
- LP: Lichtplatter
- A: Absorber (Spanplatte schwarz)

Kollektor mit dunkler Abdeckung



- P: Balken
- B: Eternit- oder Blechplatte
- s: Spanplatt&

2.4 Kollektor mit dunkler Abdeckung

Beim Kollektor mit dunkler Abdeckung fällt die von den Sonnenstrahlen erzeugte Wärme auf der Abdeckung 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, desto höher wird aber auch der Druckverlust im Kollektor.

Kollektoreigenschaften	Vorteile	Nachteile
Lichtdurchlässige Abdeckung (z. B. Polyester, Polycarbonat, Glasplatten)	<ul style="list-style-type: none"> - hoher Wirkungsgrad - verhältnismässig kleine Verluste bei niedrigen Luftdurchsätzen und über den Kollektor streichenden Windbewegungen 	<ul style="list-style-type: none"> - ungenügende Festigkeit gegenüber Hagelschlag - Vergilbung und Alterung - brennbares Material - Aussehen ungünstig
Dunkle Abdeckung (z. B. Eternit, Blech, Ziegel)	<ul style="list-style-type: none"> - unauffällige Erscheinung - lange Lebensdauer - feuer- und hagelfest 	<ul style="list-style-type: none"> - etwas tieferer Wirkungsgrad - höhere Druckverluste vor allem bei Eternit - in windexponierten Lagen verminderte Leistung

2.4.1 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%. Zum Erreichen eines hohen Wirkungsgrades ist eine sorgfältige Planung mit der richtigen Kanalhöhe resp. Luftgeschwindigkeit notwendig.

2.4.2 Ziegelkollektoren

Der Ziegelkollektor wird an Standorten mit extremen Anforderungen an das Erscheinungsbild der Dächer eingesetzt sowie bei Umbauten. Generell muss hier mit eher niedrigen Wirkungsgraden von 30 bis 40% gerechnet werden. Eine optimale Auslegung und Luftführung wie beim Eternitkollektor ist wegen der Gefahr von «Falschluf» (Ziegelzwischenräume) nicht möglich. Ebenso stösst man mit dem Ausgleichen des schlechten Wirkungsgrades durch mehr Fläche an Grenzen des Machbaren.

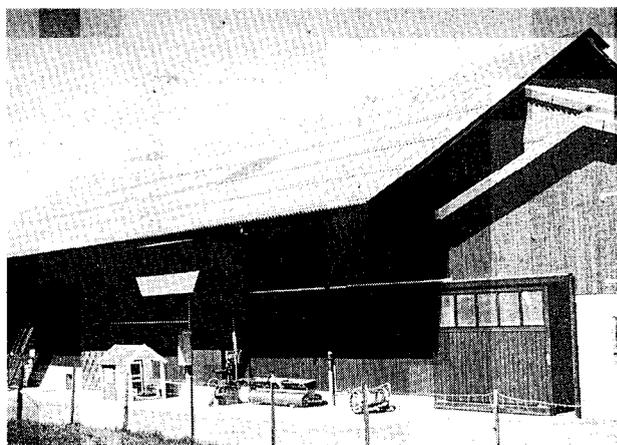
Etwas schwierig zu beurteilen sind die Auswirkungen von Niederschlägen auf Ziegelkollektoren. Es ist davon auszugehen, dass Ziegel relativ langsam trocknen und Feuchtigkeit durch die Ritzen angesaugt wird.

2.4.3 Blechkollektoren

Der Blechkollektor aus ein brennlackiertem 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 dachziegel-ähnliche Prägung hilft mit, das Erscheinungsbild zu verbessern.



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



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

2.5 Wichtige Kollektorkenngrößen

2.5.1 Lufterwärmung

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°C um 6° auf 21°C erwärmt, fällt ihre relative Feuchtigkeit auf ca. 60%. Solche Luft genügt für eine Fertigtrocknung des Welkheus bis etwa 88% TS. Erfahrungsgemäss befriedigt die Leistung eines Kollektors, wenn er bei 800 W/m² Sonneneinstrahlung eine Lufterwärmung von 6°C erreicht;

2.5.2 Wirkungsgrad

Je höher der Wirkungsgrad ist, desto besser fällt die Nutzung der eingestrahlten 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 Kollektortlänge abhängig. Lange Kollektoren sind gegenüber kurzen ungünstiger.

2.5.3 Druckverlust

Die zu erwärmende Trocknungsluft saugt der Heubelüftungs-Ventilator zwischen dem Dach und der darunter liegenden Luftleitplatte (Spanplatte) ab. Der Lufteinlass aus dem Freien und die Luftbewegung an der meist welligen Dachunterseite 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, falls die Luftleitungen gemäss den Richtlinien (Kapitel 3.7) dimensioniert werden.

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.

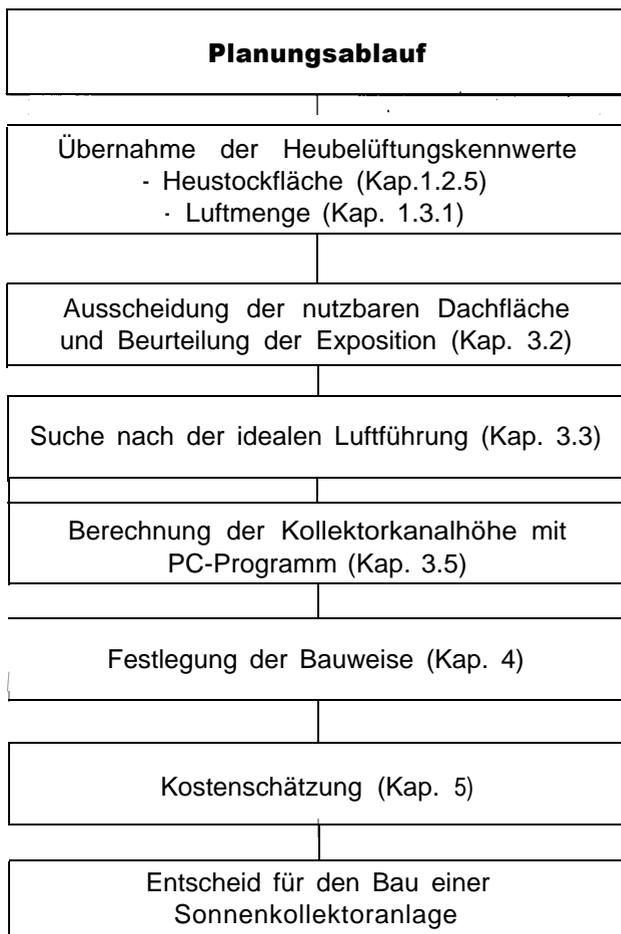
Richtwerte Sonnenkollektor

Lufterwärmung: mindestens 6°C
Druckverlust: maximal 1mbar

3 Planung von Sonnenkollektoranlagen

3.1 Planungsablauf	70
3.2 Nutzbare Dachflächen und Expositionen	71
3.3 Ideale Luftführung	73
3.4 Unterschiedliche Ansauglängen	76
3.5 Berechnung der Kanalhöhe mit PC-Programm	76
3.6 Sammelkanal	77
3.7 Luftkanäle	77

3 Planung von Sonnenkollektoranlagen



3.1 Planungsablauf

Die Planung einer Sonnenkollektoranlage beginnt damit, die Heustockfläche und die zu fördernde Luftmenge zu bestimmen. Sind zwei Heustöcke vorhanden, taucht die Frage auf, ob beide Stöcke gleichzeitig mit angewärmter Luft versorgt werden müssen. Trifft dies nach Auskunft des Landwirtes nie oder nur selten zu, so richtet sich die Kollektorauslegung nur nach dem grösseren Stock. Andernfalls müssen Kollektorkanäle und Luftzufuhrkanal für die gesamte Luftmenge von beiden Ventilatoren ausgelegt werden.

Anschliessend wird eine geeignete Dachfläche für den Sonnenkollektor ausgewählt. Die Kriterien dafür sind die Grösse (benötigte Fläche), die Exposition des Dachs, sowie möglichst kurze und leicht zu montierende Luftkanäle zum Ventilator.

Für die ausgewählte Dachfläche wird die Kanalhöhe berechnet. Die Resultate sind befriedigend, wenn die Lufterwärmung mindestens 6°C beträgt, der Druckverlust unter 1 mbar liegt und die Kanalhöhe höchstens der Balkenhöhe entspricht. In diesem Fall kann der Sonnenkollektor auf einfache Weise montiert werden. Können diese Werte nicht erreicht werden, ist eine andere Dachfläche (ev. grösser, länger oder breiter) zu wählen und die Berechnung der Kanalhöhe erneut durchzuführen.

Bei befriedigenden Resultaten werden der Sammelkanal und der Luftkanal dimensioniert, sowie die Bauweise der Sonnenkollektoranlage festgelegt.

Schliesslich können die Investitionskosten geschätzt und der Entscheid für den Bau einer Sonnenkollektoranlage getroffen werden.

3.2 Nutzbare Dachflächen und Expositionen

Die Leistung eines Kollektors hängt direkt mit seiner Fläche zusammen. Die Fläche sollte nicht zu klein sein, da sonst die Erwartungen nicht erfüllt werden und unter Umständen Schwierigkeiten mit der Luftführung auftreten können (zu wenig Querschnitt). Als Faustzahl für den Einstieg in die Planung gilt:

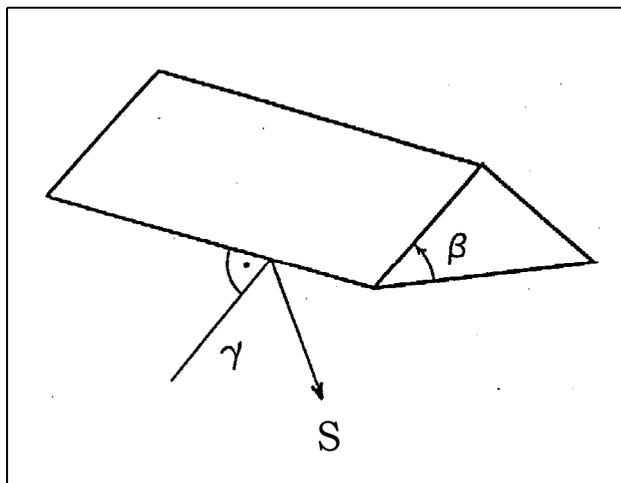
Eternitkollektorfläche = 2,5 x Heustockfläche

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

Aufgrund der Pläne lässt sich feststellen, welche Dachflächen sich für den Einbau des Sonnenkollektors eignen. Eine günstige Exposition setzt den Sonnenkollektor möglichst lang und vollständig dem Sonnenlicht aus. Für die Zeit von Mai bis September ergibt eine Dachfläche mit Südexposition und 20° Neigung die beste Ausnutzung der einfallenden Sonnenenergie.

Die gesamte Sonneneinstrahlung setzt sich aus der direkten und der diffusen (indirekten) Strahlung zusammen. Da in der landwirtschaftlichen Trocknung vor allem Schönwettertage mit hohem Anteil an direkter Strahlung interessieren, ist in der Tabelle die Ausnutzung der einfallenden Direktstrahlung für verschiedene Expositionen und Dachneigungen aufgeführt und zwar immer in Prozenten der Ausnutzung bei optimaler Stellung (Süd/20° Dachneigung). Daraus geht hervor, dass zum Beispiel eine nach Westen oder Osten (90°) ausgerichtete Dachfläche mit 10° Neigung gut 90% der Energie einer Südfläche mit 20° Neigung erbringt; bei 90° und 50° Dachneigung sind es nur noch gut 70%. Es ist ferner ersichtlich, dass dank des hohen Sonnenstandes im Sommer selbst Nordflanken eine Leistung von bis 85% einer Südfläche erbringen, sofern sie nur leicht (10°) geneigt sind.

Exposition des Kollektors



Die Ausrichtung (Exposition) eines Daches wird mit zwei Winkeln definiert:

γ : Abweichung der Dachfläche von der Südexposition

β : Dachneigung

Relative Ausnutzung der direkten Strahlung bezogen auf die ideale Exposition Süd und Dachneigung 20

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

Vergleich Kollektorleistungen

Typ und Luftrichtung zur Wellung	Zwischenraum bei Druckverlust, von 1 mbar	Wirkungsgrad in %	Temperaturerhöhung in °C
Eternit q.	10 cm	44	7,1
Blech q.	8 cm	52	8,5
Polycarbonat durchsichtig, q.	8 cm	58	9,5
Eternit l.	12 cm	42	6,9
Ziegel l.	10 cm	37	6,1

Kollektor mit 250 m² für Heustock von ca. 100 m², Sonneneinstrahlung 800 W/m², 500 m ü.M., Ansauglänge 10 m. Der Eternitkollektor erreicht bei einem Wirkungsgrad von 44% eine Lufterwärmung von ca 7°C. Ein Blechkollektor erwärmt die Luft um Ca 8,5°C und ein. durchsichtige; Kollektor um 9,5°C.

Der heute selten mehr erstellte durchsichtige Kollektorkönnte die Temperaturerhöhung des Eternitkollektors von ca. 7 C bereits mit einer Fläche von 180 m² erreichen. Oder anders ausgedrückt: Der schlechtere Wirkungsgrad des Eternitkollektors kann in vielen Fällen durch eine grössere Fläche aufgefangen werden. Die Differenz vom Ziegelkollektor zum Eternitkollektor lässt sich aber schwerlich, durch eine noch grössere Kollektorfläche ausgleichen. Die Luftführung sowie die vorhandenen Dachflächen setzen hier oft Grenzen.

Verläuft der First praktisch von Nord nach Süd, so ist eine Verteilung der Sonnenkollektor-Fläche auf beide Dachflanken sinnvoll. Steht bei Südflanken zuwenig Fläche zur Verfügung (niedrige Luftanwärmung, zu hoher Druckverlust resp. zu grosse Kollektorkanäle notwendig) so kann ein Teil des Norddachs miteinbezogen werden.

Für einen objektiven Vergleich der Varianten mit unterschiedlicher Exposition muss die mit dem PC-Programm berechnete Temperaturerhöhung einer Teilfläche mit der relativen Ausnutzung aus der Tabelle multipliziert werden (Wert in % geteilt durch 100).

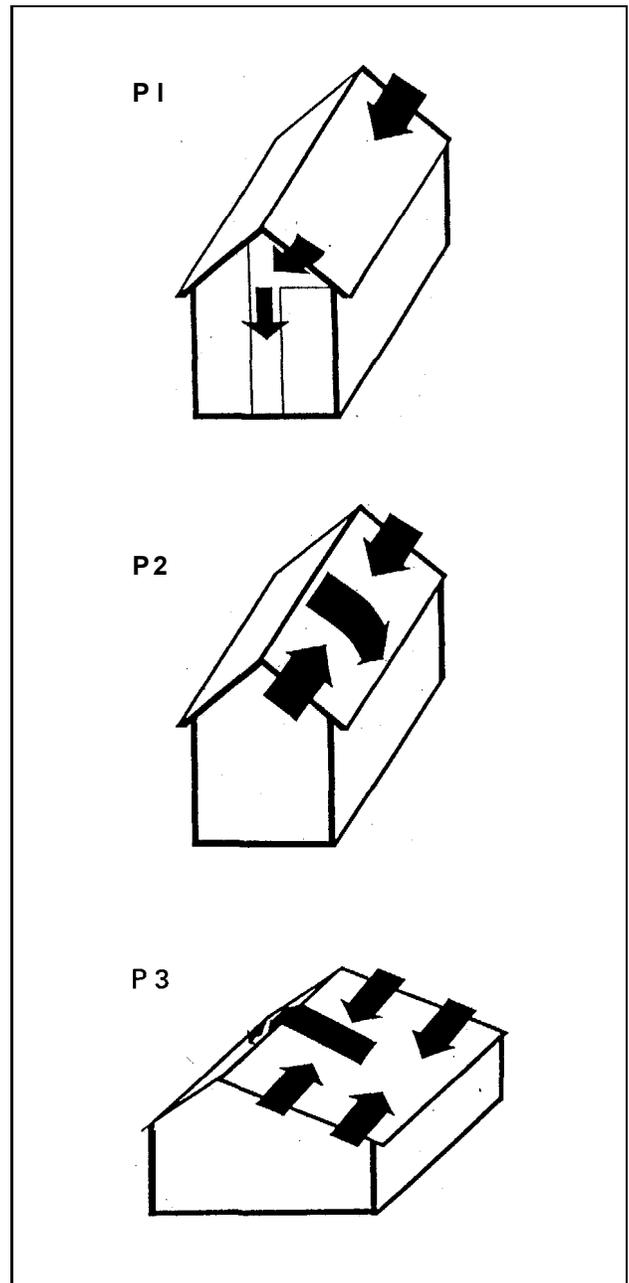
Lüftungskamine, Hocheinfahrten und Anbauten können den Sonnenkollektor beeinträchtigen. Das heisst sie behindern den Luftstrom in den Kollektorkanälen oder erschweren das Ansaugen der Luft. Solche Hindernisse gilt es schon bei der Wahl der Dachfläche zu erfassen und **allenfalls** zu umgehen.

