



## **Berechnungs- und Planungsgrundlagen für das Klima in geschlossenen Ställen**

Erlöse aus der tierischen Produktion machen etwa 70 % der gesamten landwirtschaftlichen Verkaufserlöse aus. Entscheidenden Einfluss auf die Leistungen in der Tierhaltung hat das Stallklima. Schlechte Luftverhältnisse und Planungsmängel können sich sowohl auf die Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Nutztiere als auch auf die Bausubstanz negativ auswirken.

Grundlage der Planung geschlossener Nutztierställe, bei denen der Luftaustausch vorzugsweise durch Ventilatoren erfolgt, ist die DIN 18 910 „Wärmeschutz geschlossener Ställe - Wärmedämmung und Lüftung - Planungs- und Berechnungsgrundlagen“ (Ausgabe 2004). Es handelt sich hierbei nicht um eine Norm für das Stallklima sondern um eine Planungs- und Berechnungsgrundlage für die Bemessung der Wärmedämmung und der Lüftung (Planungswerte für Winter- und Sommerlüftrate). Sie gibt zusätzlich Anweisungen für die Bemessung des Feuchteschutzes der raumumschließenden Bauteile.

Dieses Heft gibt Hilfestellung bei der Umsetzung der DIN in die Praxis von Ausbildung und Beratung. Die aufgeführten Werte und Tabellen sind in Anlehnung an die DIN 18 910 in ihrer aktuellen Fassung zusammengestellt. Berechnungen auf der Grundlage der Tabellenwerte ersetzen jedoch nicht die konkrete Einzelplanung für die Errichtung eines Stalles.



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Begriffe</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Stallklima</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Lüftung und Wärmedämmung nach DIN 18 910</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Anforderungen an das Stallklima und den Bautenschutz</b>	<b>4</b>
4.1	Temperatur und relative Luftfeuchte der Stallluft .....	4
4.2	Kohlendioxidgehalt der Stallluft.....	4
4.3	Stalllüftung .....	5
4.4	Schutz der Bauteile gegen Feuchtigkeit .....	5
<b>5</b>	<b>Berechnungsgrundlagen</b>	<b>7</b>
5.1	Stallbesatz .....	7
5.2	Wasserdampf- und Kohlendioxidmassenstrom sowie Wärmestrom .....	7
5.3	Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Winter .....	7
5.4	Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Sommer .....	7
5.5	Temperatur der Luft der an den Stall grenzenden Räume .....	7
5.6	Kohlendioxidgehalt der Außenluft .....	7
5.7	Luftdruck .....	7
5.8	Oberflächenkondensat .....	8
<b>6</b>	<b>Berechnung der Luftmassenströme, Berechnungsverfahren</b>	<b>12</b>
6.1	Bemessungsgrundlagen und Berechnungsverfahren für den Luftmassenstrom im Sommer .....	12
6.2	Bemessungsgrundlage und Berechnungsverfahren für den Luftmassenstrom im Winter .....	13
6.3	Umrechnung von Luftmassenstrom auf Luftvolumenstrom .....	14
<b>7</b>	<b>Berechnungsverfahren für den Lüftungswärmestrom im Winter</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Bemessung der Wärmedämmung, Berechnungsverfahren</b>	<b>15</b>
8.1	Bemessung.....	15
8.2	Berechnungsverfahren für den Transmissionswärmestrom .....	15
<b>9</b>	<b>Ausgleich der Wärmebilanz</b>	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>17</b>
10.1	Maßeinheiten .....	17
10.2	Anteile der sensiblen und latenten Wärme .....	17
10.3	Kurzzeichen .....	18
10.4	Indizes .....	18
10.5	Temperaturkarten.....	19
10.6	Tabellenverzeichnis .....	20

---

## 1 Begriffe

Im folgenden werden die in diesem Heft verwendeten Begriffe erläutert:

- **Abluft**

Abluft ist die Luft, die aus dem Raum geführt wird. Sie ist meistens identisch mit Fortluft.

- **Fortluft**

Fortluft ist die Abluft, die ins Freie abströmt.

- **Kernkondensat**

Kernkondensat ist die Feuchtigkeit, die im Innern der Bauteile ausfällt, wenn diffundierender Wasserdampf kondensiert: Entweder infolge Abkühlung bis zum Taupunkt oder wenn der Dampfteildruck im Bauteil den Sättigungsdruck erreicht hat.

- **Kohlendioxidbilanz**

Kohlendioxidbilanz ist die Bilanz aus den dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Massenströmen des Kohlendioxids (CO<sub>2</sub>).

- **Lüftungswärmestrom**

Lüftungswärmestrom ist der Wärmebedarf, der zum Ausgleich von Lüftungswärmeverlusten benötigt wird.

- **Luftmassenstrom im Stall**

Luftmassenstrom ist die Luftmasse in kg, die in einer Stunde zwischen dem Stall und seiner Umgebung ausgetauscht wird; siehe Zuluft, Abluft, Fortluft.

- **Luftvolumenstrom**

Luftvolumenstrom ist die Luftmenge pro Zeiteinheit. Er errechnet sich aus dem Luftmassenstrom unter Berücksichtigung der Luftdichte.

- **Luftwechselzahl**

Luftwechselzahl ist der Luftvolumenstrom bezogen auf das Raumvolumen.

- **Taupunkt der Luft**

Taupunkt der Luft ist die Temperatur  $\vartheta_s$ , bei der der vorhandene Wasserdampfgehalt der Luft durch Abkühlen den Sättigungszustand erreicht (relative Luftfeuchte = 100 %). Wird Luft unter ihren Taupunkt abgekühlt, so kondensiert der überschüssige Wasserdampf.

- **Transmissionswärmestrom (Wärmeverluste durch die Bauteile)**

Transmissionswärmestrom ist der Wärmestrom der durch die raumumschließenden Bauteile aufgrund der Temperaturdifferenz zwischen Stallluft und Außenluft fließt.