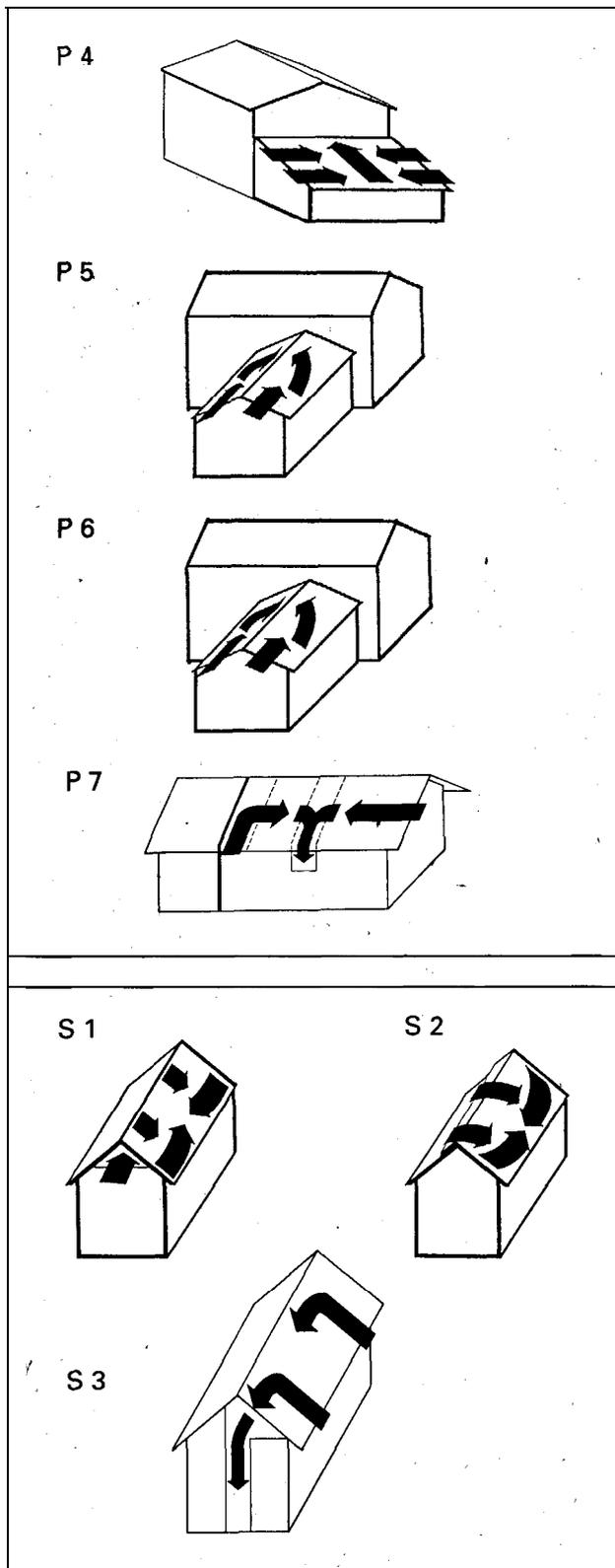
Ein Vergleich der Kollektorleistungen ist anhand eines Beispiels in der Tabelle ((Kollektorleistungen» wiedergegeben.

3.3 Ideale Luftführung

Der Kollektor und die Verbindung Kollektor-Belüftung hängt sehr stark vom Gebäudekonzept ab. Wir unterscheiden grundsätzlich zwischen Pfetten- und Sparrendächern. Bei den Pfettendächern sind die tragenden Balken parallel zum First und zur Traufe angeordnet, während sie bei den Sparrendächern von der Traufe zum First führen. Die nachfolgenden Luftführungsbeispiele sind deshalb in zwei Gruppen, nämlich Pfetten (P)- und Sparrendächer (S), eingeteilt.

- P 1** Eine einfache Lösung für eine Dachflanke mit einseitigem Ansaug- und Sammelkanal auf der gegenüberliegenden Seite.
- P 2** Diese Anordnung findet man oft bei dekenlastigen Scheunen. Die Luft wird von beiden Seiten angesaugt und in der Mitte durch einen unterkant Binder bündigen Sammelteil zum Lüfter gebracht. Bei dieser Variante ist der heruntergehängte Sammelkanal Bestandteil des Kollektors.
- P 3** Ein Fall, der besonders bei grösseren Bauten wie Boxenlaufställen anzutreffen ist. Der Stall liegt meistens südseitig unter einer nur leicht geneigten Dachfläche. Der Heustock befindet sich auf der Nordseite. Die Lüfter stehen (vor allem bei Greiferbetrieben) an der kalten, nördlichen Aussenwand: für eine Kaltbelüftung denkbar schlechte Voraussetzungen. Nachteile dieser Lösung sind lange Zufuhrkanäle. Dafür kommt zum Effekt des Sonnenkollektors noch der Vorteil der günstigeren Ansaugbedingungen.





P 4-7 Eine sehr kostengünstige Variante von Sonnenkollektoren ergibt sich bei Anbauten von Ställen an bestehende Scheunen oder erdlastige Bergehallen. Die meisten Ställe werden als Warmställe gebaut und weisen daher bereits eine isolierte Stalldecke auf.

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

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

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

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

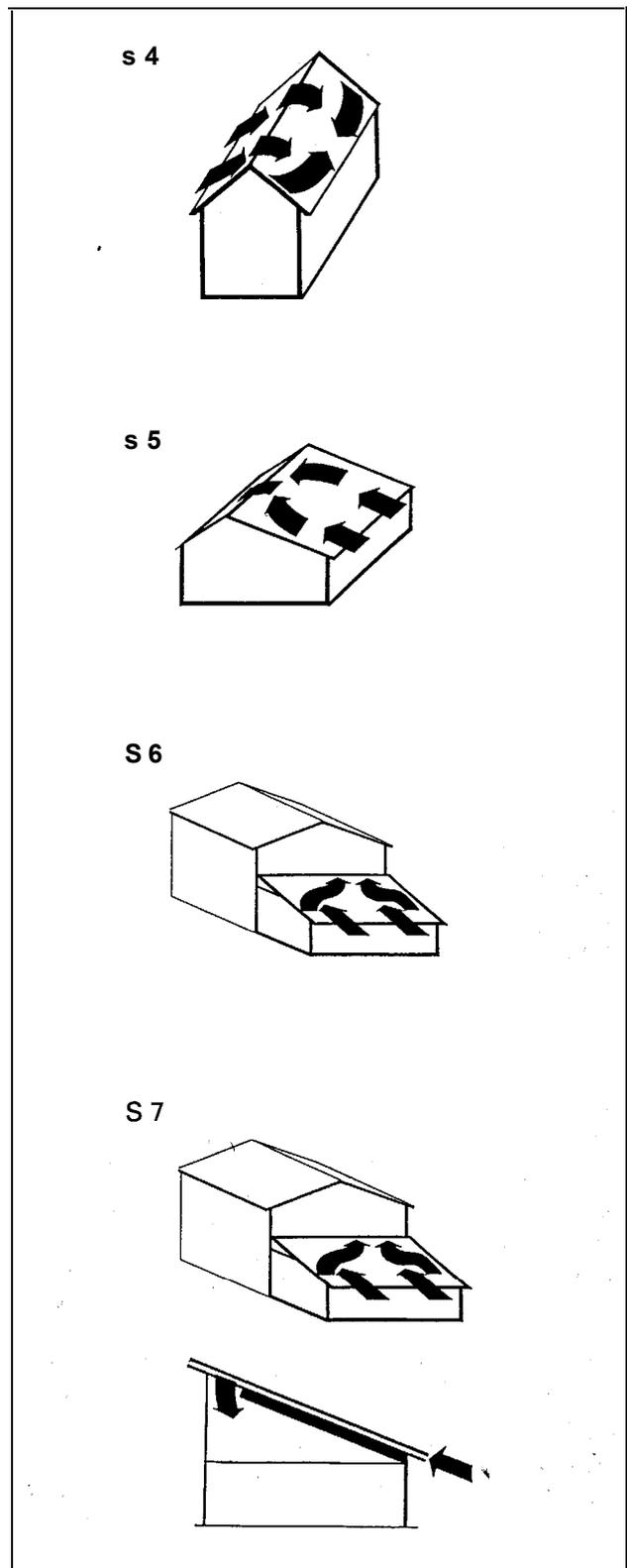
s 1 Hier führt ein Kanal im Firstdreieck die Luft zu den Kanälen. Ein Sammelkanal bringt sie der Traufe entlang zum Lüfter.

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

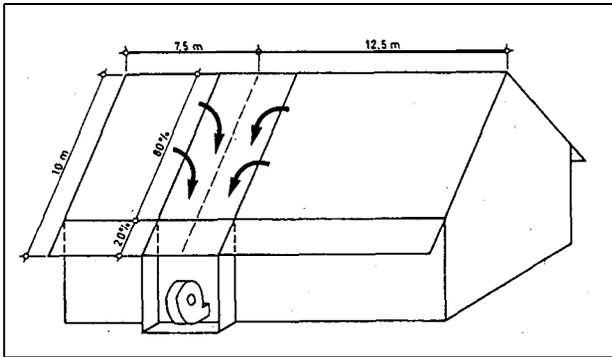
s 3 Die Luft strömt entlang der Traufe in die Kollektorkanäle. Ein Firstsammelkanal und ein senkrechter Zufuhrkanal sorgen für die Verbindung zum Lüfter.

- s 4** Bietet eine Lösung an für Dächer mit Nord-Südfirst, also bei Kollektoren mit einer Ost- und einer Westflanke.
- s 5** Die Luft strömt von der Traufe gegen den First, wird dort gesammelt und auf der Rückseite (oder unter Umständen auch seitlich) zum Lüfter gebracht.
- S 6** Zeigt eine Anbaulösung mit Nutzung des Zwischenraums Stalldecke-Dach. Der Sammelkanal wird quer zur Luftströmung am oberen Ende des Dachanbaus installiert.
- s 7** Weist der Anbau (ev. schon bestehend) eine horizontale Decke auf, so sollte für eine gute Wirkung (genügend Luftgeschwindigkeit) eine Luftleitplatte unter die Sparren eingezogen werden. Ein spezieller Luftleitkanal ist nicht nötig, wenn der Dreieckraum einigermaßen abgedichtet werden kann. Auch hier gilt es der Stallentlüftung Rechnung zu tragen.

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



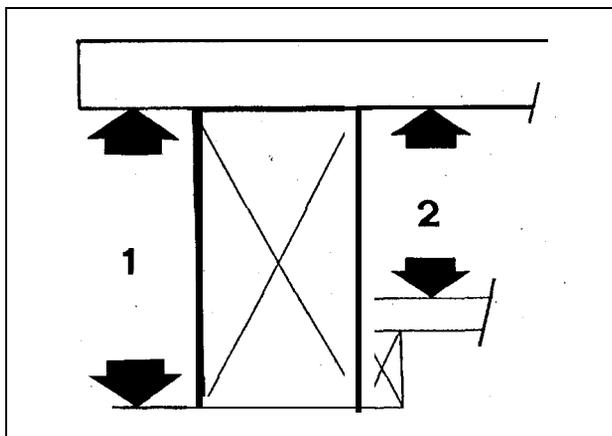
Unterschiedliche Ansauglängen



Ziel: Gleiche Lufteerwärmung in beiden Kollektorteilen

Weg: Berechnung der Temperaturerhöhung mit PC-Programm für beide Teillängen. Wahl der Kollektorkanalhöhen mit etwa gleicher Temperaturerhöhung und gleichem Druckverlust.

Kanalhöhe



1: Balkenhöhe

2: Kanalhöhe

3.4 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.

3.5 Berechnung der Kanalhöhe mit PC-Programm

Um einen optimalen Wirkungsgrad zu erreichen, muss die Luftgeschwindigkeit und somit die Kanalhöhe richtig gewählt werden. Für die Bestimmung der Kanalhöhe steht das PC-Programm «Soko» zur Verfügung. Das Programm berechnet bei gegebener Kollektorstärke und -breite die Luftgeschwindigkeit im Kollektor, den Druckverlust, den Wirkungsgrad sowie die Temperaturerhöhung der Trocknungsluft bei einer Sonneneinstrahlung von 800 W/m^2 . Alle Resultate werden in Abhängigkeit der Kanalhöhe angegeben (zehn verschiedene Kanalhöhen mit einem Abstand von je einem cm). Zur Wahl stehen vier verschiedene Dachmaterialien. Die detaillierte Beschreibung des PC-Programms befindet sich im Anhang 2.

Die Kanalhöhe wird so gewählt, dass die Lufteerwärmung mindestens 6°C und der Druckverlust weniger als 1 mbar beträgt. Für eine einfache Montage sollte die Kanalhöhe höchstens so gross wie die Balkenhöhe sein.

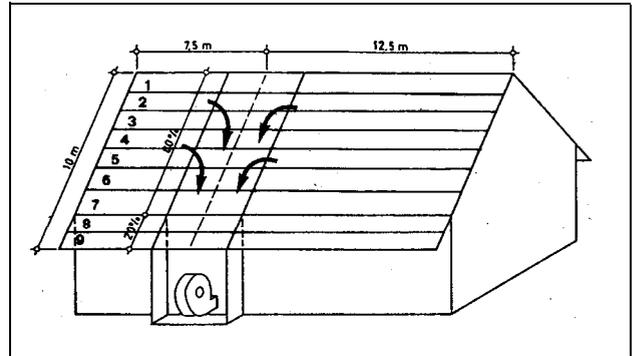
Die Kanalhöhe kann ohne PC-Programm anhand von Tabellen berechnet werden («Dimensionierung von Sonnenkollektoren für die Heubelüftung», FAT Bericht Nr. 325).

3.6 Sammelkanal

Beim Sammelkanal sollen Luftgeschwindigkeiten unter 5m/s (normal ca. 4 m/s) eingehalten werden. Es ist jedoch nur die effektiv in jedem Kanalabschnitt vorhandene Luftmenge zu berücksichtigen. Münden Kollektorkanäle direkt in den Lüfterraum, so ist dieser Anteil für die Berechnung des Sammelkanalquerschnittes von der Gesamtluftrate abzuziehen.

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

Sammelkanal im Pfettendach



3.7 Luftkanäle

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

Beispiel Berechnung Sammelkanal

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

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

7 Kollektorfelder münden in den Sammelkanal.
Luftdurchsatz pro Feld: ca. 1 m²/s

Breite des Sammelkanals (Binderabstand im Licht): 5m

Zunahme der Sammelkanalhöhe pro Kollektorfeld für eine max. Luftgeschwindigkeit von 4m/s:

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

1. Feld mindestens Kollektorkanalhöhe oder 5 cm freier Durchlass
2. Feld mindestens 10 cm

7. Feld mindestens 35 cm

4 Bau von Kollektoranlagen

4.1	Kollektoren	80
4.1.1	Im Pfettendach	80
4.1.2	Im Sparrendach	80
4.1.3	Unterzug/Luftleitplatte	81
4.1.4	Luftleinlas	81
4.1.5	Abdichtungen	82

4.2	Sammelkanal	82
4.2.1	Im Pfettendach	82
4.2.2	Im Sparrendach	84

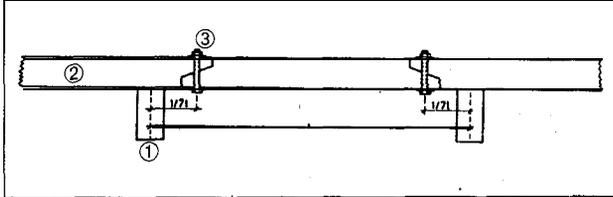
4.3,	Luftkanäle	85
-------------	-------------------	-----------

4.4	Lüfterhäuschen/Ventilatorraum	86
------------	--------------------------------------	-----------

4.5	Spezialformen	87
4.5.1	Dachraumkollektoren	87
4.5.2	Aufbaukollektoren	87

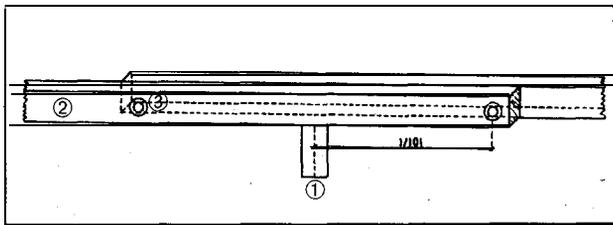
4 Bau von Kollektoranlagen

Gerberstösse

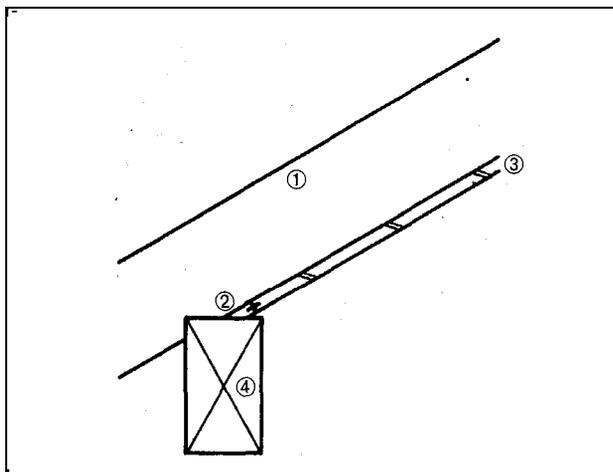


- 1: Leimbinder
- 2: Pfette
- 3: Bauschraube

Koppelpfette



Fusspfettenanschluss



- 1: Sparren
- 2: Keil
- 3: Spanplatte
- 4: Fusspfette

4.1 Kollektoren

4.1.1 Im Pfettendach

Als Pfetten bezeichnen wir vereinfacht ausgedrückt die Sparren- oder auch Eternitpfetten. Dies sind die horizontal laufenden Balken, welche die Dachhaut (zum Beispiel Eternitplatten) tragen. Sie weisen in der Regel Masse von 16 bis 22 cm Höhe und 8 bis 12 cm Breite auf. Die Stärke und den Abstand der Pfetten berechnet der Architekt oder Holzbau-Fachmann gemäss den örtlichen Schneelasten.

Es ist von Vorteil, Gerber-Stösse anstatt Koppelpfetten zu verlegen, da diese einen ungehinderten Luftfluss gewährleisten. Sie bilden die seitlichen Wände der verschiedenen Kollektorkanäle. Als untere Begrenzung der Kollektorkanäle dient eine Luftleitplatte (in der Regel aus Spanplatten). Bei Kollektorkanälen, die weniger hoch als die Pfettenhöhe minus 2 cm sind, empfiehlt es sich, schon vor dem Aufrichten Latten seitlich an die Pfetten anzuschlagen.

4.3.2 Im Sparrendach

Als Sparren bezeichnen wir die Balken, welche von der Traufe zum First laufen und die Lattung der Ziegel oder anderer Abdeckmaterialien tragen. Bei Neubauten kann wie beim Pfettendach verfahren werden, Sparrendachkollektoren lassen sich jedoch gut beim Umdecken von alten Ziegeldächern installieren. Solche Dächer sind in der Regel leicht verzogen und eignen sich nicht für das Einpassen der Spanplatten zwischen die Sparren. Dieser Aufwand lässt sich nur rechtfertigen, wenn sonst eine ungenügende Temperaturerhöhung in Kauf genommen werden müsste.

Ein besonderes Augenmerk ist bei den Sparrendächern auf die Durchlässe bei den Pfettenauflagen zu richten. Oft sind die Sparren dort ausgekerbt und der Durchlass wird somit enger. In der Abbildung «Fusspfettenanschluss» ist dies am Beispiel der untersten Pfette (Fusspfette) aufgezeigt.

4.1.3 Unterzug/Luftleitplatte

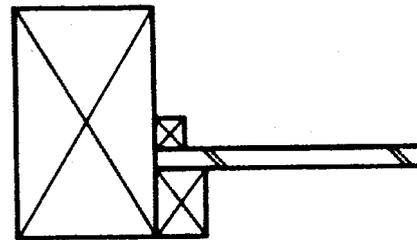
Bei Neubauten empfiehlt es sich, den Unterzug (Spanplatten) direkt vor dem Dachdecken einzulegen. Der Zimmermann kann seitliche Latten oder Bretter unter den Balken (Sparren/Eternitpfetten) bereits in der Werkstatt vormontieren. Die zugeschnittenen Spanplatten (19 mm) können so sehr schnell von oben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

Als Unterzug eignen sich auch andere Materialien als Spanplatten (z.B: Profil-Bleche, Hartfaserplatten oder Blachenstoffe). Von Hartfaserplatten ist eher abzuraten, da gute Verbindungen fehlen. Wenn der Kollektorzwischenraum gleich oder etwas weniger gross ist als die Balkenstärke, ist es möglich, Blachenstoffe zu verwenden (Bigroflex, Nissan, Sarnafil). Diese sind wesentlich leichter als Spanplatten. Sie sollten aber mittels eingerollter Dachlatte und Flaschenzug etwas vorgespannt werden, damit sie im Sommer bei Erwärmung nicht zu stark einhauchen und den Querschnitt der Kanäle verengen. Teilweise ist eine Konfektionierung möglich, das bedeutet, dass die Verkaufsfirma Stücke vorbereitet, welche zum Beispiel dem Binderabstand und der Dachbreite entsprechen. Blachen sind vor allem geeignet für Eigenmontage und in Altbauten, wo keine mechanische Belastung durch Geräte (Greifer) oder kein Bewerfen mit Futter (inkl. Steine) durch das Gebläse auftritt.

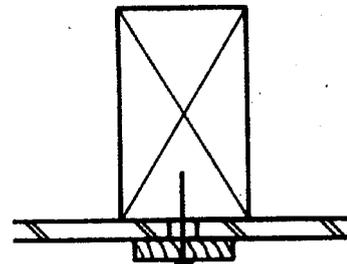
4.1.4 Lufteinlass

Im Normalfall führen die Kollektorkanäle einfach zur Scheune hinaus und werden dort mit dem Ortgang- oder Traufbrett und einem Vogelschutznetz abgeschlossen. Die Öffnung muss mindestens der Kollektorkanalhöhe entsprechen. Treffen die Pfetten jedoch auf eine Brandmauer, so muss

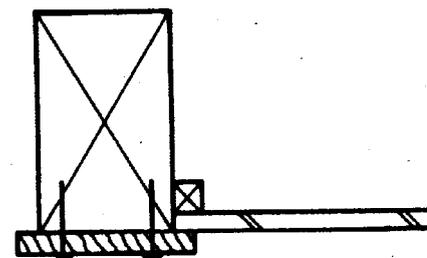
Montagearten



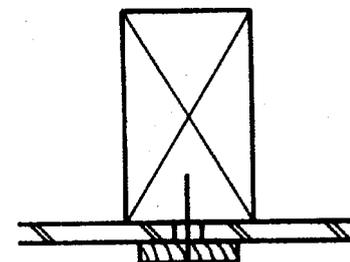
Starke Balken, kleiner notwendiger Durchlass. Spanplatte liegt auf seitliche angeschlagener Lattung. Einlegen von oben vor dem Dachdecken.



Balkenhöhe entspricht dem nötigen Durchlass. Spanplatte unten bündig mit Brett befestigen.

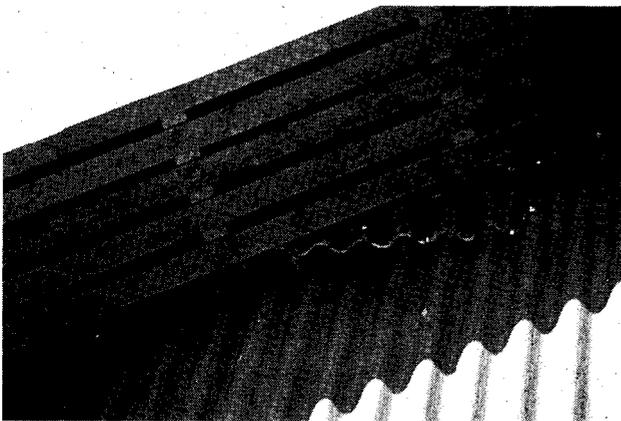
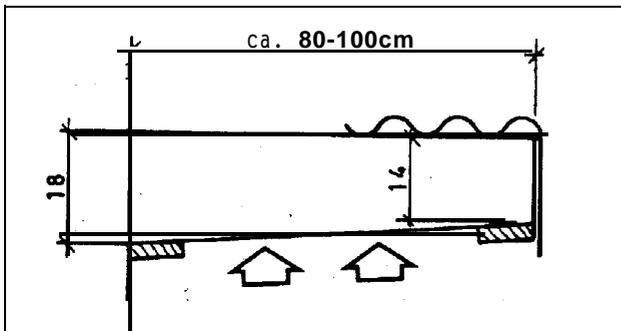


Notwendiger Durchlass nur wenig kleiner als Balkenstärke. Einlegen der Spanplatte von oben.

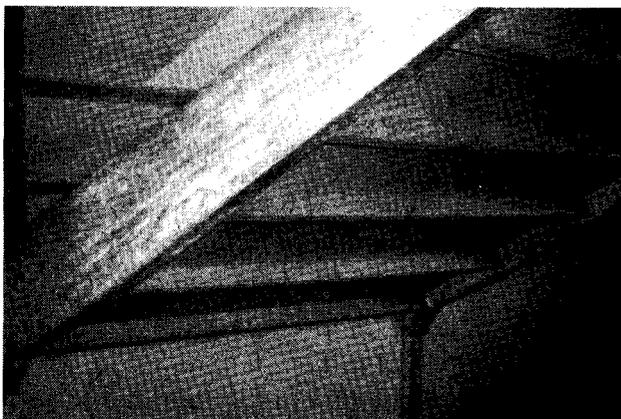


Balkenhöhe entspricht dem nötigen Durchlass. Unterzug aus Blachenmaterial. Besonders geeignet bei Sparrendächern und in Altbauten.

Lufteinlass am Ortgang



An windexponierten Lagen oder aus ästhetischen Gründen können auch Bretter auf die hier gezeigte Art montiert werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass der Querschnitt des Einlasses mindestens dem Kollektorquerschnitt entspricht.



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

ein Luftzuführkanal erstellt werden. Bei Firsteinlasskanälen sind ebenfalls ein Vogelnetz und zusätzlich Jalousieläden von Vorteil.

4.1.5 Abdichtungen

Die Kollektoren sollen nach aussen einigermaßen dicht sein. Für Wellprofile sind den Profilen angepasste Füllteile (Fillerblocks) aus Schaumgummi erhältlich. Diese lassen sich während der Montage zwischen die Auflage und die Abdeckung einschieben. Es genügt, bei der obersten und der untersten Pfette des Kollektors eine Abdichtung vorzunehmen. Die Spanplatten werden in der Regel mit Nut und Feder verlegt und beim Kanal mit Montage- oder Füllschaum abgedichtet. Blachen müssen allseitig mit Latten oder Leisten fixiert werden.

Schwitzwassertritt nur in Ausnahmefällen auf und ist in erster Linie auf feuchte Stallabluft zurückzuführen.

4.2 Sammelkanal

4.2.1 Im Pfettendach

Bei deckenlastigen Scheunen mit nach Süd exponierter Dachflanke und auf der Südseite angebrachtem Lüfter ergibt sich ein sehr kurzer Kanal. Als Sammelteil bieten sich mittlere Binderfelder an. Durch die Binderform weist der Sammelkanal eine nach der Traufe sich erweiternde konische Form auf.

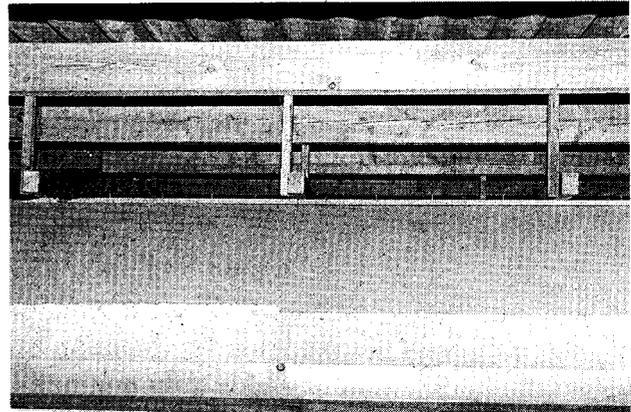
Je nach vorhandenem Querschnitt gibt es unterschiedliche Konstruktionsarten:

A: Die Luftleitplatte wird an die mit Balkenschuhen am Binder befestigten Querbalken angeschlagen.

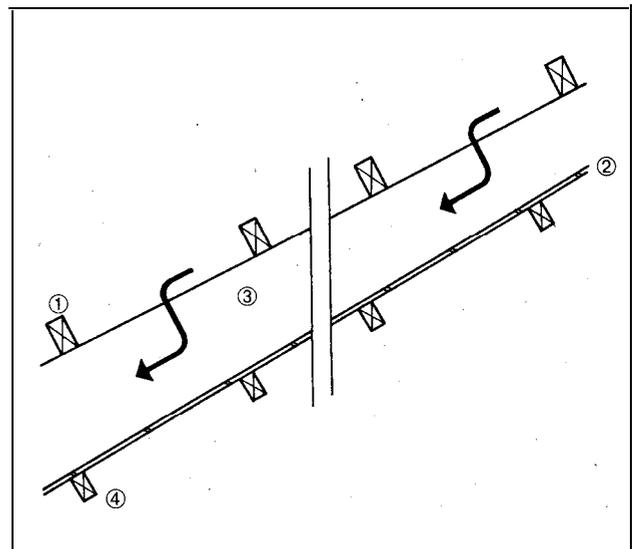
B: Die Balken werden an den Pfetten mit Metallbändern oder Holzlatten -aufgehängt und verlaufen in Richtung Traufe-First. Dadurch stören sie die Luftströmung nicht.

C: Die Querbalken werden unterkant Binder befestigt und die Spanplatten von oben eingelegt.

Ergibt sich aus der Binderfeldbreite und der Binderstärke ein Querschnitt, welcher grösser als nötig ist, kann Variante A angewendet werden. Ist dieser Querschnitt knapp, so kommen die Varianten B oder c zum Zug.

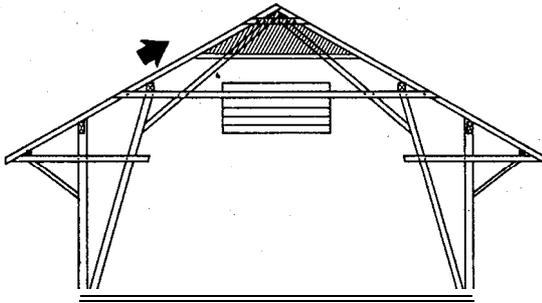


B: Die Latten, welche die Spanplatten des Sammelkanals tragen, laufen in der Strömungsrichtung und sind mit Dachlatten an den Pfetten aufgehängt.

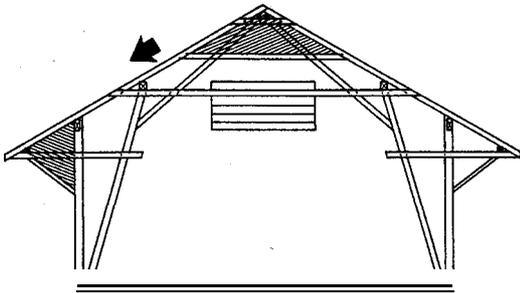


C: Sammelkanal im Querschnitt, wenn die Sammelkanalhöhe gleich gross wie die Breite des Binders ist.

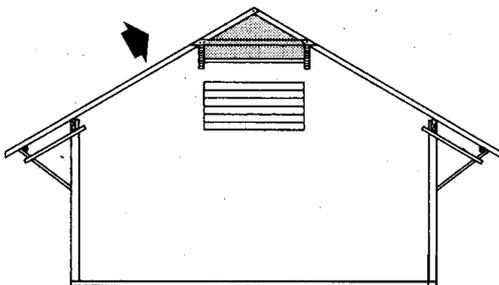
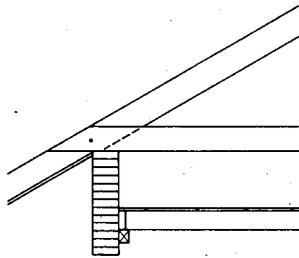
- 1: Pfette
- 2: Spanplatte
- 3: Binder
- 4: Balken mit Balkenschuh



Firstabsaugung mit Einlass an der Traufe



Taufabsaugung mit Firsteinlass



Firstkanal bei neuen Sparrendächern

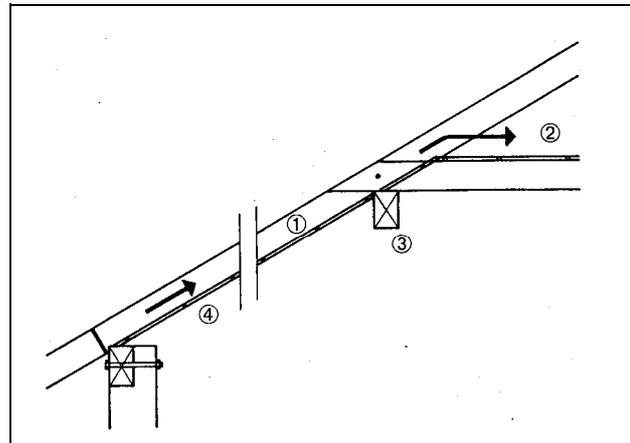
4.2.2 Im Sparrendach

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

Bei der Traufabsaugung und beim Firsteinlasskanal strömt die Luft von aussen durch Jalousien in den Firstkanal, verteilt sich auf die Kollektorkanäle und strömt unter dem Vordach in den Sammelkanal. Dieser Luftweg ist sowohl bei Alt- wie auch bei Neubauten möglich. Bei Varianten mit Firstansaugung besteht die Gefahr, dass Abluft vom Stock direkt wieder angesaugt wird. Die Abluftöffnungen sind deshalb nicht direkt über dem Firstansaugung sind eventuell auf der gegenüberliegenden Gebäude-seite anzuordnen.

Bei allen Varianten mit geschlossener Firstpat-tie (Firstsammelkanal oder über den First gezogener Kollektor) muss der Stallentlüftung besondere Beachtung geschenkt werden.

Sammelkanal im Sparrendach

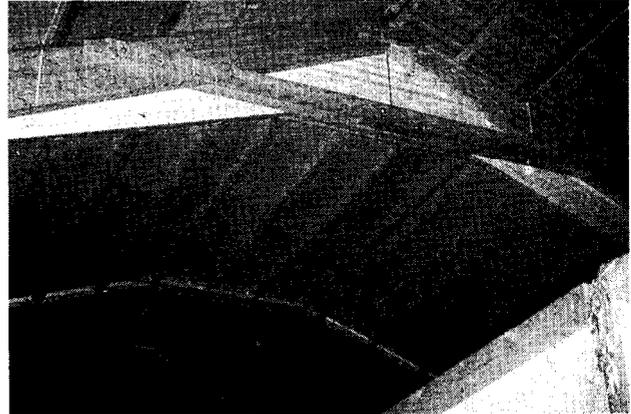


- 1 Sparren
- 2 Sammelkanal
- 3 Mittelpfette
- 4 Spanplatte

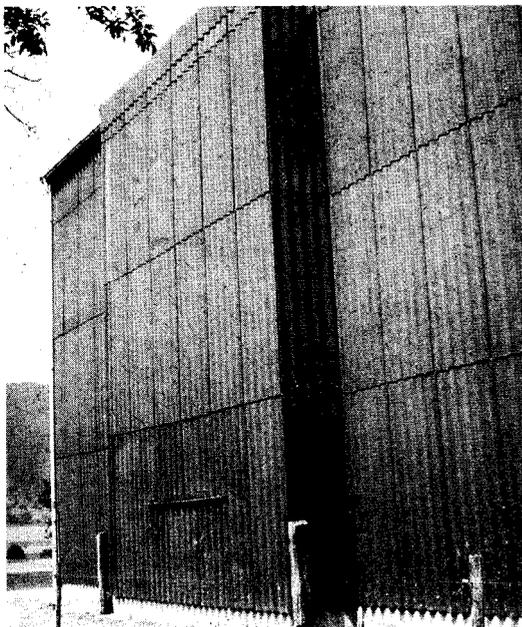
4.3 Luftkanäle

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

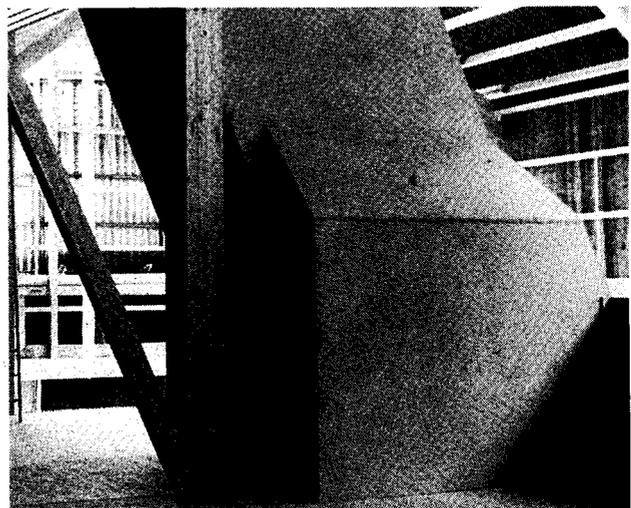
Die Luftkanäle können sehr unterschiedliche geometrische Formen aufweisen. Üblich sind quadratische oder dreieckige Formen. Oft eignen sich auch ganze Nebenräume. Ab und zu wird einer Wand eine zweite vorgelagert damit ein schmaler Raum entsteht.