- **Wärme**

Wärme tritt in zwei Formen auf:

- *sensible Wärme*: "fühlbare" Wärme (mit dem Thermometer meßbar)
- *latente Wärme*: bei der Verdampfung von Flüssigkeiten gebundene Wärme, die bei der Kondensation der Flüssigkeiten wieder in sensible Wärme umgewandelt wird.

- **Wärmebilanz**

Wärmebilanz ist die Gegenüberstellung von aus dem dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Strömen sensibler Wärme.

- **Wasserdampfbilanz**

Wasserdampfbilanz ist die Bilanz aus den dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Massenströmen des Wasserdampfes.

- **Zuluft**

Zuluft ist die gesamte dem Raum zuströmende Luft.

---

## 2 Stallklima

Zur Schaffung und Erhaltung eines guten Stallklimas sind bestimmte Maßnahmen erforderlich, die bei der Bauausführung und der Einrichtung der Lüftungsanlage zu berücksichtigen sind. Hierzu gehören Überlegungen und Berechnungen, welche die Kenntnis bestimmter physikalischer Vorgänge in der Stallluft wie auch die Beachtung der tierphysiologischen Bedingungen voraussetzen. Diese Zusammenhänge werden im vorliegenden Heft behandelt und in ihrer Abhängigkeit zueinander dargestellt.

Das Stallklima wird in der Hauptsache durch die folgenden Faktoren bestimmt:

- Lufttemperatur,
- stallseitige Oberflächentemperatur der Bauteile,
- Luftfeuchte,
- Kohlendioxidkonzentration ( $\text{CO}_2$ ),
- Ammoniakkonzentration ( $\text{NH}_3$ ),
- Schwefelwasserstoffkonzentration ( $\text{H}_2\text{S}$ ),
- Luftgeschwindigkeit.

Diese und andere Faktoren, z. B. das Licht, oder auch Staub und Keimgehalt der Luft bestimmen weitgehend das Wohlbefinden, die Leistung und die Gesundheit der Tiere sowie die Arbeitsbedingungen der Menschen.

Die Tiere beeinflussen durch die Abgabe von Wärme, Wasserdampf und Kohlendioxid die Stallluftqualität. Die Höhe der Abgabe ist in erster Linie abhängig von der Tierart und dem Gewicht der Tiere, weiter von der vorhandenen Stalllufttemperatur und der relativen Luftfeuchte. Sie wird aber auch vom Fütterungs- und Haltungsverfahren beeinflusst.

Auch fallen Ammoniak und Schwefelwasserstoff an. Diese Gase entstehen vor allem bei der Zersetzung der Fäkalien. Hier hängt die Gasbelastung stark von der Temperatur, der Aufstellungsform und dem Entmistungsverfahren ab.

---

## 3 Lüftung und Wärmedämmung nach DIN 18 910

Für die Planung geschlossener, wärmegeprägter Ställe (Rinder-, Schweine-, Geflügel-, Pferde- und Schafställe), bei denen der Luftaustausch vorzugsweise durch Ventilatoren (Zwangslüftung) erfolgt, gilt die DIN 18 910. Diese Norm enthält auf der Basis der Wasserdampf-, Kohlendioxid- und Wärmestrombilanzen Festlegungen zur Berechnung des Luftmassenstroms im Winter und im Sommer sowie der Wärmedämmung der Bauteile des Stalles. Sie gibt

Anweisungen für die Bemessung des Feuchtigkeitsschutzes der raumumschließenden Bauteile.

Ziel ist der dauerhafte Ausgleich der Wärmebilanz auf dem Niveau der tierart- und haltungsabschnittsgerechten Soll-Temperatur (**Tabelle 1 bis Tabelle 5**). Dazu werden die Wärmeverluste über Bauteile (Transmission) und Lüftung den Wärmeeinträgen durch die Tiere, Zuluft und Transmission einander gegenüber gestellt.

Ein Ausgleich kann in der Regel über zusätzliche Lüftung (Wärmeüberschuss) oder Heizung (Wärmedefizit) sowie Dämmung erfolgen.

**Für Ställe, deren konstruktiver Wärmeschutz so gering ist, dass mit ihm keine wesentliche Beeinflussung der Stalllufttemperatur erreicht wird - z. B. ein nicht wärmegeprägter Stall (Kaltstall) - können die nachfolgenden Planungs- und Berechnungsgrundlagen nicht angewendet werden.**

---

## 4 Anforderungen an das Stallklima und den Bautenschutz

### 4.1 Temperatur und relative Luftfeuchte der Stallluft

Von den Faktoren, die das Stallklima beeinflussen, kommen der Lufttemperatur und der Luftfeuchte besondere Bedeutung zu. Für die Temperatur der Stallluft  $\vartheta_i$  im Bereich der Tiere gibt die DIN 18 910 je nach Tierart, Haltungsabschnitt und Tiergewicht differenzierte Lufttemperaturbereiche an. In diesem Heft werden die Rechenwerte für den Winter *praxisüblichen Werten angepaßt*. Für die relative Luftfeuchte  $\varphi_i$  wird in Ställen ohne Heizung ein Wert zwischen 60 % und 80 %, in Ställen mit Heizung ein Wert zwischen 40 % und 70 % angestrebt.

Im Sommer soll die Stalllufttemperatur so wenig wie möglich über die Außenlufttemperatur ansteigen.

### 4.2 Kohlendioxidgehalt der Stallluft

Der Kohlendioxidgehalt ( $\text{CO}_2$ -Gehalt) der Stallluft wird als Indikator für die Qualität der Stallluft angesehen. Je höher der Kohlendioxidgehalt der Stallluft ist, desto höher ist im allgemeinen die Anreicherung mit unerwünschten Gasen, die sowohl von Tieren stammen, als auch bei Umsetzungsvorgängen aus den tierischen Exkrementen und gelegentlich aus dem Futter entstehen. **Bei der Berechnung des Luftmassenstroms nach der Kohlendioxidbilanz (im Winter) ist ein Richtwert  $K_i$  von 5,0 g/kg trockene Luft zu unterstellen.** Beim Betrieb einer Heizung ohne Rauchgasabführung (z. B. Gasstrahler) ist deren Kohlendioxidmassenstrom mit zu berücksichtigen.