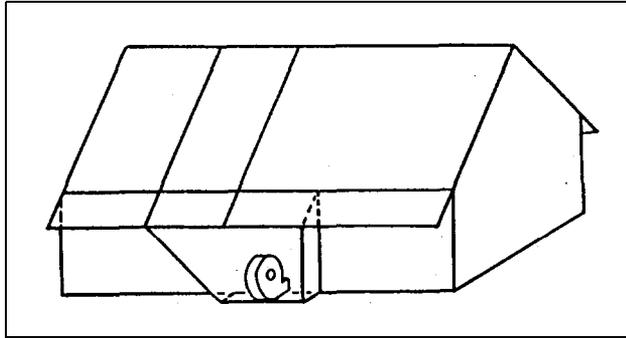
Luftkanal über den First gezogen. Besondere Aufmerksamkeit gilt bei solchen relativ langen Kanälen dem Querschnitt, da zu grosse Druckverluste auftreten können.



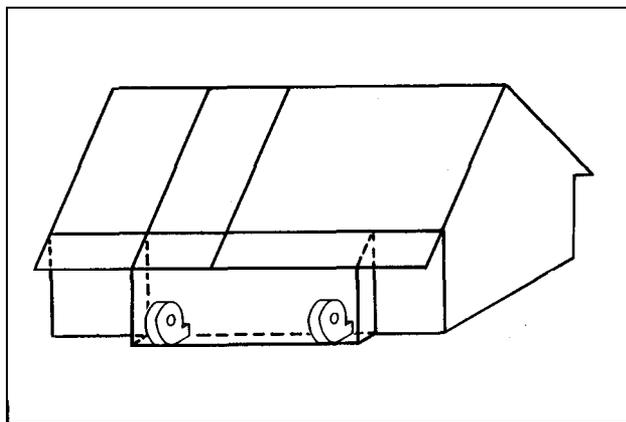
Bei Greiferscheunen liegt der Engpass oft im Bereich der Greiferfahrbahn. Hier wurde deshalb der Luftkanal auf die Aussenseite des Gebäudes verlegt.



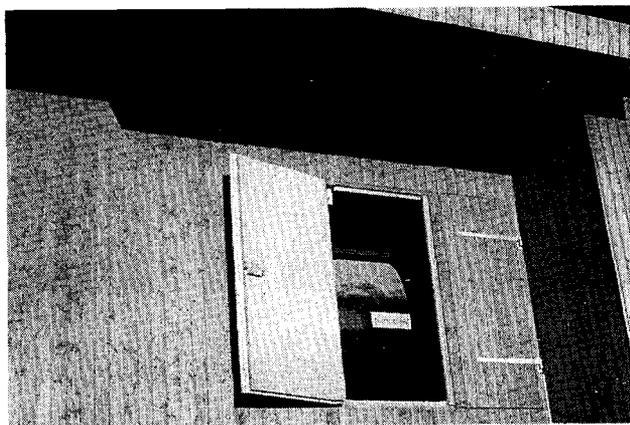
Der Luftkanal verbindet den Sammelkanal mit dem Lüfter. Der Kanal sollte wenn möglich grosszügig bemessen werden.



Seitlich versetztes Lüfterhaus



Breites Lüfterhaus zum Verteilen auf zwei Lüfter



Lüfterraum zwischen Heustockeinwandung und Fassade. Eine Tür sichert den Zugang zum Lüfter und erlaubt einen direkten Lufteinlass.

4.4 Lüfterhäuschen/Ventilatorraum

In der Regel steht der Lüfter direkt im Luftzufuhrkanal. Der Ventilatorraum kann ganz unterschiedliche Masse aufweisen. Im Gebäudeinnern kann er gleichzeitig als Lagerraum dienen (zum Beispiel Raum zwischen Aussenwand und Heustockeinwandung). Der Ventilatorraum muss nach aussen dicht und der Luftstrom zum Ventilator gewährleistet sein (genügend grosser Abstand zwischen der Wand des Ventilatorraums und dem Ventilator).

Das an die Aussenwand angebaute Lüfterhäuschen und der Ventilatorraum können auch für einen seitlichen Versatz (zum Beispiel um 1 Binderfeld) benutzt werden, wenn das ideale Sammelkanalfeld nicht mit dem Binderfeld übereinstimmt, in welchem der Lüfter steht. Im weiteren kann die Verteilung der Luft auf zwei Ventilatoren durch den Lüfterraum erfolgen.

4.5 Spezialformen

4.5.1 Dachraumkollektoren

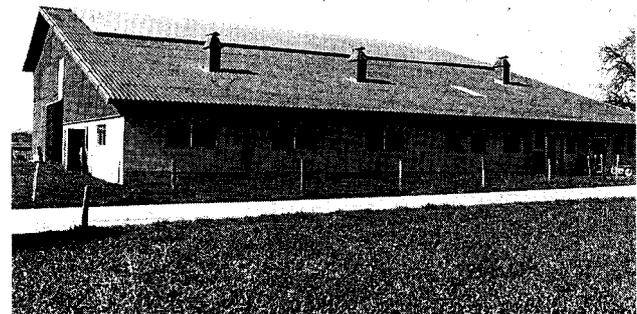
Sie nützen, wie der Name sagt, einen bestehenden oder neu erstellten Dachraum (meistens über einem Stall) aus. Ein neben einer erdlastigen Heulagerhalle erstellter Stall weist in der Regel einen Hohlraum zwischen Dachabdeckung und isolierter Stalldecke auf. Dieser Hohlraum stellt eine sehr billige Kollektorvariante dar, sofern der Querschnitt nicht zu gross ist und der Kollektor mit einem möglichst kurzen Kanal an die Belüftung angeschlossen werden kann. Bei Neu- und Anbauten kann dies bei der Planung berücksichtigt werden.



Dieser Stallanbau enthält als Dach einen Kollektor (190 m²) mit durchsichtiger Polyesterabdeckung. Die Luft tritt bei der Traufe in den Kollektor ein, fliesst nach oben und wird vom Heulüfter von beiden Seiten zur Mitte angesaugt.

4.5.2 Aufbaukollektoren

Der Kollektor kann auch auf ein bestehendes Dach aufgesetzt werden. Man legt über die bestehende Dachhaut genau über den alten Balken eine neue Balkenlage. Das alte Dach bildet die untere Luftleitplatte. Die neue Abdeckung kommt auf die neue Balkenlage zu liegen. Die Luft lässt sich über einen Luftdurchlass in der alten Dachhaut in den Sammelkanal im Inneren der Scheune ziehen. Der Vorteil dieser Bauweise liegt in der guten Zugänglichkeit bei der Montage. Als Nachteile sind der zusätzliche Materialaufwand für die zweite Dachhaut und die zweite Balkenlage zu werten.



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



5 Investitionskosten,

1	Kollektorabdeckung	90
2	Kollektorunterzug	90
3	Luftsammelkanal.	91
	Rechnungsbeispiel	91

5 Investitionskosten

Die Investitionskosten setzen sich bei Kollektoren, die ins Dach integriert sind, zusammen aus:

- den zusätzlichen Investitionskosten für die Abdeckung gegenüber dem für die Höhenlage üblichen Standardmaterial.
- den Investitionskosten für den Unterzug, den Sammelkanal und den Luftkanal zum Lüfter.

Bei Aufbaukollektoren ist der ganze Materialpreis für die zusätzliche Abdeckung dem Kollektor anzulasten. Es braucht jedoch keinen Unterzug.

Aufgrund der unten aufgeführten Richtpreise lassen sich die zusätzlichen Investitionskosten für eine Kollektoranlage zusammenstellen.

Investitionskosten (Richtpreise 1991) für den Bau von Sonnenkollektoranlagen

Bauteil	Mass-einheit	Zusätzliche Investitionskosten für Kollektoranlage in Fr. pro Masseinheit
1. Kollektorabdeckung		
Deckmaterial auf bauseitige Holzkonstruktion verlegt (Pfettendach), ohne Abschlussprofile		
1.1 Welleternit braun (Standardedeindeckung, 35 Fr./m ²)	m ²	
1.2 Wellpolyester mit Eternitwellung (50-60 Fr./m ²)	m ²	15-25
1.3 Alu-Wellplatten braun (50-60 Fr./m ²)	m ²	15-25
1.4 Stahl-Trapezblech braun (35 Fr./m ²)	m ²	
1.5 Stahlblech mit Ziegelmusterung braun (55-65 Fr./m ²)	m ²	20-30
Zuschläge zu Pos. 1.1 bis 1.5 für:		
1.6 Eternit-Dachschiefer auf Sparrendach, inkl. Schieferlattung 60/40 mm (65-75 Fr./m ²)	m ²	3 0 - 4 0
1.7 Lattung 60/60 mm bei Montage auf Sparrendach	m ²	5-7
1.8 Montage auf bestehendes Wellplattendach	m ²	15-20
2. Kollektorunterzug fertig montiert, inkl. Befestigungslatten		
2.1 Spanplatten, beim Aufrichten zwischen Pfetten oder Sparren montiert	m ²	35-40
2.2 Spanplatten nachträglich unter Pfette oder Sparren montiert, inkl. Rollgerüst	m ²	50-55
2.3 Kunststoffbahn nachträglich unter Pfetten oder Sparren montiert, inkl. Rollgerüst	m ²	25-30

	Mass- einheit	Zusätzliche Investitions- kosten für Kollektoran- lage in Fr. pro Masseinheit
3. Luftsamme lkanal		
Spanplatten fertig montiert, inkl. Befestigungsplatten		
3.1 In Kollektor-Dachfläche: Zuschlag zu Kollektor-Fläche für Absenken des Unterzugs	m ²	10-15
3.2 n der übrigen Dachfläche	m ²	55-60
3.3 First-Sammelkanal bei Sparrendächern: Zuschlag zu Kollektor-Fläche für Kanalausbildung	m ²	10-15
3.4 Traufe-Sammelkanal bei Sparrendächern: Zuschlag zu Kollektor-Fläche für Kanalausbildung	m ²	10-15
3.5 Senkrechter Kanal an Gebäudewand (dreiseitig) als Anschluss an Lüfter:		
1. für 1 Lüfter, Grösse 250/200 cm	lm	290-360
2. für 2 Lüfter, Grösse 450/200 cm	lm	3 8 0 - 4 7 0

- Die Preise verstehen sich fertig montiert durch einen Unternehmer.
- Die Materialkosten betragen etwa 60%, die Arbeitskosten etwa 40%.
Das bei nachträglicher Montage der Verkleidung notwendige Gerüst ist mit Fr. 15.-pro m² eingesetzt.

Rechnungsbeispiel

Kollektorfläche	Pos. 1.1	200 m ²	Fr.	-.-
Unterzug	Pos. 2.1	200 m ² à 37.-	Fr.	7400.-
Luftsamme lkanal	Pos. 3.1	12 m ² à 12.-	Fr.	144.-
	Pos. 3.2	12 m ² à 57.-	Fr.	684.-
	Pos. 3.5.1	6 lm à 320.-	Fr.	1920.-

Total zusätzliche Investitionskosten für Kollektoranlage **Fr. 10148.-**



Literaturverzeichnis

Impulsprogramme	94
Normen	94
Allgemeine Publikationen	94
Bildernachweis	94

Literaturverzeichnis

Impulsprogramme

Handbuch Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen
Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Bern,
Nr. 724.500

Wärmerückgewinnung in Lüftungs- und Klimaanlageanlagen
Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Bern,
Nr. 724.709

Lüftungstechnik
Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Bern,
Nr. 724.618

Heizsysteme für Energiesparhäuser
Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Bern,
Nr. 724.609

Wärmepumpenheizung mit Aussenluft als Wärmequelle
Bundesamt für Konjunkturfragen, EDMZ Bern,
Nr. 724.712

Normen

Schweizerische Stallklima-Norm
Institut für Tierproduktion, ETH Zürich; 1983

Climatisation of Animal Houses
Commission Internationale du Genie Rural CIGR,
Aberdeen, 1984

SIA 384/2: Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden
SIA Zürich, 1982

SIA 380/1: Energie im Hochbau
SIA Zürich, 1988

Allgemeine Publikationen

Wärmepumpen
INFOSOLAR Brugg, 1981

Praxis-Messungen an Platten-Wärmetauschern
W. Göbel, FAT-Bericht Nr. 301, Tänikon; 1986

Die Heubelüftung von A bis Z
J. Baumgartner, FAT-Bericht Nr. 406, Tänikon, 1991

Der Sonnenkollektor für die Heubelüftung - Planung und Realisierung
F. Nydegger, FAT-Bericht Nr. 407, Tänikon, 1991

Untersuchung von Luftkollektoren zu Heiz- und Trocknungszwecken
J. Keller, V. Kyburz, A. Kölliker, PSI-Bericht Nr. 18,
Würenlingen, 1988

Bildernachweis

(Soweit diese nicht obigen Publikationen entnommen sind)

Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Tänikon; Landwirtschaftliche Schule, Flawil; Kälte Fedder GmbH & Co., Coesfeld; Planair SA, La Sagne; B. Pulver & Co., Muri

Anhang 1

PC-Programm Stallklima (Version 2.1)

Anhang 1

PC-Programm Stallklima (Version 2.1)

1. Bedienungsanleitung

Pulldown-Menü

Die oberste Bildschirmzeile zeigt die Hauptfunktionen des Programms. Jeder Menütitel enthält anwählbare Funktionen. Die Pulldown-Menüs werden mit der ALT-Taste oder durch Anklicken mit der Maus aktiviert. Die einzelnen Funktionen können jetzt mit den PFEIL-Tasten und RETURN oder mit der Maus oder mit Kurz-Wahl-Tasten (hervorgehobene Zeichen in den Menüs) gewählt werden.

Das Drücken der ALT-Taste zusammen mit einer Kurz-Wahl-Taste erlaubt das direkte Ansteuern einer Funktion aus einem beliebigen Pulldown-Menü (ohne vorgängiges Aktivieren der Menüs).

Bei 'leerem' Bildschirm kann das Pulldown-Menü mit den Tasten ALT oder F10 aktiviert werden.

Masken und Fensterbedienung

In den Fenstern können die einzelnen Eingabefelder mit der Maus angesteuert werden. Für die Bedienung mit der Tastatur gelten die Möglichkeiten, die in der Hilfe-Zeile am unteren Bildschirmrand aufgeführt sind. In der Regel sind dies die Tasten: TAB, SHIFT+TAB, PFEIL-NACH-OBEN oder PFEIL-NACH-UNTEN.

Die Fenster können jederzeit verlassen werden über eine der Abschluss-Funktionen (Buttons), die im unteren Teil der Fenster angeboten werden. Diese Buttons können direkt und jederzeit durch drücken der ALT-Taste zusammen mit einer Kurz-Wahl-Taste aktiviert werden. Das Verlassen der Fenster ist nur über diese Buttons möglich.

Alarm-Boxen

Alarm-Boxen sind kleine Fenster, die in der Regel in der Bildschirmmitte erscheinen. Sie enthalten eine Meldung und Abschluss-Funktionen (Buttons). Der gewünschte Button kann mit einer Kurz-

Wahl-Taste aktiviert werden. Mit RETURN wird der Button aktiviert, auf dem sich der Cursor befindet. Mit den Tasten TAB, SHIFT+TAB, PFEIL-NACH-OBEN oder PFEIL-NACH-UNTEN kann der Cursor auf einen anderen Button verschoben werden.

Eingabefelder

Der Inhalt eines Eingabefeldes kann mit folgenden Tasten editiert (bearbeitet) werden:

PFEIL-NACH-LINKS	Bewegen des Cursors nach links
PFEIL-NACH-RECHTS	Bewegen des Cursors nach rechts
HOME	Cursor an den Anfang des Feldes bewegen
END	Cursor an das Ende des Eingabetextes bewegen
INS	Umschalten zwischen Einfüge- und Überschreibmodus
CTRL+Y	Löschen des Eingabefeldes
CTRL+U	Ursprünglicher Wert wiederherstellen

In numerischen Feldern können nur die Werte '-1234567890.' eingegeben werden.

Dateien

STK.EXE	Stallklima-Programm.
STKTIER.DAT	Daten zum Stallklima-Programm.
STK. BAT	Hilfsdatei, um das Stallklima-Programm im Unterverzeichnis C:\STKaufzurufen (Beispiel, kann beliebig verändert werden).
STKDEF.DEF	Text-Datei. Enthält die aktuellen Werte für Datenablage und Layout.
BEISPIEL.STK	Alle Eingabewerte einer Stallklima-Berechnung werden in einer

	Datei mit der Dateinamenerweiterung 'STK' gespeichert.
NONAME.STK	Temporäre Datei. Enthält die Eingabewerte der letzten Stallklima-Berechnung. Diese Daten können mit dem DOS-Befehl: COPY NONAME.STK XYZ.STK für das Stallklima-Programm wieder verfügbar gemacht werden.
STKOUT.TE	Temporäre Text-Datei. Enthält die Ergebnisse der letzten Stallklima-Berechnung.
*.HLP	Text-Dateien. Enthalten die Hilfetexte.

2. Programmbeschreibung

2.1 Allgemeines

Für die Tierhaltung ist das Stallklima von grosser Bedeutung. Es beeinflusst sowohl die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit der Tiere wie des Betreuungspersonals. Zudem bestimmt es auch den Zustand und die Lebensdauer des Gebäudes mit. Stallklimaberechnungen helfen verhindern, dass Tiere und Bausubstanz durch schlechtes Stallklima Schaden nehmen.

Als Rechengrundlage des Computerprogrammes dienen wie bereits in der österreichischen (1983) und der überarbeiteten deutschen Norm (1991) die Berechnungsformeln, Wärmeabgaben und Stallklimaangaben des CIGR-Rechenvorschlages von 1984. Die Berechnungsweise gilt für Warm- und Kaltställe. Während in Warmställen durch Wärmedämmung und Luftregulierung die Temperatur im Winter konstant gehalten wird bzw. einen minimalen Wert nicht unterschreitet, folgt sie im Kaltstall, der nicht oder schwach wärmedämmend ist, dem Aussentemperaturverlauf mit einer maximalen Temperaturdifferenz von 8 °C.

2.2 Eingabemasken

Unter **Stallklimaberechnungen** im Hauptmenü und **Neu erstellen** im Pull-down-Menü er-

scheinen nacheinander die drei Eingabemasken: **BETRIEBSKENNDATEN**, **GEWÄHLTER TIERBESTAND** und **BAUKONSTRUKTION UND TRANSMISSION**. Zur Maske **GEWÄHLTER TIERBESTAND** gehören drei eingeblendete Fenster, nämlich **Tierart wählen**, **Tierbestand erfassen** und **Stallklima**.