### 4.3 Stalllüftung

Die Lüftungsanlage ist so auszulegen, dass der für den Sommer berechnete Luftmassenstrom mit Sicherheit gefördert werden kann, wobei sämtliche Strömungswiderstände zu berücksichtigen sind. Die Steuerung der Lüftungsanlage muß so ausgelegt werden, dass der für den Winter berechnete Luftmassenstrom bei nahezu durchlaufendem Betrieb der Lüftungsanlage erreicht werden kann.

Im Bereich der in den Tabellen 1 bis 5 angegebenen Rechenwerte für die Stallluft soll die Luftgeschwindigkeit von 0,2 m/s im Tierbereich nicht überschritten werden. Übersteigen die Stalllufttemperaturen im Sommer die angegebenen Höchstwerte des optimalen Bereichs, ist zur Gewährleistung der Wärmeabfuhr eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Tierbereich auf bis zu 0,6 m/s möglich.

In der Stallluft dürfen Ammoniak (NH<sub>3</sub>), Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) und andere Gase nicht in gesundheitsschädlichen Konzentrationen auftreten. Der Anfall von Schwefelwasserstoff und Ammoniak in Ställen läßt sich nicht berechnen. Es ist aber zu empfehlen, für alle Ställe folgende Grenzwerte einzuhalten:

- NH<sub>3</sub>: 20 ppm
- H<sub>2</sub>S: 5 ppm

Diese Grenzwerte werden bei Berechnung des Luftmassenstroms im Winter nach der Kohlendioxidbilanz im Regelfall nicht überschritten.

Lebensgefährliche Gaskonzentrationen können jedoch entstehen, wenn Flüssigmist in Gruben unter dem Stall oder solchen Gruben, die mit dem Luftraum des Stalles in Verbindung stehen, aufgerührt oder umgepumpt wird.

Für den Fall, dass bei Ausfall der Zwangslüftung für die Tiere keine lebenserhaltende Luftversorgung gegeben ist, sind Einrichtungen erforderlich, die selbsttätig eine Notlüftung oder eine netzunabhängige Meldung der Störung bewirken. Unter anderem sind die besonderen Vorschriften des Tierschutzgesetzes und des Verbandes der Sachversicherer (VdS) zu beachten.

### 4.4 Schutz der Bauteile gegen Feuchtigkeit

Oberflächen- und Kernkondensate sind unerwünscht, wenn die Wärmedämmung der Bauteile dadurch nennenswert beeinträchtigt und die Dauerhaftigkeit wie auch die statische Funktion der Baustoffe und Bauteile gefährdet wird.

Zeitweilig anfallendes Kondensat muß während der jahreszeitlichen Verdunstungsperiode (Sommer) wieder vollständig ausdiffundieren können. Eine ausreichende Wärmedämmung, eine sachgemäße Schichtenfolge bei mehrschichtigen Konstruktionen sowie raumluftechnische Maßnahmen können die Bildung von Tauwasser an und in den Bauteilen verhindern oder zumindest einschränken. Deshalb sollten die Schichten von innen nach außen so angeordnet werden, dass in Richtung des Dampfdruck- und Temperaturgefälles ihr Wärmedurchlaßwiderstand zunimmt und ihr Wasserdampfdurchlaßwiderstand abnimmt.

**Tabelle 1:** Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 in °C und relative Luftfeuchte ( $\varphi_i$ ) in Schweineställen

	Gewicht des Einzeltieres kg	Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 °C	Rechenwerte im Winter <sup>3)</sup>	
			$\vartheta_i$ °C	$\varphi_i$ %
Jungsauen, leere, niedertragende Sauen, Eber	über 50	10 bis 18	16	80
ferkelführende Sauen, im Ferkelbereich Zonenheizung <sup>2)</sup>	über 100	12 bis 20	18	80
Mastschweine einschließlich Aufzucht im Rein-Raus-Verfahren	10	26 bis 22 <sup>1)</sup>	24	70
	20 bis 30	22 bis 18 <sup>1)</sup>	20	80
	40 bis 50	20 bis 16 <sup>1)</sup>	18	80
	60 bis 100	18 bis 14 <sup>1)</sup>	16	80
Mastschweine kontinuierliche Mast	20 bis 40	22 bis 18	20	80
	40 bis 100	20 bis 16	18	80
	60 bis 100	18 bis 14	16	80

1) Lufttemperatur mit zunehmendem Alter der Tieren vom höheren auf den niedrigeren Wert senken.

2) Ferkelnesttemperatur von 32° auf 24° C fallend

3) Werte gelten für einstreulose Ställe

**Tabelle 2:** Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18910 in °C und relative Luftfeuchte ( $\varphi_i$ ) in Rinderställen

	Gewicht des Einzeltieres kg	Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 °C	Rechenwerte im Winter	
			$\vartheta_i$ °C	$\varphi_i$ %
Kälber	bis 60	16 bis 20	18 <sup>1)</sup>	80
Mastkälber, Zuchtkälber	60 bis 150	20 bis 10 <sup>2)</sup>	10	80
Kühe einschließlich Jungvieh, Zuchtbullen, Masttiere	150 bis 800	0 bis 20	10	80

1) Bei Gruppenhaltung mit Einstreu darf der Rechenwert mit 14 °C angesetzt werden;

2) Lufttemperatur mit zunehmendem Alter der Tieren vom höheren auf den niedrigeren Wert senken.