Betriebskenndaten

Unter **Nummer** kann ein beliebiger Name oder eine Zahl zur Bezeichnung der Berechnung eingegeben werden. In vielen Fällen ist es zweckmässig, die Nummer des Bauobjektes zu verwenden.

Der **Datei-Name** ist für die **Ablage** und das Wiederfinden einer Berechnung wichtig. Er kann erst beim Abspeichern der Berechnung eingegeben werden. Dabei ist ein berechnungsbezogener Name (maximal acht Buchstaben bzw. Ziffern) von Vorteil.

Höhe ü. M. muss immer angegeben werden, da sich danach der Luftdruck und auch der Defaultwert der einzusetzenden minimalen Aussentemperatur richten. Manche Eingabewerte wie Aussentemperatur, Wärmeabgabe oder Stalltemperatur der Tiere usw. sind vorgegeben oder hergeleitet, sie bleiben als **Defaultwerte** aber veränderbar.

Gewählter Tierbestand

Über die Alarm-Box "Tierbestand bearbeiten" mit den Pull-down-Hinweisen "hinzufügen", "mutieren" und "löschen" kommt man zum 1. Fenster: "Tierart wählen". Es genügt ein Antippen einer der zum Bestand des betreffenden Stalles gehörenden Tierkategorie. Die angetippte Tierkategorie erscheint gleichzeitig mit der Wärmeabgabe im 2. Fenster: "Tierbestand erfassen". Lediglich die Tierzahl der Kategorie ist einzugeben. Die Wärmeabgaben der Tiere nach CIGR gelten als Defaultwert. Man kann ihn beispielsweise durch Werte anderer Normen austauschen. Gleichzeitig gilt es zu beachten, dass die Wärmeabgabe nach CIGR bei vielen Tierkategorien höher ist als nach der

Schweizer Stallklimanorm. Bei Zuchtrindern sind es beispielsweise bis zu 25% und bei Ferkeln und Masthühnern gar 50%. Deshalb ergeben manche Stallklimaberechnung gegenüber der Berechnungsweise nach Schweizer Stallklimanorm eine positive Wärmebilanz. Die höheren Wärmeabgaben liegen an den heute in der Praxis vorkommenden höheren tierischen Leistungen. Die Wärmeabgaben nach CIGR und weitere verfeinerte Rechenannahmen führen zu zutreffenderen Ergebnissen.

Im 3. **Fenster: Stallklima** wird folgendes erfasst:

Stalltemperatur:

Als Defaultwerte für die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit im Warmstall werden die Angaben des CIGR-Rechenvorschlages für die Tierkategorie übernommen, die in der ersten Zeile steht. Die Stalltemperatur ist im Bereich von -15 °C bis 35 °C veränderbar, damit auch Kaltställe berechnet werden können. Kaltställe sind aber in Höhen über 1000 m ü. M. nicht zu empfehlen, wenn nicht ein Minimum an Wärmedämmwirkung bei Dach und Wänden gegeben ist.

Aussentemperatur:

Die Aussentemperatur als Auslegungstemperatur im Winter (Kältekennwert) ist aus der Höhenlage des Stalles Maske "BETRIEBSKENNDATEN" ungefähr hergeleitet. Der in manchen Fällen etwas zutreffendere Wert eines Ortes ist aus einer Karte der Schweizer Stallklimanorm abzulesen oder SIA Dok. 70 zu entnehmen.

Relative Luftfeuchtigkeiten:

Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit der Aussenluft liegt bei rund 80%. Für die Berechnung von Warmställen gilt als Norm- bzw. Defaultwert für die Auslegungstemperatur die relative Luftfeuchtigkeit 100%, um auch bei Nebel den Wasserdampf aus dem Stall abführen zu können. Bei der Berechnung der Lufrate von Kaltställen setzt man innen 90% und aussen 80% relative Luftfeuchtigkeit an. Bei Stalltemperaturen unter 0 °C, wie sie in Kaltställen vorkommen, vertragen die Tiere höhere relative Luftfeuchtigkeiten. 80% relative Luftfeuchtigkeit aussen gilt auch für die Berechnung bei höheren Aussentemperaturen als dem örtli-

chen Kältekennwert. Für momentane Stalluntersuchungen sind Variationsbereiche der relativen Luftfeuchtigkeit für innen von 60 bis 100% und aussen von 40 bis 100% zugelassen.

Feuchtigkeitsfaktor:

Durch Futter (Flüssigfutter bei Schweinen oder Silage), Trinkwasser (tropfende Tränken, Tränkwannen), feuchte Stallböden (durch Gülle oder grösszügigen Gebrauch von Waschwasser) und durch das Entmistungssystem (Gülle Keller bzw. Kanäle unter Spaltenboden oder Mistmatratze) entsteht zusätzlicher zu dem von den Tieren abgegebenen Wasserdampf. In einigen Normen ist daher ein Wasserdampfzuschlag von rund 10% bei der Wasserdampfabgabe unabhängig vom Stallsystem bereits zugeschlagen. Im Normalfall gilt daher der Feuchtigkeitsfaktor 1,1. Nur wenn alle der vier genannten Verursacher entfallen oder bedeutungslos sind, ist der Faktor 1.0 einzusetzen. Umgekehrt ist der Faktor 1,2 angebracht.

Korrekturfaktor Wärmetauscher:

Der ungleiche Wirkungsgrad von Wärmetauschern wird durch den Korrekturfaktor berücksichtigt (Defaultwert 1). Bei Folientauschern oder stark verschmutzten Anlagen ist bis zu 0,5, hingegen bei sauberen Spezialtauschern bis zu 1,5 einzusetzen.

Arbeitszahl Wärmepumpe:

Die Arbeitszahl ist das Verhältnis von gewonnener Heizenergie zu in Form von Strom aufgewendeter Energie. Der Defaultwert ist bei Kühen/Rindern 3,5 und bei Schweinen 3,0.

Baukonstruktion und Transmission

Stallaussenflächen:

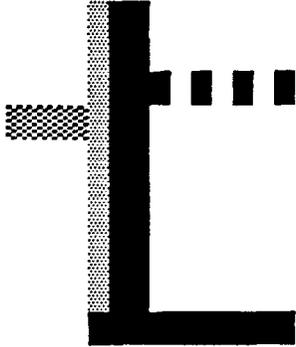
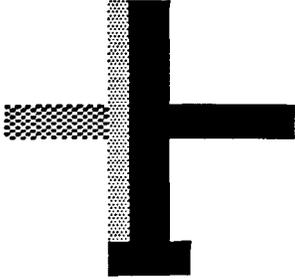
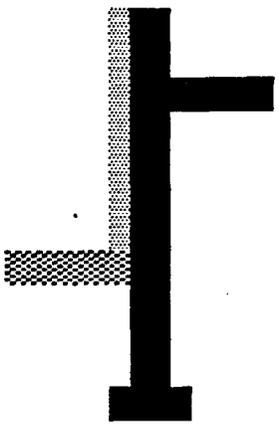
Neben Wand-, Fenster-, Tor/Türen- und Dach/Dekkenflächen sind die dazu gehörenden k-Werte und die Temperaturen von Nebenräumen einzugeben. Als Wandflächen gelten die vollen Flächen mit den Aussenabmessungen in der horizontalen Richtung und von Oberkante Stallfussboden zu Oberkante Decke in der vertikalen Richtung. Der Computer zieht die Flächen von Fenstern oder Toren/

Türen (Maueröffnung) von den Wandbereichen "aussen", "innen" und "weitere" automatisch ab.

Wandbereich unter Terrain:

Transmissionswärmeverluste haben nicht nur die Bauteile eines Stalles über **dem** Terrain wie Wände und Dach, sondern es gibt auch Wärmeverluste durch den Stallfußboden bzw. Güllegrubenboden und die Fundamente unter den Aussenmauern. Für die Berechnung der Wärmeverluste ins Erdreich gibt es verschiedene Vorschläge (CIGR 1984, SIA 384/2, Bundesamt für Konjunkturfragen TH-K 77, DIN 18910 neu, Element 29), die zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Eine einfache Möglichkeit, die Transmissionswärmeverluste unter Terrain in etwa zu berücksichtigen, bietet sich, wenn man Verluste für einen 1 m tiefen Streifen unter Terrainoberkante bzw. unter Stallfußboden unter Aussenwänden in Rechnung stellt.

Man geht bei der Berechnung einerseits von der vollen Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen aus. Andererseits ist der k-Wert für den in die Rechnung einzusetzenden 1 m tiefen Streifen je nach Situation und Perimeterdämmbereich unter üblichen Annahmen überschlägig berechnet, wobei der Wärmefluss nach aussen bis in 2 m Tiefe berücksichtigt wurde. Beispielsweise ist einer Betonwand für den Fall, dass das Terrain höher liegt als der Stallboden ein k-Wert von $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ zugeordnet (siehe 2. Teil "k-Richtwerte von Bauteilen"). Der Einbau einer 5 cm starken und 50 cm tief reichenden Perimeterdämmung verringert den k-Wert für den 1 m tiefen fiktiven Berechnungsstreifen auf $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Reicht die Dämmung 2 m tief unter Terrain, so gilt als k-Wert $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bei einem Mastschweinestall für 320 Tiere mit den Grundrissabmessungen 14 mal 28 m und einer Temperaturdifferenz von 30°C zwischen innen und aussen entstehen so Transmissionswärmeverluste ins Erdreich von $30 \times 0,7 \times 84 = 1764 \text{ W}$. Bei Übergängen wie von der Situation "Terrain 2 m höher als Stallboden" zu "Terrain gleich hoch wie Stallboden" darf interpoliert werden. Bei Kaltställen von unter 0°C Stalltemperatur entstehen zu vernachlässigende Bodenverluste, zumal die dann übliche Einstreue den Wärmeabfluss vermindert.

k-Werte für Wärmeverluste im Sockelbereich (W/m ² K) für fiktiven 1 m tiefen Streifen unter Terrain bzw. Stallfussboden			
Situation	Terrain > Boden	Terrain = Boden	Terrain < Boden
Betonwand 25 cm Wärmedämmung 5cm			
Wärmedämmung			
2 m tief	0,7	0,5	0,7
1 m tief	0,9	0,6	0,9
50 cm tief	1,1	0,7	1,1
ohne Wärmedämmung	1,5	1,0	1,5
Zuschlag von 0,5 W/m ² K, wenn eine Betonplatte als Terrainabschluss im Falle Terrain > Boden und Terrain = Boden mit dem Sockel durchgehend verbunden ist.			

k-Werte:

Bei Neubauten von Warmställen sollten die k-Werte von Aussenwänden 0,5 W/m²K und von Dach/Decke 0,4 W/m²K nicht überschreiten. Bei Kaltställen dürfen es für beide Bauteile nicht mehr als 1,2 W/m²K sein, will man Kondensatniederschlag vermeiden.

Die k-Werte sind zu berechnen oder Tabellen zu entnehmen. Falls der Wandbereich über der Stallgrundfläche (Sockel) eine gegenüber der Wand andere Wärmedämmung besitzt, muss der die Flächenanteile berücksichtigende mittlere k-Wert berechnet und eingesetzt werden.

2.3 Ausgabe auf dem Bildschirm**Allgemeines:**

Als Ausgabe auf dem Bildschirm erhält man neben Eingabewerten die Abgabe der Tiere an fühlbarer Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid, ebenso wie verschiedene Luftraten und die dazugehörigen Wärmebilanzen.

Winterluftrate:

Einerseits dürfen im Winter im Stall 70 oder 80% relative Luftfeuchtigkeit, andererseits nach CIGR, DIN 18910 und der Schweizer Stallklimanorm 0,35 Vol.% CO₂ nicht überschritten werden. Immer ist die grössere der beiden Luftraten (Wasserdampf- bzw. Kohlendioxidmassstab) als Winterluftrate gültig.

Sommerluftrate:

Für die erforderliche Luftleistung eines Ventilators ist die Sommerluftrate von Bedeutung. Für Kühe, Rinder, Schafe und Ziegen gebraucht man in der Regel die Luftrate, die sich aus der Temperaturdifferenz von 3°C ergibt, für Geflügel und Schweine die aus 2°C (bei über 800 m Höhe auch 3°C). Der Berechnung der Sommerluftrate liegt die Abfuhr der Wärme, die sich bei 30°C ergibt, zugrunde.

Wärmebilanzen:

Der Lüftungsmassstab mit der grösseren Winterluftrate ergibt die ungünstigere Wärmebilanz. Eine negative Bilanz lässt sich wie folgt verringern oder vermeiden: Bessere Wärmedämmung einzelner Bauteile, weniger Stallvolumen, kleinere Fensterflächen, wenn sie 5% der Stallgrundfläche überschreiten, tiefere Stalltemperaturen durch höhere Luftraten, Wärmetauschereinsatz und Ställe mit unbedeutender zusätzlicher Wasserdampfbildung (beachte die Aussagen zum Feuchtigkeitsfaktor unter "gewählter Tierbestand").

Wärmetauscher:

Ställe mit jungen Tieren (Kälbern, Ferkeln und Küken) weisen oft eine negative Wärmebilanz auf, die in manchen Fällen durch einen Wärmetauscher, der Wärme aus der Fortluft auf die Aussenluft überträgt, ausgeglichen werden kann. Deshalb sind unter "Wärmebilanz mit Wärmetauscher" beide Wärmebilanzen mit und ohne Wärmetauscher angegeben. In vielen Fällen gewinnt er 50% der Wärme der Lüftungsverluste durch Wärmetausch und Kondensation zurück. Aber auch in all den anderen Fällen, wo ein Wärmetauscher zum Heizen nicht benötigt wird, verbessert er das Stallklima, da in dem Masse, wie er Wärme zurückgewinnt, mehr Luft in den Stall gelangen darf (eine Wh erwärmt 1 m³ Luft etwa um drei Grad). Dabei ist die Aussenluft vorgewärmt, wodurch die Zuggefahr verringert ist. Es wird auch ausgerechnet, wie viel Trennfläche bei Plattenwärmetauschern benötigt wird.

Wärmepumpe:

Zu den beiden Fortluftraten und Wärmebilanzen nach dem 0,35% CO₂- und dem Wasserdampf-Massstab ist nun noch ein dritter Berechnungs-massstab angegeben, der 0,50% CO₂-Massstab, denn den Tieren mutet man stundenweise (bei

tiefen Aussentemperaturen) höhere Kohlendioxidgehalte zu. Beim Umluftbetrieb (Kühe/Rinder) ergeben sich nach diesem Massstab die höchsten Heizleistungen. Zu der Heizleistung ist auch angeführt, mit welcher Umluftrate (m³/h) und mit wieviel Kondensat (g/h) zu rechnen ist, wenn man die Stallluft auf 3°C bei 95% relativer Luftfeuchtigkeit abkühlt.

Beim Fortluftbetrieb bei Schweinen spielt der höhere zulässige CO₂-Gehalt im Stall keine Rolle, weil im Winter in der Regel der 0,35% CO₂- oder der Wasserdampf-Massstab die höhere Fortluftrate verlangt und aus der Fortluft die Wärme zurückgewonnen wird (Abkühlung der Fortluft auf 5°C bei 95% relativer Luftfeuchtigkeit).

2.4 D r u c k e n

Wie der Ausdruck auf dem Bildschirm, so ist der schriftliche Ausdruck der Berechnung gegliedert. Die Ergebnisse einschliesslich der Adresse erscheinen auf zwei bzw. drei A4-Blättern, je nachdem ob mit oder ohne Wärmetauscher und Wärmepumpe gerechnet wird.

3. Grundlagen der Berechnung

3.1 Aussentemperatur

Der Defaultwert für die Aussentemperatur als Auslegungstemperatur wird in Abhängigkeit zur Höhenlage wie folgt bestimmt: Die Aussentemperatur nimmt angefangen mit -7°C unter 100 m ü. M. je 100 m Höhenzunahme um 1°C ab. Diese Temperatur als Kältekennwert steht analog zur mittleren Anzahl der Eistage eines Ortes, wobei als Eistage Tage zählen, bei denen zu allen drei Messzeitpunkten die Temperatur unter 0°C lag. Der Kältekennwert ist in etwa gleichbedeutend mit der Temperatur, die im Jahr im Mittel während 90 Stunden (ca. 4 Tage bzw. 1% der Zeit eines Jahres) unterschritten wird.

3.2 Luftkennwerte

Zur Berechnung der Winterluftraten sind Luftkennwerte nötig. Diese Werte sind nicht nur von der

Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängig, sondern auch von der Höhenlage des Stalles. Beispielsweise nehmen der Luftdruck und die -dichte von 500 m auf 1500 m Höhe ü. M. um 13% ab, während das Wasserdampfaufnahmevermögen um 13% steigt. Zur Berechnung dienen Formeln von Janssen und Schoedder (Luftzustandsgrößen, Grundlagen der Landtechnik, Bd. 30,3, 1980).

3.3 Rechenformeln (Tierwärme, Luftraten etc.)

Die Wärmeabgabe der Tiere schliesst immer sowohl fühlbare wie latente (an Wasserdampf gebundene) Wärme ein. Mit den Formeln nach dem CIGR-Rechenvorschlag nach Tab. 3 berechnet der Computer aus der Wärmeabgabe der Tiere eines Stalles den Anfall an fühlbarer Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid. Tab. 3 enthält auch die Formeln für die Berechnung der Luftraten von Winter und Sommer und der Lüftungsverluste. Die errechneten Winterluftraten in m³/h gelten für die Fortluft. Die Luftrate der Aussenluft ist wegen der höheren Dichte im Winter rund 10% kleiner. Für die Wärmebilanz vergleicht das Computer-Programm den von den Tieren abgegebenen Anteil an fühlbarer Wärme mit der Summe von Transmissionsverlusten und dem Anteil der fühlbaren Wärme bei den Lüftungsverlusten, wie es in Normen für Industrie- und Wohnbauten auch gemacht wird.

3.4 Wärmetauscher

Der Wärmerückgewinn durch Wärmetauscher zur Stallerwärmung ist wie folgt von der Temperaturdifferenz dt zwischen innen und aussen abhängig (Messungen verschiedener Autoren und eigene):

Wärmerückgewinn in Wh/m³ = 0,2 dt - 1.