**Tabelle 3:** Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 in °C und relative Luftfeuchte ( $\varphi_i$ ) in Geflügelställen

	Alter des Einzeltieres	Gewicht des Einzeltieres kg	Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 °C	Rechenwerte im Winter	
	Wochen			$\vartheta_i$ °C	$\varphi_i$ %
Zucht- und Masttiere (Broiler)	1 bis 8	0,05 bis 1,25	34 bis 21 <sup>1)</sup>	26	70
			34 bis 21 <sup>1)</sup>		
			26 bis 18 <sup>2)</sup>		
Jung- und Legehennen	ab 8	über 1,25	22 bis 15 <sup>2)</sup>	18 <sup>3)</sup>	80
Putenküken und Jungputen mit Zonenheizung	1 bis 8	0,08 bis 1,5	34 bis 18 <sup>1)</sup>	22	80
Puten	9 bis 20	1,8 bis 6	18 bis 16 <sup>2)</sup>	18	80
	über 20	über 6	16 bis 10 <sup>2)</sup>	10	80

1) 34 °C in den ersten Lebenstagen, dann je Woche um etwa 2 K senken;

2) Lufttemperatur mit zunehmendem Alter der Tiere vom höheren auf den niedrigeren Wert senken;

3) bei Haltung von Jung- und Legehennen auf Einstreu darf der Rechenwert um 2 K gesenkt werden.

**Tabelle 4:** Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 in °C und relative Luftfeuchte ( $\varphi_i$ ) in Pferdeställen

	Gewicht des Einzeltieres kg	Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 °C	Rechenwerte im Winter	
			$\vartheta_i$ °C	$\varphi_i$ %
Reit- und Rennpferde	100 bis 600	12 bis 16	14	80
Arbeitspferde	100 bis 800	10 bis 14	12	80

**Tabelle 5:** Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 in °C und relative Luftfeuchte ( $\varphi_i$ ) in Schafställen

	Gewicht des Einzeltieres kg	Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 °C	Rechenwerte im Winter	
			$\vartheta_i$ °C	$\varphi_i$ %
Mastlämmer	10 bis 40	18 bis 10 <sup>1)</sup>	16	80
Zucht- und Masttiere	5 bis 100	8 bis 18	10	80

1) Lufttemperatur mit zunehmendem Alter der Tiere vom höheren auf den niedrigeren Wert senken;

## 5 Berechnungsgrundlagen

### 5.1 Stallbesatz

Für die Planung der Lüftung ist nach DIN 18 910 die Tierart, die Nutzung sowie der vorgesehene minimale, durchschnittliche und maximale Stallbesatz nach Tierzahl und Tiermasse festzulegen. Buchten, die zeitweise nicht belegt werden, sind zu berücksichtigen. Folgendes ist zu beachten:

- Für die Berechnung des Luftmassenstroms im Winter und die Wärmebilanz muß der minimale Stallbesatz angenommen werden (minimale Lüftrate).
- Für die Berechnung des Luftmassenstroms im Sommer ist der maximale Stallbesatz maßgeblich (maximale Lüftrate); bei kontinuierlicher Belegung ist das Durchschnittsgewicht der Tiere anzusetzen.

### 5.2 Wasserdampf- und Kohlendioxidmassenstrom sowie Wärmestrom

Der Anfall von Wasserdampf, Kohlendioxid und Wärme im Stall hat, bedingt durch den Tagesgang, aber auch durch den Jahresgang, eine große Schwankungsbreite. Die Werte der DIN 18 910 (s. in diesem Heft die Tabellen 6 bis 10) basieren auf der physiologischen Stoffwechselleistung der Tiere bei der jeweils genannten Stalllufttemperatur. Die Wärmeabgabe der Tiere besteht aus einem fühlbaren Anteil (sensible Wärme) und einem wasserdampfgebundenen Anteil (latente Wärme).

Die sensible Wärme umfaßt die Wärmeabgabe der Tiere durch Leitung, Konvektion und Strahlung. Der Anteil der sensiblen Wärme an der Gesamtwärmeabgabe der Tiere nimmt mit zunehmender Umgebungstemperatur ab, der Anteil der latenten Wärme entsprechend zu (Anhang). Daraus wird auch deutlich erkennbar, dass die Wasserdampfabgabe der Tiere stark temperaturabhängig ist. Bei höheren Stalllufttemperaturen als in den Tabellen 6 bis 10 vorgegeben, soll bei einer Temperaturabweichung bis zu 5 K der Wasserdampfmassenstrom entsprechend um 2 % pro Kelvin angepaßt werden. Der Rechengang stellt eine zulässige Vereinfachung dar.

Im Stall gibt es neben den Tieren auch andere Quellen, die den Anfall an Wasserdampf, Kohlendioxid und Wärme beeinflussen. Diese sind: Fäkalien, Einstreu, Futter, Tränken, Reinigungswasser und Gasheizungen ohne Rauchgasabführung. Diese Werte können einen bedeutsamen Umfang erreichen (z. B. bei Schlempefütterung). Bei den Berechnungen für die Planung des Luftmassenstroms und der

Wärmedämmung ist daher der Korrekturfaktor  $r$  nach Tabelle 12 zu berücksichtigen.

### 5.3 Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Winter

Für die Berechnung des Lüftungs- und Transmissionswärmestroms der Ställe sind die in der Wintertemperaturkarte (s. Anhang) dargestellten Außenlufttemperaturen zugrunde zu legen. Die Angaben beruhen auf der mittleren Anzahl der winterlichen Eistage, die eng mit der Häufigkeit und Dauer von Kaltluftperioden zusammenhängen.

Die Wintertemperaturkarte der DIN 18 910 umfaßt 4 Temperaturzonen. Der zutreffende Temperaturzonenwert gilt als Rechenwert für die Außenlufttemperatur  $\vartheta_a$  bei der Bemessung des Luftmassenstroms und des baulichen Wärmeschutzes im Winter (s. Anhang).

Bei freistehenden Gebäuden oder besonders exponierter Lage - z. B. in Gebieten mit häufig starkem Wind, Lage in Senken mit verstärkter Kaltluftbildung - empfiehlt die DIN die nächst tiefere Temperaturzone als Rechenwert anzusetzen. Als Rechenwert für die relative Luftfeuchte der Außenluft im Winter wird 100% angenommen.

### 5.4 Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Sommer

Im Sommer gelten nach DIN 18 910 zur Bemessung des Luftmassenstroms zwei Sommertemperaturzonen (Anhang). Die dort genannten Temperaturen sind das arithmetische Mittel aus der mittleren Jahreshöchsttemperatur  $\vartheta_{\max}$  und der langjährigen Mitteltemperatur des Juli, aufgerundet auf ganze Celsiusgrade.

### 5.5 Temperatur der Luft der an den Stall grenzenden Räume

Die Rechenwerte für die Lufttemperatur in Nebenzimmern (Zentralgang, Futterküche, e.t.c.) sind in Tabelle 14 aufgeführt.

### 5.6 Kohlendioxidgehalt der Außenluft

Für den Kohlendioxidgehalt der Außenluft wird 0,55 g/kg tr. Luft angenommen.

### 5.7 Luftdruck

Bei Berechnung der Luftmassenströme wird auf eine Berücksichtigung des Luftdrucks verzichtet. Die in Tabelle 13 genannten Werte für den Wasserdampfgehalt der Luft und die Taupunkttemperatur beziehen sich auf einen Luftdruck von 1.000 hPa (Hektokascal).

### 5.8 Oberflächenkondensat

Für die Berechnung zum Schutz der Bauteile gegen Oberflächenkondensat legt die DIN 18 910 die Außenlufttemperatur und einen raumseitigen Wärmeübergangswiderstand  $1/\alpha_i$  von  $0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$  zugrunde. Unter besonders erschwerten Bedingungen, z.B. bei stark behindertem Wärmeübergang durch Einbauten oder bei schlecht belüfteten Raum-

ecken, ist mit einem Wärmeübergangswiderstand  $1/\alpha_i$  von  $0,22 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$  zu rechnen. Bei Stalllufttemperaturen bis  $18^\circ\text{C}$  ist mit einer relativen Luftfeuchte von 80 % zu rechnen, bei höheren Stalllufttemperaturen ist eine relative Luftfeuchte von 75 % anzunehmen. Für die Berechnung der Mindestwärmemedämmung zur Vermeidung von Oberflächenkondensat wird auf die DIN 18 910 verwiesen.

**Tabelle 6:** Wasserdampf-, Kohlendioxidmassen- und Wärmeströme in Rinderställen

Gewicht des Einzeltiers kg	Im Winter (unter Bezug auf Tabelle 2)			Im Sommer (bei $\vartheta_i=30^\circ\text{C}$ )
	Wasserdampf $\dot{X}_{ST}$ g/Tier*h	Kohlendioxid $\dot{K}_{ST}$ g/Tier*h	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,W}$ W/Tier	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,S}$ W/Tier
Kälber bis 10. Tag, Mastkälber,				
$\vartheta_i=18^\circ\text{C}$				
50	61	39	90	41
100	116	75	172	78
150	165	107	246	112
Zuchtkälber				
$\vartheta_i=16^\circ\text{C}$				
50	50	36	86	37
100	96	68	163	71
150	137	97	234	102
Kühe <sup>1)</sup> , Kälber, Jungvieh, Zuchtbullen und Masttiere				
$\vartheta_i=16^\circ\text{C}$				
50	46	39	105	41
100	88	75	201	78
150	126	107	287	112
200	161	137	367	143
300	224	190	510	200
400	280	238	638	250
500	339	288	774	303
600	370	314	843	330
700	399	339	910	356
800	427	363	975	381

1) Bei einer jährlichen Milchleistung von mehr als 5.000 kg je Kuh im Herdendurchschnitt muss im Winter mit einem Anstieg des Wasserdampf-, Kohlendioxid und Wärmeeinfall von **5 % je 1.000 kg Milchleistung** gerechnet werden.

**Tabelle 7:** Wasserdampf-, Kohlendioxidmassen- und Wärmeströme in Schweineställen

Gewicht des Einzeltiers kg	Im Winter (unter Bezug auf Tabelle 1)			Im Sommer (bei $\vartheta_i = 30\text{ °C}$ )
	Wasserdampf $\dot{X}_{ST}$ g/Tier * h	Kohlendioxid $\dot{K}_{ST}$ g/Tier * h	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,W}$ W/Tier	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,S}$ W/Tier
Jungsaunen, leere und niedertragende Saunen, Eber				
$\vartheta_i = 16\text{ °C}$				
70	55	39	94	41
100	70	50	120	53
150	93	66	159	70
200	114	81	195	85
250	134	95	229	100
300	153	108	261	114
ferkelführende Saunen einschließlich je 10 Ferkel von 5 kg LG (Ferkelbereich mit Zusatzheizung)				
$\vartheta_i = 18\text{ °C}$				
100	324	208	482	220
150	349	225	520	237
200	375	239	554	253
250	394	253	586	268
300	415	266	617	282
Ferkel im Liegebereich, strohlos (10 bis 30 kg)				
$\vartheta_i = 24\text{ °C}$				
20	63	29	53	30
Mastschweine, einschließlich Aufzucht im Rein-Raus-Verfahren,				
$\vartheta_i$ von $24\text{ °C}$ auf $16\text{ °C}$ fallend				
10	40	18	33	19
20	49	29	62	30
30	64	37	81	39
40	68	44	102	46
50	71	50	121	53
60	79	56	135	59
100	106	75	181	79
Mastschweine, einschließlich Aufzucht im kontinuierlichen Verfahren,				
$\vartheta_i$ zwischen $20\text{ °C}$ und $16\text{ °C}$				
20 bis 40	64	37	81	39
20 bis 100	79	56	135	59
40 bis 100	86	61	148	65
60 bis 100	93	66	160	70