Teilt man die vierfache Winterluftrate durch 100, so erhält man die erforderliche Fläche aller Tauscherplatten, denn ein Wärmetauscher muss in der Übergangszeit ungefähr die vierfache Winterluftrate durchlassen, wobei rund 100 m³/h Luft je Quadratmeter Plattentauscherfläche nach verschiedenen Messungen gestattet sind.

3.5 Wärmepumpe

Stallwärme lässt sich durch Wärmepumpen zur Wohnhausheizung nutzen. Die Wärme wird entweder der Umluft oder der Fortluft entnommen. Für die Wärmenutzung aus Umluft eignen sich Wärmepumpen nach der Kompakt- und der Splitbauweise. Bei der Kompaktanlage wird die Umluft zur Wärmepumpe geführt, bei der Splitanlage nur zu dem von der Wärmepumpe getrennt stehenden Verdampfer.

Beide Anlagentypen werden hauptsächlich in Ställen mit Kühen/Rindern eingesetzt, wobei aus Umluft die ganze Restwärme, also der Wärmeüberschuss, entnommen wird. Bei Kühen und Rindern ergibt sich damit die Heizleistung für eine Wärmepumpe aus dem Anteil der Restwärme zuzüglich Stromanteil des Kompressors. Dabei ergeben sich bei tiefen Arbeitszahlen höhere Heizleistungen als bei hohen. Das liegt aber nur daran, dass der Stromanteil des Kompressors grösser wird.

Die Umluftrate (m³/h) erhält man aus der Restwärme geteilt durch die Differenz der Enthalpie von Stallluft und Umluft (3 °C bei 95% relativer Luftfeuchtigkeit). Die Kondensatmenge (g/h) ergibt sich aus der Differenz des Wasserdampfgehaltes der beiden Luftzustände multipliziert mit der Umluftrate.

Bei der Nutzung der Wärme aus der Fortluft kommen Wärmepumpen mit einem Wasser- oder Solekreislauf in Frage. Das ist meistens bei Ställen mit Schweinen der Fall, da in Schweineställen die Stalltemperatur höher ist als in Kuhställen, und mehr Wärme aus der Fortluft gewonnen werden kann. Ausserdem macht dem zusätzlichen Kreislauf die höhere Verstaubungsgefahr im Schweinestall weniger aus. Zusätzlicher Kreislauf und Verstaubung bewirken aber eine kleinere Arbeitszahl. Die Fortluft wird auf 5 °C bei 95% relativer Luftfeuchtigkeit abgekühlt, wobei ihr je nach Stalltemperatur je m³ Luft 3 bis 10 Wh Wärme entnommen werden. Die Heizleistung ergibt sich daraus zuzüglich Stromanteil des Kompressors.

4. Tabellen und Formeln

Tab. 1: **Stallklimawerte und Wärmeabgabe (nach CIGR)**

Tierart	Gew. (kg)	Empfohlene Temp. °C	Empfohlene Feuchte (%)	Wärme prod. je Tier (W)
Kälber	50	10	80	135
Aufzuchtälber 2 Mt.	100	10	80	235
Aufzuchtälber 4 Mt.	150	10	80	335
Aufzuchtinder 6 Mt.	200	10	80	430
Aufzuchtinder 14 Mt.	300	10	80	595
Aufzuchtinder 22 Mt.	400	10	80	745
Aufzuchtinder 30 Mt.	500	10	80	885
Mastälber	100	10	80	260
Mastälber	150	10	80	375
Mastrinder, Muni	200	10	80	475
Mastrinder, Muni	300	10	80	660
Mastrinder, Muni	400	10	80	830
Mastrinder, Muni	500	10	80	980
Milchkühe (15 l Milch/Tag)	500	10	80	1005
Milchkühe (15 l Milch/Tag)	600	10	80	1095
Milchkühe (15 l Milch/Tag)	700	10	80	1180
Zuchtstiere	1000	10	80	1105
Ferkel	2	28	66	18
Ferkel	5	25	66	37
Ferkel	10	24	66	61
Ferkel	20	20	70	96
Schweine Vormast	20	20	70	96
Schweine Vormast	30	17	73	125
Schweine Vormast	40	5	75	150
Schweine Endmast	60	13	77	190
Schweine Endmast	80	13	77	225
Schweine Endmast	100	13	77	255
Zuchtsauen, Eber	150	15	75	225
Zuchtsauen, Eber	200	15	75	275
Zuchtsauen, Eber	250	15	75	320
Sauen (inkl. 10 Ferkel à 5 kg)	150	18	72	760
Sauen (inkl. 10 Ferkel à 5 kg)	200	8	72	805
Sauen (inkl. 10 Ferkel à 5 kg)	250	18	72	855

Mastlämmer	20	10	80	65	
Mastlämmer	40	10	80	110	
Zucht/Wollschafe	60	0	80	120	
Zucht/Wollschafe	80	10	80	150	
Reitpferde	500	14	76	650	
Ackerpferde	800	10	80	960	
Küken	0.05	3	0	60	1.10
Küken	0.30	27	63	4.00	
Masthühner	0.50	24	66	5.90	
Masthühner	1.00	18	72	10.00	
Masthühner	1.50	18	72	13.60	
Legehennen	1.50	18	72	9.50	
Legehennen	2.00	18	72	11.80	
Ziegen (mit 5 l Milch/Tag)	30	10	80	140	
Ziegen (mit 5 l Milch/Tag)	40	10	80	160	
Ziegen (mit 5 l Milch/Tag)	50	10	80	175	
Ziegen (mit 5 l Milch/Tag)	60	10	80	190	
Ziegen (mit 5 l Milch/Tag)	70	10	80	20	

Tab. 2: **k-Richtwerte von Bauteilen landwirtschaftlicher Gebäude**
 Bauteil Wärmedämmung cm k-Wert W/m²K

Wände		
Holzrahmen, Verkleidung oder Mauerwerk, Aussendämmung oder Zweischalen-Mauerwerk	12	0,3
	8	0,4
	6	0,5
Gasbeton (Wandstärke)	30	0,4
(Wandstärke)	25	0,5
Decke/Dach		
Holzverkleidung oder Betondecke	12	0,3
	8	0,4
Türenflore		
beidseitig Aluminium	4	1,3
bzw. Kunststoff	3,5	1,5
	2	2,1
Fichte	4	2,2
	2,4	3,0
Fenster *)		
Doppelstegplatte	3,0	
Isolierverglasung (Luftschicht)	0,6	3,0
Einfachverglasung	5,2	

*) Zuschlag für Fenster mit Metallrahmen von 0,5 W/m²K

Tab. 3: **Formeln zur Berechnung des Stallklimas nach CIGR, 1984**

Anteil der fühlbaren Wärme	$Q_f = Q \cdot (0,8 - (1,85 \cdot (t+10)^4) / (10)^7)$	(W)
Anteil der latenten Wärmeabgabe	$Q_l = Q - Q_f$	(w)
Wasserdampfabgabe	$x = (Q_l / 0,68) \cdot f_w$	(g/h)
Kohlendioxidabgabe	$K = 0,163 \cdot Q$	(l/h)
Luftrate im Winter nach H ₂ O	$V_w = X / (x_i - x_a)$	(kg/h)
Luftrate im Winter nach CO ₂	$V_k = K / (k_i - k_a)$	(m ³ /h)
Luftrate im Sommer	$V_s = Q_f / (0,28 \cdot dt)$	
	Q _f bei 30 Grad	(kg/h)
Lüftungswärmeverluste	$Q_v = 0,28 \cdot V_w \cdot dt$ bzw. $0,28 \cdot V_k \cdot RH \cdot dt$	(W)
Restwärme (Wärmebilanz)	$Q_r = Q_f - Q_b - Q_v$	(W)

Q , Q _f , Q _l	= Totale, fühlbare, latente Wärmeabgabe der Tiere
Q _r , Q _b Q _v	= Restwärme, Transmission durch Bauteile, Lüftungsvl.
t	= Umgebungs- bzw. Stalltemperatur in °C
X	= Wasserdampfabgabe in g/h
K	= Kohlendioxidabgabe in l/h
f _w	= Feuchtigkeitsfaktor
V _w , V _s , V _k	= Luftraten Winter, Sommer in kg/h bzw. m ³ /h
x _i , x _a #)	= Wasserdampfgehalt der Luft innen, aussen in g/kg
k _i , k _a	= Kohlendioxidgehalt in Vol.%
dt	= Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen
RH	= Dichte der Luft in kg/m ³

#) Als Kohlendioxidgehalt aussen gilt 0,03%, innen ist 0,35% zulässig



Anhang 2

PC-Programm **Sonnenkollektoren (Version 1 .I)**

Anhang 2

PC-Programm Sonnenkollektoren (Version 1.1)

1. Allgemeines

Das PC-Programm «Sonnenkollektor» dient zur Dimensionierung von Luftkollektoren zur Heutrocknung. Es basiert auf Messungen an Modellkollektoren am PSI-Institut in Würenlingen. Aufgrund der Resultate entstand der FAT-Bericht Nr. 325 «Dimensionierung von Sonnenkollektoren für die Heubelüftung» sowie ein Computer-Programm für Grossrechner. Dieses Programm liegt nun in modifizierter Form für Personalcomputer vor.

Das Programm berechnet bei einer gegebenen Kollektorfläche und des Dachmaterials - ausgehend von der grössten Pfetten- oder Sparrenhöhe - die Luftgeschwindigkeit im Kollektor, den Druckverlust, den Wirkungsgrad und die Temperaturerhöhung der **Trocknungsluft** bei 800 W/m² Einstrahlung der Sonne. Dieser Berechnungsgang wird neunmal wiederholt, wobei die Kanalhöhe jedesmal um 1 cm abnimmt (1. berechnete Höhe = Pfettenhöhe).

2. Eingabedaten

Nach Aufruf des Programms «SOKO» erscheint nach dem Programmtitel eine Auswahlliste von berechneten Sonnenkollektoren. Die Datei «SOKO.DAT» enthält eine Anzahl von Musterbetrieben, welche nach Bedarf geändert werden können. Nach der Wahl eines Betriebs zeigt der Bildschirm die Eingabemaske mit den Daten des gewählten Betriebs. Für jede Berechnung können die Daten geändert werden (alle oder nur einzelne).

Die Maske enthält folgende Eingabedaten:

- Berater-Adresse
- Betriebs-Adresse mit Angabe der geographischen Höhe
- Anzahl Belüftungen
- Stockfläche (1 oder 2 Stöcke)

- Stockhöhe (1 oder 2 Stöcke)
- Luftdurchsatz (für 1 oder 2 Stöcke)
- Anlagedruck
- Typ des Kollektors (Material)
- Gesamtlänge des Kollektors
- Teillänge des Kollektors (bei, zweiseitigem Ansaug)
- Breite des Kollektors
- Balkenhöhe

Die Berater-Adresse kann für jeden Benützer einmal angepasst werden. Die Betriebs-Adresse ändert man für jeden Berechnungsgang. Beide Adressen erscheinen nur beim Ausdruck der Resultate, jedoch nicht auf dem Bildschirm.

In der Eingabemaske sind Erläuterungen für das Eintippen der Zahlenwerte angegeben. Ein Plausibilitätstest prüft die eingegebenen Werte. Sie müssen sich innerhalb der Grenzen in den Klammern befinden.

Korrekturen im gleichen Feld erfolgen mit der c-Taste.

Nach Eingabe von neuen Werten ist die Enter-Taste zu drücken. Mit der Taste PFEIL-NACH-OBEN springt man ins vorgehende, mit der Taste PFEIL-NACH-UNTEN ins nachfolgende Feld. Die entsprechenden Steuertasten erscheinen auf der untersten Linie.

Wenn zwei Stöcke (gleich oder verschieden grosse) nacheinander oder gleichzeitig **belüftet werden** sollen, muss eine 2 eingetippt werden, sonst eine 1 (Anzahl Belüftungen).

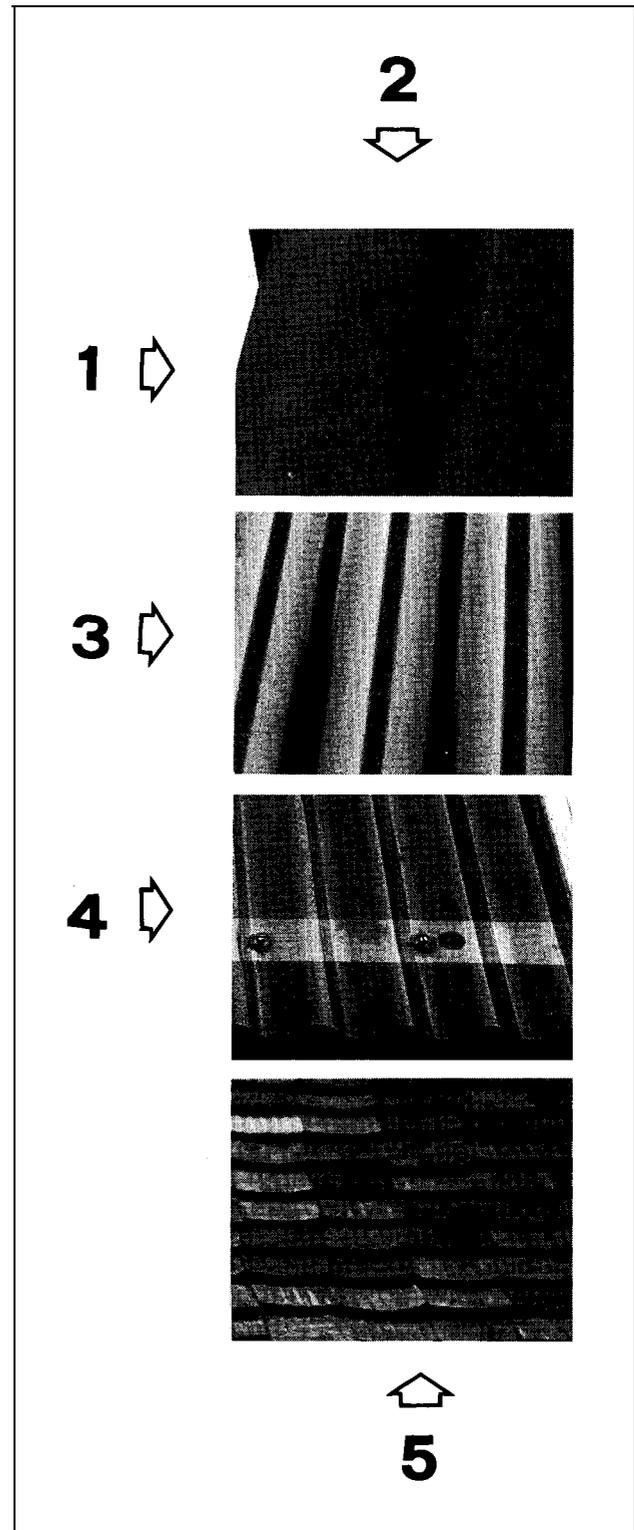
Aus der Stockfläche und der Stockhöhe berechnet das Programm den Luftdurchsatz und den Anlagedruck. Dies geschieht jedoch nur, wenn mit der Taste ENTER oder der Taste PFEIL-NACH-UNTEN das entsprechende Feld angetippt wird. Ist bereits ein bestimmter Ventilator gewählt, so ist dessen Luftdurchsatz einzugeben (beim entsprechenden Anlagedruck).

Die Berechnung kann für fünf verschiedene Kollektortypen durchgeführt werden:

- Typ 1: Eternit braun, quergewellt
- Typ 2: Eternit braun, längsgewellt
- Typ 3: Aluminium braun, quergewellt
- Typ 4: Polycarbonat transparent, quer gewellt
- Typ 5: Ziegelabdeckung

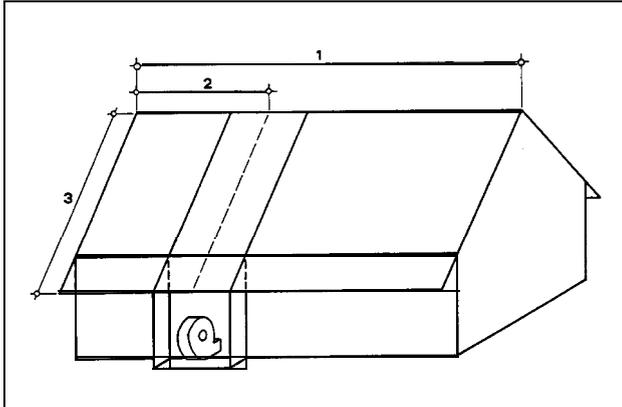
Eine Teillänge des Kollektors kommt nur bei zweiseitigem Ansaug in Frage. Ein Kollektor auf einem Sparrendach hat in der Regel die Teillänge Null (01, d.h. Ansaug nur von einer Seite. Die einzugebenden Masse für die Balken- oder Sparrenhöhe sowie die Kanalhöhe zeigt die Abbildung. Nach Eingabe des letzten Wertes ist die PgDn-Taste zu drücken.

Dachmaterialien



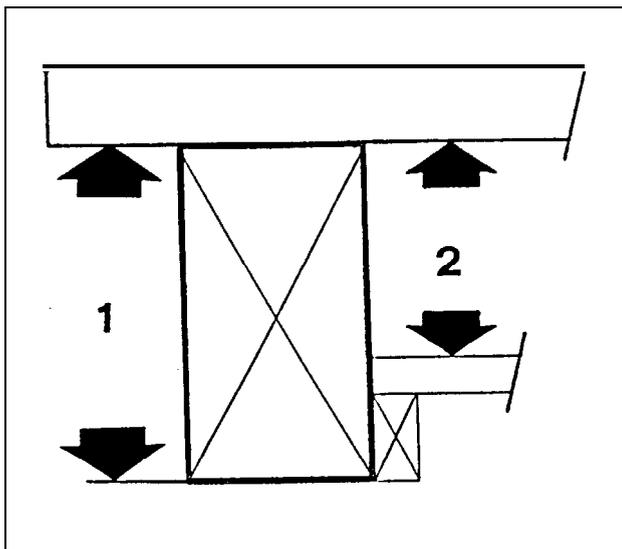
- 1: Eternit braun, quergewellt
- 2: Eternit braun, längsgewellt
- 3: Aluminium braun, quergewellt
- 4: Polycarbonat transparent, quergewellt
- 5: Ziegelabdeckung

Kollektormasse



- 1: Gesamtlänge
2: Teillänge
3: Breite

Abstände



- 1: Balkenhöhe
2: Kanalhöhe

3. Kontrolle der Daten

Auf dem Bildschirm erscheinen folgende Anmerkungen:

Daten mit #-Zeichen (z.B. # 0.15) sind kritisch und müssen geändert werden. Die Daten werden auf Betrieb Nr. 1 von SOKO.DAT gespeichert und können von dort wieder abgerufen werden. Daten mit \$-Zeichen sind ausserhalb der Grenzen und sollten überprüft werden. Das Programm wird in diesem Fall jedoch nicht unterbrochen. Die Wahl wird bestätigt unter Angabe von Luftansaug (ein- oder zweiseitig) und Lüfterzahl. Die Kontrollrechnung zeigt, ob sich die Lüfterrate im normalen Rahmen bewegt oder kritisch (#-Zeichen) wird.