**Tabelle 8:** Wasserdampf-, Kohlendioxidmassen- und Wärmeströme in Geflügelställen

Gewicht des Einzeltiers kg	Im Winter (unter Bezug auf Tabelle 3)			Im Sommer (bei $\vartheta_i = 30\text{ °C}$ )
	Wasserdampf $\dot{X}_{ST}$ g/Tier * h	Kohlendioxid $\dot{K}_{ST}$ g/Tier * h	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,W}$ W/Tier	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,S}$ W/Tier
Hühnerküken, einschließlich Broiler				
$\vartheta_i = 26\text{ °C}$				
0,05	0,8	0,3	0,5	0,3
0,10	1,3	0,5	0,9	0,6
0,25	2,6	1,1	1,7	1,1
0,50	4,4	1,8	2,9	1,9
0,75	6,0	2,4	3,9	2,5
1,00	7,5	3,0	4,9	3,1
1,25	8,8	3,5	5,7	3,7
Jung- und Legehennen				
$\vartheta_i = 18\text{ °C}$				
0,50	1,9	1,2	2,9	1,3
0,75	2,6	1,7	3,9	1,8
1,00	3,2	2,1	4,8	2,2
1,25	3,8	2,5	5,7	2,6
1,50	4,4	2,8	6,5	3,0
1,75	4,9	3,2	7,3	3,3
2,00	5,4	3,5	8,1	3,7
2,25	5,9	3,8	8,8	4,0
Putenküken und Jungputen				
$\vartheta_i = 22\text{ °C}$				
0,08	0,9	0,5	0,9	0,5
0,25	2,1	1,1	2,1	1,1
0,50	3,4	1,8	3,6	1,9
0,75	4,7	2,4	4,9	2,5
1,00	5,8	3,0	6,1	3,1
1,25	6,9	3,5	7,2	3,7
1,50	7,9	4,0	8,2	4,3
Puten				
$\vartheta_i = 18\text{ °C}$				
1,75	7,0	4,5	10,5	4,8
2,00	7,8	5,0	11,6	5,3
2,25	8,5	5,5	12,6	5,8
2,50	9,2	5,9	13,7	6,2
3,00	10,5	6,8	15,7	7,1
4,00	13,1	8,4	19,4	8,9
5,00	15,4	10,0	23,0	10,5
6,00	17,7	11,4	26,3	12,0
Puten				
$\vartheta_i = 10\text{ °C}$				
7,0	15,1	12,8	34,5	13,5

**Tabelle 9:** Wasserdampf-, Kohlendioxidmassen- und Wärmeströme in Pferdeställen

Gewicht des Einzeltiers kg	Im Winter (unter Bezug auf Tabelle 4)			Im Sommer (bei $\vartheta_i = 30\text{ °C}$ )
	Wasserdampf $\dot{X}_{ST}$ g/Tier * h	Kohlendioxid $\dot{K}_{ST}$ g/Tier * h	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,W}$ W/Tier	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,S}$ W/Tier
<b>Reit- und Rennpferde</b>				
$\vartheta_i = 14\text{ °C}$				
100	75	57	144	60
200	126	97	242	102
300	170	131	328	138
400	212	163	406	171
500	250	192	481	202
600	287	221	551	232
<b>Arbeitspferde</b>				
$\vartheta_i = 12\text{ °C}$				
100	70	58	149	60
200	118	97	251	102
300	161	131	340	138
400	199	163	421	171
500	236	192	498	202
600	270	221	571	232
700	303	248	641	260
800	335	274	709	288

**Tabelle 10:** Wasserdampf-, Kohlendioxidmassen- und Wärmeströme in Schafställen

Gewicht des Einzeltiers kg	Im Winter (unter Bezug auf Tabelle 5)			Sommer, $\vartheta_i = 30\text{ °C}$
	Wasserdampf $\dot{X}_{ST}$ g/Tier * h	Kohlendioxid $\dot{K}_{ST}$ g/Tier * h	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,W}$ W/Tier	sensible Wärme $\dot{\Phi}_{ST,S}$ W/Tier
<b>Mastlämmer</b>				
$\vartheta_i = 16\text{ °C}$				
10	16	11	27	12
20	26	19	45	20
30	35	25	61	27
40	44	31	75	33
50	52	37	89	39
60	60	42	102	45
<b>Zucht- und Masttiere</b>				
$\vartheta_i = 10\text{ °C}$				
5	6	5	14	6
10	11	9	24	10
20	18	15	41	16
30	24	21	55	22
40	30	26	69	27
50	36	30	81	32
60	41	35	93	36
70	46	39	105	41
80	51	43	116	45
90	55	47	126	49
100	60	51	137	54

## 6 Berechnung der Luftmassenströme, Berechnungsverfahren

Die Gliederung dieses Abschnitts entspricht der üblichen Reihenfolge durchzuführender Rechengänge. Bei der Planung einer Lüftungsanlage ist vor allem die Festlegung der erforderlichen Luftmassen notwendig. Da der Luftmassenstrom im Sommer am höchsten ist, soll dieser zuerst bestimmt werden. Die Luftmassen für die übrigen Jahreszeiten müssen durch Drosselung oder Abschaltung von Anlagenteilen (z. B. Ventilatoren) einstellbar sein. Der Luftmassenstrom für die Winterverhältnisse ist Grundlage für die Berechnung des Lüftungswärmestroms im Winter, der bei der Wärmebilanz zu berücksichtigen ist. Die Umrechnung der Luftmassenströme in Luftvolumenströme ist unter Punkt 6.3 auf erläutert.

### 6.1 Bemessungsgrundlagen und Berechnungsverfahren für den Luftmassenstrom im Sommer

Der Luftmassenstrom im Sommer hat sicherzustellen, dass auch bei hoher Außenlufttemperatur eine ausreichende Abfuhr der von den Tieren gebildeten Wärme erfolgen kann, ohne dass die Stalllufttemperatur tagsüber wesentlich über die Außentemperatur ansteigt.

Die Sonneneinstrahlung und das wärmetechnische Verhalten der Bauteile werden nicht berücksichtigt, da sich im allgemeinen, mit Ausnahme bei längeren Hitzeperioden, Ein- und Ausstrahlung im Tagesgang ausgleichen. Bauteile mit Hinterlüftung und raumseitig nutzbarer Wärmespeicherung vermindern die Wärmebelastung. Zur Verminderung des Wärmeeintrags über die Bauteile im Sommer sollten Ställe möglichst so gebaut werden, dass die Strahlungswärme der Sonne reflektiert wird (z. B. helle Außenwände) bzw. die Gebäude durch Anpflanzungen beschattet werden.

Mit steigender Umgebungstemperatur nimmt der Anteil der sensiblen Wärme an der Gesamtwärmeabgabe der Tiere ab, die latente Wärme durch Wasserdampf-abgabe hingegen zu. Der Luftmassenstrom muss also aus der Wärmestrom- und Wasserdampfbilanz ermittelt werden. Der größere der Luftmassenströme ist als Luftmassenstrom im Sommer zu benutzen.

Es kann auch eine vereinfachte Berechnung der Luftmassenströme über die Wärmebilanz vorgenommen werden. **Voraussetzung dafür ist, dass zur Abführung der Wärme von 30 °C Stalllufttemperatur ausgegangen wird und eine zulässige Erhöhung der**

**Stalllufttemperatur über die Außentemperatur mit  $\Delta\Theta_{zul}$  angesetzt wird.** Die zulässige Erhöhung der Stalllufttemperatur richtet sich einerseits nach der Sommertemperaturzone (s. Anhang), andererseits aber auch nach der Tierart (Tabelle 12).

Der erforderliche Luftmassenstrom wird wie folgt berechnet:

$$\dot{m}_S = \frac{r \cdot \sum \dot{\Phi}_{ST,S} - \dot{\Phi}_{Boden}}{\Delta\Theta_{zul} \cdot C_{p,L}}$$

$\dot{m}_S$  = Luftmassenstrom im Sommer in kg trockener Luft

$r$  = Korrekturfaktor für den Anteil sensibler Wärme, der je nach Haltungsform und Futterkonsistenz durch Verdunstung in latente Wärme umgewandelt wird (Tabelle 11).

$\sum \dot{\Phi}_{ST,S}$  Strom sensibler Wärme summiert für den gesamten Stall auf der Basis des **maximalen** Stallbesatzes bei einer Lufttemperatur von 30°C nach den Tabellen 6 bis 10 in W

$\sum \dot{\Phi}_{Boden}$  Strom sensibler Wärme durch die Bodenplatte

$\Delta\Theta_{zul}$  = Rechenwert der Temperaturdifferenz zwischen Stall- und Außenluft (Tabelle 12)

$C_{p,L}$  = spezifische Wärmekapazität trockener Luft ( $C_{pL} = 0,28$ ) in Wh/(K · kg tr. Luft)

**Tabelle 11:** Korrekturfaktoren  $r$  für den Anteil sensibler Wärme, der durch Verdunstung in latente Wärme umgewandelt wird.

Tierart/ Bedingungen	sehr trocken	trocken	feucht
	trockene Futtermittel <sup>1</sup> , trockener Boden	trockene Futtermittel <sup>1</sup> , teilweise trockener Boden	feuchte Futtermittel <sup>2</sup> überwiegend feuchter Boden
Schweine	1,0	0,95	0,9
Rinder	0,9	0,85	0,8
andere Tierarten	1,0	1,0	1,0

1 trockene Futtermittel = Heu, Stroh, Mehl

2 feuchte Futtermittel = Silage mit einem Trockenmassegehalt <30 %, Flüssigfutter

Der so ermittelte Luftmassenstrom läßt erwarten, dass sich auch bei höheren Außenlufttemperaturen im Sommer noch vertretbare Temperaturen und relative

**Tabelle 12:** Zulässige Temperaturdifferenz  $\Delta\Theta_{zul}$  zwischen Stall- und Außenluft im Sommer

	Sommertemperaturzone	
	I < 26 °C	II > 26 °C
Geflügel und Schweine	3 K	2 K
Rinder, Pferde und Schafe	4 K	3 K

Luftfeuchten der Stallluft einhalten lassen.

### 6.2 Bemessungsgrundlage und Berechnungsverfahren für den Luftmassenstrom im Winter

Im Winter muß die **Wasserdampfbilanz** des Stalles bei vorgesehenem Stallbesatz, der angesetzten Temperatur und relativen Luftfeuchte der Außenluft und den geforderten Werten für Temperatur und Luftfeuchte der Stallluft ausgeglichen sein. Der so errechnete Luftmassenstrom ist vielfach kleiner als der aus strömungstechnischen Gründen empfehlenswerte Luftmassenstrom, der etwa der Luftwechselzahl drei entspricht.

Die **Kohlendioxidbilanz** dient ergänzend zur Wasserdampfbilanz der Bestimmung des Luftmassenstroms im Winter. Er soll so bemessen werden, dass im Stall die Kohlendioxidkonzentration von 5,0 g/kg tr. Luft nicht überschritten wird.