Auch das Verhältnis Kollektorfläche zur Stockfläche wird kontrolliert. Es erscheint eine Warnung (\$-Zeichen), wenn das Verhältnis ausserhalb folgender Werte liegt:

Eternit:	2 - 3
Aluminium:	1,5 - 2,5
Polycarbonat:	1 - 1,5
Ziegel:	2,5 - 3,5

Erscheint das \$-Zeichen, so liegen die Werte ober- oder unterhalb der Richtwerte. Zu hohe Werte deuten auf eine zu grosse Kollektorfläche mit hohen Investitionskosten hin. Tiefe Werte lassen eine Lüfterwärmerung von weniger als 6°C erwarten.

4. Interpretation der Resultate

Die Resultate erscheinen zuerst auf dem Bildschirm. Man bestimmt die Kanalhöhe, bei der 6°C Lufterwärmung erzielt und der Druckverlust von 1 mbar nicht überschritten wird, wie der folgende Ausschnitt des Bildschirms zeigt.

Balkenhöhe (cm):	20		
Luftdurchsatz (m ³ /s):	12,1		
Kollektorlänge (m):	12,5		
Kanalhöhe (cm):	13	12	11
Luftgeschwindigkeit (m/s):	5,82	6,30	6,88
Druckverlust (mbar):	0,98	1,23	1,58
Wirkungsgrad (%):	49	50	52
Temperaturerhöhung *) (GrC):	5,8	6,0	6,1
Kollektorlänge m):	7,5		
Kanalhöhe (cm):	8	7	6
Luftgeschwindigkeit (m/s):	5,67	6,48	0,00
Druckverlust (mbar):	0,91	1,33	0,00
Wirkungsgrad (%):	51	53	0
Temperaturerhöhung *) (GrC):	6,0	6,3	0,0

*) bei 800 W/m² Sonnenstrahlung

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

Nun kann man entscheiden, ob die Resultate befriedigen. Wenn nein, sichert man die Daten und beginnt von vorne.

5. Drucken und Speichern

Wenn die Resultate befriedigen, kann der Drucker angewählt werden. Falls der Drucker nicht eingeschaltet ist, bittet das Programm mit einem Pieps-ton (nach einer Verzögerung von einigen Sekunden), dies zu tun.

Das Programm fragt anschliessend nach der Betriebsnummer, unter welcher die Daten gespeichert

werden sollen. Die Betriebsnummer 1 ist für «Absturzfälle» reserviert. Die Nummern 2 bis 15 sind frei verfügbar, wobei nicht mehr benützte Betriebe überschrieben werden können.

Die letzte Frage lautet, ob Sie einen neuen Kollektor oder eine weitere Variante rechnen möchten.



Anhang 3

PC-Programm Biogas (Version 1.1.1)

Anhang 3

PC-Programm Biogas (Version 1.1.1)

Kapitel 1: In Kürze

Wenn Sie mit der Bedienung von MS-DOS-Rechnern vertraut sind, lesen Sie dieses Kapitel. Sie gewinnen einen groben Überblick über BIOGAS und können in kurzer Zeit damit arbeiten.

Kapitel 2: Start

Hier lesen Sie, wie BIOGAS gestartet wird und erfahren Genaueres über die allgemeine Benutzerführung und die Bildschirm-Masken.

Kapitel 3: Die Menus

Dieses Kapitel erklärt Funktion und Bedienung der "Pull down"-Menus.

Kapitel 4: Dateneingabe

Hier werden die Möglichkeiten der Dateneingabe und -korrektur beschrieben.

Kapitel 5: Darstellung der berechneten Bilanzen

Hier erfahren Sie, wie Sie die Resultate Ihrer Dateneingabe darstellen.

Kapitel 6: Drucken von Daten

In diesem Kapitel erfahren Sie Details zum Drucken Ihrer Daten und Berechnungen.

Kapitel 7: Abspeichern und Lesen von Daten

Hier steht, wie Sie Ihre Daten auf Diskette oder Festplatte speichern und wie Sie sie wieder lesen und weiterbearbeiten können.

Anhang: Die Datei BIOGAS.DEF

Der Anhang erklärt Funktion und Inhalt der Datei BIOGAS.DEF.

1. In Kürze

Wenn Sie dieses Kapitel Schritt für Schritt durcharbeiten, dann haben Sie die wesentlichen Funktionen von BIOGAS kennengelernt. Bei vielen Schritten finden Sie einen Verweis auf das Kapitel, in dem Einzelheiten zum entsprechenden Thema stehen. Schlagen Sie gegebenenfalls dort nach und fahren Sie anschließend in diesem Kapitel weiter.

1.1 Starten des Programms

Starten Sie BIOGAS, indem Sie beim DOS-Prompt "BIOGAS<Enter>" eintippen.

Es erscheint der Start-Bildschirm.

1.2 Wechseln in den Menu-Modus

Drücken Sie <F10>.

Dadurch gelangen Sie in den Menu-Modus und können verschiedene Befehle ausführen. Das Datei-Menü ist geöffnet, der Befehl "Neu" ist aktiv. Näheres zur Bedienung der Menus finden Sie im Kapitel 3.

1.3 Erzeugen Sie ein neues Dokument

Drücken Sie <Enter>.

Sie verlassen den Menu-Modus und gelangen in die Eingabemaske "Tierbestand und Biogaspotential".

1.4 Geben Sie den Tierbestand und das Biogaspotential Ihres zu bearbeitenden Hofes ein

Sie können nun Ihre Daten in die Felder eingeben; jedesmal, wenn Sie <Enter> drücken, gelangen Sie auf das nächste Feld. Details zur Dateneingabe finden Sie im Kapitel 4.

1.5 Wechseln Sie in die nächste Eingabemaske

Wechseln Sie in den Menu-Modus (siehe 2. Schritt) und öffnen Sie das Eingabe-Menü, indem Sie die Taste <Rechts> drücken. Aktivieren Sie den Befehl "Proz.- und Betr.Parameter" (Taste <Ab>) und drücken Sie <Enter>. Füllen Sie auch diese Maske nach Ihren Vorgaben aus.

1.6 Bearbeiten Sie die dritte Eingabemaske

Verfahren Sie wie beim Schritt 6, aber aktivieren Sie nun den Befehl "Klimadaten". Passen Sie die Klimadaten-Maske Ihren Bedürfnissen an.

1.7 Speichern Sie Ihre Eingaben

Es empfiehlt sich, die eingegebenen Daten baldmöglichst zu speichern. Drücken Sie dazu <Alt>-S (dies ist ein abgekürztes Verfahren, Menu-Befehle aufzurufen. Lesen Sie dazu Kapitel 3).

Sie werden aufgefordert, einen Dateinamen einzugeben, als Vorschlag erscheint der Name

“BIOGAS.DAT”. Tippen Sie **MeinHof<Enter>** (Gross/Kleinschreibung spielt keine Rolle).

BIOGAS legt die Datei MEINHOF.DAT an; die Dateikennung .DAT wurde automatisch angehängt. Von nun an erscheint in der Statuszeile (siehe Kapitel 2) der Name der Datei, in der Ihre Daten gespeichert sind. Details zum Speichern von Daten finden Sie im Kapitel 7.

1.8 Berechnen Sie die Energiebilanzen Ihres Hofes

Sie können Tagesbilanz, Jahresbilanz mit Gasheizung und Jahresbilanz mit Wärme-Kraft-Kopplung sowie Energie-Substitution berechnen. Diese vier Befehle befinden sich im Berechnen-Menü. Näheres dazu finden Sie im Kapitel 5.

1.9 Drucken Sie Ihre Daten aus

Sie können durch Drücken von **<Alt>-P** die Daten der gerade angezeigten Bildschirmmaske ausdrucken. Näheres zum Drucken steht im Kapitel 6.

1.10 Beenden des Programms

Mit **<Alt>-X** können Sie jederzeit die Arbeit mit BIOGAS beenden. Wenn Sie Ihre Daten seit dem letzten Speichern verändert haben, haben Sie die Möglichkeit, diese Änderungen noch zu speichern.

2. Programm-Start und allgemeine Informationen

2.1 Programm-Start

Wenn Sie BIOGAS starten, haben Sie zwei Möglichkeiten:

- Sie tippen **“BIOGAS<Enter>“**.
- Sie tippen **BIOGAS <Dateiname><Enter>**, wobei <Dateiname> der Name einer existierenden BIOGAS-Datei ist. In diesem Fall wird diese Datei geladen, und Sie können direkt damit arbeiten. Details dazu finden Sie im Kapitel 7.

Nach dem Programmstart sucht BIOGAS als erstes eine Datei namens BIOGAS.DEF im Mutterverzeichnis (das ist das Verzeichnis, in dem sich

BIOGAS.EXE befindet). Wenn diese Suche erfolglos war, ertönt ein akustisches Signal, und in der Statuszeile erscheint eine entsprechende Meldung. Nach dem Drücken irgendeiner Taste gelangen Sie zurück zum DOS-Prompt.

Wenn Ihnen dieser Fehler passiert, fehlt BIOGAS.DEF; kopieren Sie die Datei von Ihrer Originaldiskette ins Mutterverzeichnis und starten Sie BIOGAS erneut.

Die Bedeutung der Datei BIOGAS.DEF ist im Anhang beschrieben.

2.2 Bildschirmmasken

Die Bildschirmmasken wurden so gestaltet, dass sie auf einem monochromen Bildschirm gut gelesen werden können. Bei Farb-Bildschirmen werden gewisse Informationen zusätzlich hervorgehoben, z.B. werden Eingabefelder und berechnete Felder unterschiedlich dargestellt.

Es wird unterschieden zwischen Eingabemasken (in denen Daten eingegeben und verändert werden können) und Darstellungsmasken (welche nur der Darstellung von Daten, z.B. von Berechnungen, dienen).

Sämtliche Bildschirmmasken sind grundsätzlich gleich aufgebaut. Sie bestehen aus 3 Teilen:

- Der Menu-Balken befindet sich in der obersten Bildschirm-Zeile; er wird gebraucht, wenn Sie sich im Menu-Modus befinden.

Der Fussbereich besteht aus den beiden untersten Bildschirmzeilen. Die obere Zeile (Statuszeile) enthält normalerweise den Namen der gerade geöffneten Datei oder den Text **keine Datei**; auf dieser Zeile erscheinen auch Meldungen des Programms. Die untere Zeile informiert darüber, welche Sondertasten zur Verfügung stehen.

Der Hauptbereich des Bildschirms dient der Darstellung und Bearbeitung der Daten.

2.3 Start-Bildschirm

Der Start-Bildschirm erscheint immer, wenn kein Dokument geöffnet ist:

- Wenn Sie BIOGAS starten, ohne einen Dateinamen anzugeben;
- Wenn Sie ein Dokument schliessen.

Der Start-Bildschirm ist eine normale Darstellungsmaske. Darin werden Informationen über das Programm angezeigt.

2.4 Die verschiedenen Programm-Modi

Es wird unterschieden zwischen

- Eingabe-Modus,
- Darstellungs-Modus und
- Menu-Modus.

Meistens befinden Sie sich im Eingabe-Modus, um die Daten Ihres Hofes zu bearbeiten. Wenn Sie diese Daten auswerten wollen, wechseln Sie in den Darstellungs-Modus und können so die Energiebilanzen anschauen. Der Menu-Modus wird gebraucht, um andere Befehle wie Speichern, Drucken etc. auszuführen, sowie um vom Eingabe- in den Darstellungs-Modus oder umgekehrt zu wechseln. Die 3 Modi sind in den Kapiteln 3 (Menu-Modus), 4 (Eingabe-Modus) und 5 (Darstellungs-Modus) näher beschrieben.

Ein weiterer Modus ist der sogenannte Dialog-Modus, bei dem Sie nur eine ganz beschränkte Auswahl von Möglichkeiten haben, z.B. die Eingabe eines Dateinamens oder die Beantwortung einer Frage mit Ja oder Nein .

3. Die Menus

BIOGAS ist voll menu-gesteuert, d.h. sämtliche Befehle werden über ein Menu ausgeführt. BIOGAS bietet sog. Pull Down -Menus an, deren Titel stets in der Menu-Leiste sichtbar sind. Sobald Sie in den Menu-Modus wechseln, wird eines dieser Menus geöffnet; Sie können mit einigen Tasten-

drücken alle Menus öffnen und gewinnen so einen schnellen, Überblick über alle Befehle, die ein Programm anbietet.

3.1 Bedienung der Menus

Mit <FIO> wechseln Sie aus dem Eingabe- oder Darstellungs-Modus in den Menu-Modus. Es wird dasjenige Menu geöffnet, das zuletzt aktiv war. Mit den Pfeiltasten <Rechts> und <Links> wechseln Sie ins nächste bzw. ins vorige Menu.

In jedem Menu befinden sich mehrere Befehle, die auf verschiedene Weise dargestellt sein können:

- Nicht-ausführbare Befehle sind mit halber Helligkeit dargestellt. Sie können, wie der Name sagt, nicht ausgeführt werden.
- Nicht-aktive Befehle sind mit voller Helligkeit dargestellt. Sie können ausgeführt werden, müssen aber zuvor aktiviert werden.
- Aktive Befehle sind invers dargestellt. Es kann jeweils nur ein einziger Befehl aktiv sein. Das Wechseln des Aktiven Befehls geschieht durch Betätigen der Tasten <Auf> bzw. <Ab>. Es kann sein, dass beim Öffnen eines Menus kein Befehl aktiv ist, obwohl es ausführbare Befehle enthält. In einem solchen Fall genügt es, entweder die Taste <Auf> oder <Ab> zu betätigen.

Der Menu-Modus wird verlassen

- durch Betätigen der Taste <Enter>: Dabei wird der aktive Befehl ausgeführt, oder
- durch Betätigen der Taste <Esc>: Dabei wird kein Befehl ausgeführt.

3.2 Kurzbefehle

Jeder Befehl ist auch direkt ausführbar, ohne dass in den Menu-Modus gewechselt werden muss. Dazu wird die Taste <Alt> zusammen mit einer befehlspezifischen Taste gedrückt. Diese Taste ist rechts von jedem Befehl sichtbar; so genügt z.B. die Tastenkombination <Alt>-X, um das Programm zu beenden.

3.3 Die Menus im Einzelnen

3.3.1 Datei-Menü

Das Datei-Menü enthält Befehle, die im Zusammenhang mit der Datei-Handhabung stehen:

- Neu <Alt>-N: Es wird ein neues Dokument eröffnet, welches vorerst noch keiner Datei zugeordnet ist (in der Statuszeile erscheint der Vermerk keine Datei).
- Öffnen... <Alt>-O: Sie gelangen in den Dialog-Modus und können eine bestehende Datei auswählen (näheres dazu finden Sie im Kapitel 7). Diese Datei wird anschliessend geöffnet, und Sie befinden sich im Bearbeiten-Modus. Der Dateiname erscheint in der Statuszeile.
- Sichern <Alt>-S: Die Daten des aktuellen Dokuments werden auf Diskette oder Festplatte gespeichert. Wenn das Dokument noch keiner Datei zugeordnet worden ist, müssen Sie einen Dateinamen eingeben (analog zu Sichern unter...). Nach dem Sichern befinden Sie sich wieder in dem Modus, in dem Sie zuvor waren.
- Sichern unter... <Alt>-A: Dieser Befehl erlaubt Ihnen, Ihr Dokument in einer anderen Datei abzuspeichern. Sie gelangen in den Dialog-Modus und können einen Dateinamen eingeben sowie das Laufwerk und das Verzeichnis auswählen, in welches die Datei geschrieben werden soll (siehe Kapitel 7). Die ursprüngliche Datei wird geschlossen, Sie arbeiten anschliessend mit der neuen Datei weiter. Der neue Dateiname erscheint in der Statuszeile.
- Schliessen <Alt>-W: Dasz.Zt. offene Dokument wird geschlossen; falls die Daten noch nicht gesichert sind bzw. seit dem letzten Sichern verändert worden sind, erhalten Sie die Möglichkeit, diese noch zu sichern (d.h. es wird der Befehl Sichern aufgerufen).
- Drucken <Alt>-P: Der Inhalt der gerade angezeigten Bildschirmmaske wird ausgedruckt.
- Beenden <Alt>-X: Nachdem ein allfällig geöffnetes Dokument geschlossen wurde (indem der Befehl Schliessen aufgerufen wird), wird BIOGAS beendet und Sie gelangen zurück zum DOS-Prompt.

3.3.2 Eingabe-Menü

Die Befehle dieses Menüs dienen dem Aufruf von Eingabemasken, welche die Dateneingabe ermöglichen. Dadurch gelangen Sie in den Eingabe-Modus.

- Tierbest. / Biogaspot. <Alt>-1: Beim Aufruf dieses Befehls gelangen Sie in die Maske TIERBESTAND UND BIOGASPOTENTIAL ; hier werden der Tierbestand des Hofes und das Biogas-Potential der einzelnen Tierarten erfasst.
- Proz.- und Betr.Param. <Alt>-2: Dieser Befehl führt in die Maske AUSLEGUNG BIOGASANLAGE , wo Prozess- und Betriebsparameter eingegeben und verändert werden.
- Klimadaten <Alt>-3: Dieser Befehl erlaubt das Anpassen der monatlichen Durchschnittstemperaturen sowie die Eingabe der Tagestemperaturen, die zur Bestimmung der Tagesbilanz verwendet werden sollen.

3.3.3 Berechnen-Menü

Die Befehle dieses Menüs rufen Darstellungsmasken auf, welche die Ergebnisse von Bilanzberechnungen darstellen. Sie gelangen in den Darstellungs-Modus.

- Tagesbilanz <Alt>-T: Berechnung und Darstellung der Energiebilanz für einen einzelnen Tag
- Jahresbilanz Gasheiz. <Alt>-G: Berechnung und Darstellung der Jahres-Energiebilanz bei Gasheizung.
- Jahresbilanz WKK <Alt>-K: Berechnung und Darstellung der Jahres-Energiebilanz beim Einsatz einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage.
- Energie-Substitution <Alt>-E: Berechnung und Darstellung der durch Biogas ersetzten Energiemenge; das Layout dieser Darstellungsmaske ist abhängig davon, ob Sie in der Maske AUSLEGUNG BIOGASANLAGE die Option

Warmwasserbereitung mit Oel-/Holzheizung oder Warmwasserbereitung mit Elektro-Boiler gewählt haben.

4. Dateneingabe

Wenn Sie sich im Eingabe-Modus befinden (in den drei Eingabemasken TIERBESTAND UND BIOGASPOTENTIAL , AUSLEGUNG BIOGASANLAGE und Klimadaten), können Sie die Daten in den Eingabefeldern verändern. Der Inhalt von berechneten Feldern wird automatisch neu berechnet, wenn dazugehörige Daten in Eingabefeldern verändert werden.

4.1 Feld-Typen

Der Hauptbereich von Eingabemasken enthält 3 Feld-Typen:

- **Statische Felder:** Diese verändern ihren Inhalt nie und sind lediglich zum Verständnis vorhanden. Dazu gehören z.B. der Maskentitel und Einheiten. Statische Felder sind in halber Helligkeit dargestellt.
- **Eingabefelder:** Diese Felder dienen der Datenerfassung und Veränderung. Es ist immer genau ein Feld aktiv, d.h. bearbeitbar. Die anderen Eingabefelder sind inaktiv. Das aktive Eingabefeld ist invers dargestellt und enthält einen blinkenden Cursor. Inaktive Eingabefelder sind in voller Helligkeit dargestellt.
- **Berechnete Felder:** In diesen Feldern werden Berechnungsergebnisse dargestellt. Ihr Inhalt kann sich aufgrund von Berechnungen verändern; es ist nicht möglich, den Inhalt eines berechneten Feldes direkt zu verändern. Berechnete Felder sind wie Eingabefelder in voller Helligkeit dargestellt. Bei Farbbildschirmen sind sie zusätzlich blau hinterlegt.

4.2 Bearbeiten von Eingabe-Feldern

Grundsätzlich wird das gerade aktive Eingabefeld bearbeitet, d.h. dasjenige, das invers dargestellt ist.

Durch das Eingeben von Daten im aktiven Eingabefeld wird automatisch der ursprüngliche Inhalt

gelöscht. Einesolche Eingabe kann nur rückgängig gemacht werden, solange Sie sich noch in diesem Feld befinden: Drücken Sie <Esc>, und der ursprüngliche Inhalt wird wiederhergestellt.

Während der Dateneingabe haben Sie die Möglichkeit, das zuletzt eingegebene Zeichen durch Betätigen der Taste <BS> zu löschen. Andere Editierfunktionen bestehen nicht.

Beim Verlassen des Feldes wird geprüft, ob die Dateneingabe erlaubt ist, z.B. ob bei einem numerischen Feld wirklich eine gültige Zahl eingegeben wurde. Bei einer ungültigen Eingabe ertönt ein akustisches Signal, und das Feld kann nicht verlassen werden.

4.3 Navigation innerhalb einer Eingabemaske

Mit Hilfe von Sondertasten können Sie sich innerhalb der Eingabemaske bewegen:

<Ab>, <Enter>: Nach unten

<Rechts>, <Tab>: Nach rechts

<Auf>: Nach oben

<Links>, <Shift>-<Tab>: Nach links

<Home>: Zum ersten Feld

<End>: Zum letzten Feld

Durch Betätigen von <F10> wechseln Sie in den Menu-Modus.

5. Darstellung der berechneten Bilanzen

Durch Aufrufen der Befehle Tagesbilanz , Jahresbilanz Gasheiz. , Jahresbilanz WKK oder Energie-Substitution im Berechnen-Menu gelangen Sie in den Darstellungs-Modus. Je nach gewünschter Bilanz erscheint eine Darstellungsmaske mit den entsprechenden Resultaten.

Im Darstellungs-Modus haben Sie keine Möglichkeit, Daten zu verändern. Sie können lediglich mit <F10> in den Menu-Modus wechseln.

6: Drucken von Daten

Sämtliche Daten, die Sie auf dem Bildschirm sehen, können mit dem Befehl "Drucken" im Datei-Menü auch ausgedruckt werden.

Es gibt 5 verschiedene Druckmasken:

- Tierbestand und Anlageparameter: In dieser Druckmaske sind die beiden Bildschirmmasken "TIERBESTAND UND BIOGASPOTENTIAL" und "AUSLEGUNG BIOGASANLAGE" kombiniert.
- Klimadaten: Diese Druckmaske entspricht der Bildschirmmaske "Klimadaten".
- Resultate Tagesbilanz: Entspricht der Bildschirmmaske "Resultate Tagesbilanz".
- Resultate Jahresbilanz: Hier sind die beiden Bildschirmmasken "Resultate Jahresbilanz (Nutzung in Gasheizkessel)" und "Resultate Jahresbilanz (Nutzung in Wärme-Kraft-Kopplungsanlage)" zusammengefasst.
- Einsparung von Energie mit Biogas: Entspricht der Bildschirmmaske "EINSPARUNG von Heizöl/Holz (und Elektrizität) mit Biogas".

Wenn der Drucker nicht bereit ist, erscheint eine entsprechende Meldung.

In der Datei BIOGAS.DEF sind Werte gespeichert, die auf das Drucken Einfluss haben:

Drucker-Anschluss,

Oberer Rand,

Linker Rand.

Lesen Sie dazu den Anhang.

7. Abspeichern und Lesen von Daten

7.1 Abspeichern

Die Daten Ihres Dokuments werden bei den folgenden Gelegenheiten gespeichert:

- Sie führen den Befehl Sichern aus: BIOGAS kontrolliert, ob Ihr Dokument bereits einer Datei zugeordnet ist (wenn in der Statuszeile ein Dateiname erscheint). Ist dies der Fall, werden die Daten in diese Datei geschrieben. Andernfalls wird der Befehl "Sichern unter..." aufgerufen (siehe unten).
- Sie führen den Befehl Sichern unter... aus: Das bedeutet, dass Sie Ihre Daten einer neuen Datei zuordnen wollen. Es erscheint der "Sichern unter"-Dialog, der Ihnen erlaubt, die zu sichernde Datei mit einem neuen Namen zu versehen und/oder in ein anderes Verzeichnis auf einem anderen Laufwerk zu schreiben. Der "Sichern unter"-Dialog ist im Kapitel 7.3 detailliert beschrieben.
- Sie führen den Befehl Schliessen aus, haben aber Daten Ihres Dokuments verändert und diese Änderungen noch nicht gespeichert: BIOGAS bringt ein Dialogfenster mit der Frage, ob Sie Ihre Änderungen vor dem Schliessen sichern wollen.
"J" ruff den "Sichern"-Befehl auf (siehe oben);
"N" schliesst das Dokument, ohne die Änderungen zu sichern;
<Esc> macht den "Schliessen"-Befehl rückgängig.
- Sie führen den Befehl Beenden aus, haben aber Daten Ihres Dokuments verändert und diese Änderungen noch nicht gespeichert: Da BIOGAS beim Befehl "Beenden" zuerst den "Schliessen"-Befehl aufruft, erscheint der gleiche Dialog mit den gleichen Möglichkeiten wie beim "Schliessen"-Befehl (siehe oben).

7.2 Lesen

Gespeicherte Daten können auf zwei Arten gelesen werden:

- Beim Programmstart rufen Sie BIOGAS mit einem Dateinamen, ggf. zusammen mit einem Zugriffspfad, auf (siehe Kapitel 2.1). Die Eingabedateikennung (der Teil des Dateinamens nach dem Punkt) ist nur erforderlich, wenn die zu öffnende Datei nicht die Standard-Dateikennung besitzt, die in BIOGAS.DEF festgelegt ist (siehe Anhang); wenn der eingegebene Dateiname keinen Punkt enthält, wird die Standard-Dateikennung automatisch angehängt. Wenn die gewünschte Datei nicht vorhanden ist, erscheint eine entsprechende Meldung, und Sie gelangen in den Start-Bildschirm.
- Sie führen (vom Startbildschirm aus) den Befehl Öffnen... aus:
Es erscheint der Datei öffnen -Dialog, der Ihnen die Auswahl aus den vorhandenen Dateien erlaubt (siehe Kapitel 7.3).
In beiden Fällen gilt: Wenn die Datei keine BIOGAS-Datei ist, erscheint eine entsprechende Meldung, und Sie gelangen in den Start-Bildschirm, andernfalls in die Maske TIERBESTAND UND BIOGASPOTENTIAL .

7.3 Die Dialoge Sichern unter und Datei öffnen

Diese beiden Dialoge sind einander sehr ähnlich und haben die Aufgabe, die Dateihandhabung so einfach wie möglich zu gestalten. Sie brauchen nicht Laufwerke und Zugriffspfade mit dem Backslash-Klammergriff einzutippen, sondern können sich bequem dorthin navigieren, wo Sie Ihre Datei schreiben oder lesen wollen.

Beide Dialoge weisen 6 Felder auf:

- **Titelfeld:** Hier sehen Sie, ob Sie sich im Sichern unter oder im Datei öffnen -Dialog befinden; dieses Feld kann nicht verändert werden.
- **Name-/Dateimaskenfeld:** Hier wird im Sichern unter Dialog der Name der zu schreibenden Datei, im Datei öffnen

Dialog die Dateimaske eingegeben (zur Funktion der Dateimaske siehe unten).

- **Laufwerkfeld:** Dies ist eine Liste sämtlicher dem System bekannten Laufwerke (es werden auch virtuelle Laufwerke wie RAM-Disks oder Netzwerk-Drives dargestellt). Aus dieser Liste kann das aktuelle Laufwerk ausgewählt werden.
- **Verzeichnis-/Dateifeld:** In dieser Liste sind sämtliche Unterverzeichnisse aufgelistet, die sich im aktuellen Verzeichnis befinden, sowie beim Datei öffnen -Dialog die Dateien, deren Namen mit der Dateimaske übereinstimmen.
- **Zugriffspfadfeld:** Hier wird der aktuelle Zugriffspfad dargestellt. Dieses Feld kann nicht direkt verändert werden, sondern wird aufgrund der Veränderungen im Laufwerks- und Verzeichnisfeld aktualisiert.
- **Hilfefeld:** Dieses Feld zeigt an, welche Tasten gebraucht werden können.

Mit der Taste <Tab> wird von einem Feld zum anderen gewechselt, wobei das aktive Feld fett umrandet ist. Sämtliche Aktionen betreffen das aktive Feld. In jedem Feld bewirkt <Esc>, dass der aufgerufene Datei-Befehl abgebrochen wird und der Dialog verschwindet.

- **Name-/Dateimaskenfeld:** Dieses verhält sich wie ein Eingabefeld in einer Eingabemaske, d.h. durch die Dateneingabe wird der vorherige Inhalt gelöscht. Kleinbuchstaben werden automatisch in Grossbuchstaben übersetzt. <Return> löst je nach Dialog unterschiedliche Aktionen aus:

Im Sichern unter -Dialog gilt es als Bestätigung, dass der eingegebene Dateiname angenommen werden soll. Wenn er keinen Punkt enthält, wird die Standard-Dateikennung angehängt (siehe Kapitel 7.2).

Falls der eingegebene Dateiname ungültig ist (z.B. weil er Leerzeichen enthält), erscheint eine Fehlermeldung. Andernfalls wird festgestellt, ob im aktuellen Verzeichnis eine solche Datei bereits existiert; falls ja, muss ausdrück-

lich bestätigt werden, dass die alte Datei gelöscht werden soll.

Ist alles in Ordnung, wird die gewünschte Datei im aktuellen Verzeichnis angelegt, und der Dialog wird geschlossen.

Im Datei öffnen -Dialog gilt es als Bestätigung, dass das Verzeichnis- und Dateifeld aufgrund der Dateimaske neu dargestellt werden soll. In diesem Fall wird das aktuelle Verzeichnis nach allen Dateien durchsucht, die zur eingegebenen Dateimaske passen; die Dateimaske kann sog. Wildcards enthalten, das sind die Zeichen '*' und '?', welche als Platzhalter für beliebige Zeichen dienen.

- Wenn das Laufwerkfeld aktiv ist, kann das aktuelle Laufwerk mit den Tasten <Auf> und <Ab> ausgewählt und mit <Return> bestätigt werden. Falls sich keine Diskette im betreffenden Laufwerk befindet, erscheint eine Fehlermeldung, und das Laufwerk kann nicht ausgewählt werden. Das Verzeichnis-/Dateifeld und das Pfadfeld werden automatisch aktualisiert.
- Im Verzeichnis-/Dateifeld kann innerhalb des ausgewählten Laufwerks das gewünschte Verzeichnis ausgewählt werden, indem der Auswahlbalken mit den Tasten <Auf> und <Ab> auf den Namen eines Unterverzeichnisses (markiert durch '\' oder auf '<UP-DIR>' (für das Mutterverzeichnis) bewegt und die Taste <Return> betätigt wird. Das Pfadfeld wird automatisch aktualisiert.
Wenn im Datei öffnen -Dialog der Auswahlbalken auf einem Dateinamen steht und <Return> gedrückt wird, so wird die betreffende Datei geöffnet, und der Dialog verschwindet.

Anhang: Die Datei BIOGAS.DEF

In der Datei BIOGAS.DEF sind gewisse Voreinstellungswerte gespeichert, die bei genügender Vorsicht geändert werden können.

Vorsicht! BIOGAS kann abstürzen, wenn die Datei BIOGAS.DEF verändert wurde und nicht mehr die vorgeschriebene Struktur aufweist. Es wird dringend empfohlen, zuvor eine Sicherungskopie der alten Version zu machen.

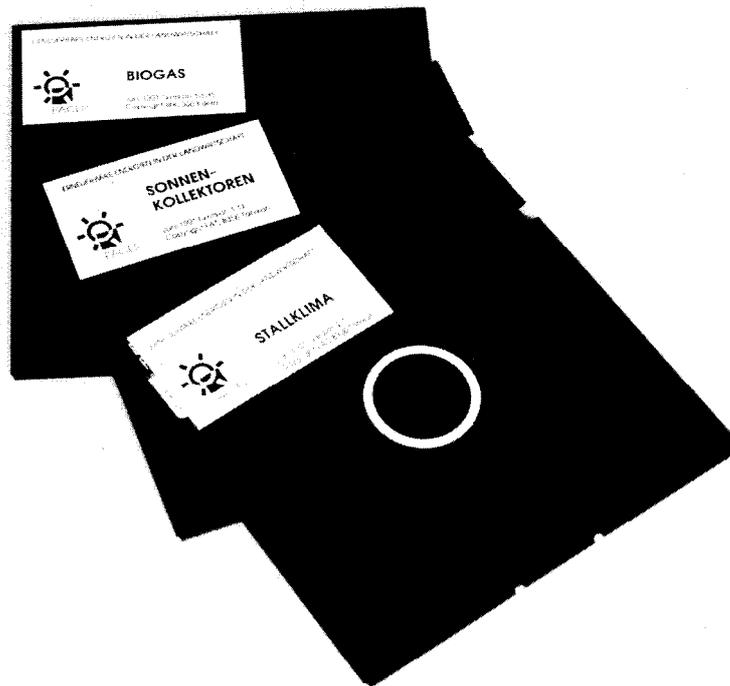
BIOGAS.DEF ist eine Text-Datei, die sich mit jedem normalen Programm-Editor oder Textverarbeitungsprogramm bearbeiten lässt. Achten Sie darauf, dass Sie beim Speichern Ihrer veränderten Version die Datei als **NUR TEXT** abspeichern.

Der Aufbau von BIOGAS.DEF ist folgendermassen:

1. Zeile: Betriebsname
2. Zeile: Beschreibung
3. Zeile: Sachbearbeiter
4. bis
14. Zeile: Tierbestand (Anzahl, Biogasausbeute, Güllemenge); pro Tierart eine Zeile
15. Zeile: Stalltyp (B = Überflur, T = Unterflur)
16. Zeile: Fermentertemperatur, Verweilzeit, k-Wert, zusätzliches Gasvolumen
17. Zeile: Heizölverbrauch, Holzverbrauch, andere Energieträger, Warmwasserbedarf.
18. Zeile: Art der Warmwasserbereitung (H= Öl/ Holz, E=Elektro-Boiler)
19. Zeile: Wirkungsgrade (Vergleichsheizung, Warmwasser, Gasheizung, WKK-Anlage)
20. Zeile: Gasverbrauch WKK-Anlage
21. Zeile: Tagestemperaturen (Aussen, Boden, Frischgülle)
22. bis 33. Zeile: Monatstemperaturen (Aussen, Boden, Frischgülle), Anteil Heizgradtage
34. bis 44. Zeile: kg OS pro Tier und Tag; pro Tierart eine Zeile
45. Zeile: Spezifische Wärmen bzw. Heizwert (Öl, Holz, Wasser, Gülle, Gas)
46. Zeile: Wassertemperaturen (Kaltwasser, Warmwasser)
47. Zeile: Druckerrand (links, oben)
48. Zeile: Druckeranschluss (es kann auch ein Dateiname stehen)

- 49. Zeile: Dateinamen-Maske, die im Datei öffnen Dialog erscheint**
- 50. Zeile: Standard-Dateikennung, die an den Dateinamen angehängt wird, falls dieser keinen Punkt enthält.**
- 51. Zeile: Standard-Dateiname, der im Sichern unter Dialog erscheint.**

GUTSCHEIN für PC-Programme



Die Grunddaten zur Dimensionierung von Wärmerückgewinnungsanlagen aus der Stallluft, Sonnenkollektoren für die Heubelüftung und Biogasanlagen werden mit drei PC-Programmen berechnet.
Die PC-Programme können mit dem der Dokumentation beigelegten Gutschein bei der

INFOSOLAR, c/o FAT, 8356 Tänikon
bestellt werden.