**Der Luftmassenstrom ist mit Hilfe der Wasserdampf- und der Kohlendioxidbilanz zu berechnen. Diesen Berechnungen sind der minimale Stallbesatz sowie die Rechenwerte nach den Tabellen 6 bis 10 zugrunde zu legen. Der größere der beiden Luftmassenströme ist als Rechenwert zu berücksichtigen**

#### Luftmassenstrom nach Wasserdampfbilanz

Der zur Abführung des Wasserdampfes erforderliche Luftmassenstrom wird wie folgt berechnet:

$$\dot{m}_x = \frac{\sum \dot{X}_{ST}}{x_i - x_a}$$

$\dot{m}_x$  = Luftmassenstrom nach der Wasserdampfbilanz in g/kg tr. Luft

$\sum \dot{X}_{ST}$  = Wasserdampfmassenstrom, summiert für den gesamten Stall in g/h

$x_i$  = Wasserdampfgehalt der Stallluft in g/kg tr. Luft

$x_a$  = Wasserdampfgehalt der Außenluft in g/kg tr. Luft (Tab. 12)

#### Luftmassenstrom nach Kohlendioxidbilanz

Der zur Abführung von Kohlendioxid erforderliche Luftmassenstrom wird wie folgt berechnet:

$$\dot{m}_K = \frac{\sum \dot{K}_{ST}}{K_{i, zul} - K_a}$$

$\dot{m}_K$  = Luftmassenstrom nach der Kohlendioxidbilanz in g/kg tr. Luft

$\sum \dot{K}_{ST}$  = Kohlendioxidmassenstrom, summiert für den gesamten Stall in g/h

$K_{i, zul}$  = zulässiger Kohlendioxidgehalt der Stallluft (5,0 g/kg tr. Luft)

$K_a$  = Kohlendioxidgehalt der Außenluft (0,55 g/kg tr. Luft)

#### Beispiel:

Für einen Mastschweinestall mit 100 Tieren und einem Lebendgewicht von 30 kg pro Tier (Rein-Raus-Verfahren) werden folgende Rechenwerte angenommen:

Lufttemperatur	22 °C
relative Luftfeuchte der Stallluft	80 %
Wintertemperaturzone	-10 °C
relative Luftfeuchte der Außenluft	100 %

#### 1. Nach Wasserdampfbilanz

Rechenbeispiel zur Bestimmung von  $x_a$  und  $x_i$  nach Tabelle 13:

$x_a$  bei -10°C und  
100% rel. Luftfeuchte = 1,62 g/kg tr. Luft

$x_i$  bei 22 °C und  
80 % rel. Luftfeuchte =  $\frac{16,88 \text{ g / kg tr. Luft} \cdot 80}{100}$   
= 13,50 g/kg tr. Luft

$$\dot{m}_x = \frac{100 \cdot 64 \text{ g / h}}{(13,50 - 1,62) \text{ g / kg tr. Luft}} = 538 \text{ kg tr. Luft / h}$$

#### 2. Nach der Kohlendioxidbilanz

$$\dot{m}_K = \frac{100 \cdot 37 \text{ g / h}}{(5,0 - 0,55) \text{ g / kg tr. Luft}} = 831 \text{ kg tr. Luft / h}$$

### 6.3 Umrechnung von Luftmassenstrom auf Luftvolumenstrom

Zur Dimensionierung der Stallüftungseinrichtungen lassen sich die ermittelten Luftmassenströme in Luftvolumenströme umrechnen:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$\dot{V}$  = Volumenstrom der Luft in m³/h

$\dot{m}$  = Massenstrom der Luft in kg tr. Luft/h

$\rho$  = Dichte der Luft in kg/m³

Vereinfachend kann die Dichte der Luft im Sättigungszustand angesetzt werden. Der Wasserdampfgehalt und die Dichte der Luft bei verschiedenen Temperaturen sind in Tabelle 13 enthalten.

$\Delta\Theta$  = Temperaturdifferenz zwischen den Rechenwerten für die Stallluft und Außenlufttemperatur in K

**Tabelle 13:** Wasserdampfgehalt (= 100%) und Dichte der Luft im Sättigungszustand bei 1.000 hPa

Temperatur $\vartheta$ °C	Wasserdampfgehalt $X_s$ g/kg tr. Luft	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Temperatur $\vartheta$ °C	Wasserdampfgehalt $X_s$ g/kg tr. Luft	Dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>
36	39,28	1,10	9	7,22	1,23
35	37,05	1,11	8	6,74	1,23
34	34,94	1,11	7	6,29	1,24
33	32,94	1,12	6	5,87	1,24
32	31,07	1,12	5	5,47	1,25
31	29,25	1,13	4	5,10	1,25
30	27,52	1,13	3	4,75	1,26
29	25,94	1,14	2	4,42	1,26
28	24,42	1,14	1	4,11	1,27
			0	3,82	1,27
			-1	3,52	1,28
27	22,99	1,14	-2	3,23	1,28
26	21,63	1,15	-3	2,97	1,29
25	20,34	1,15	-4	2,73	1,29
24	19,12	1,16	-5	2,50	1,30
23	17,97	1,16	-6	2,30	1,30
22	16,88	1,17	-7	2,11	1,31
21	15,85	1,17	-8	1,93	1,31
20	14,88	1,18	-9	1,77	1,32
19	13,97	1,18	-10	1,62	1,32
			-11	1,48	1,33
18	13,10	1,19	-12	1,35	1,33
17	12,28	1,19	-13	1,23	1,34
16	11,51	1,20	-14	1,13	1,34
15	10,78	1,20	-15	1,03	1,35
14	10,10	1,21	-16	0,94	1,35
13	9,45	1,21	-17	0,85	1,36
12	8,84	1,21	-18	0,78	1,36
11	8,27	1,22	-19	0,71	1,37
10	7,73	1,22	-20	0,64	1,38

## 7 Berechnungsverfahren für den Lüftungswärmestrom im Winter

Der Lüftungswärmestrom entspricht dem Wärmestrom, der erforderlich ist, um den Luftmassenstrom von Außenlufttemperatur auf Stalllufttemperatur zu erwärmen.

Die vereinfachte Berechnung geht vom Rechenwert des Luftmassenstroms im Winter aus:

$$\dot{\Phi}_L = \dot{m}_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta\Theta$$

$\dot{\Phi}_L$  = Lüftungswärmestrom im Winter in W

$\dot{m}_L$  = Rechenwert des Luftmassenstroms in kg tr. Luft/h, berechnet auf der Basis des durchschnittlichen Stallbesatzes

$c_{p,L}$  = spezifische Wärmekapazität trockener Luft  
 $c_{p,L} = 0,28$  in Wh/K kg tr. Luft

### Beispiel:

Der Luftmassenstrom aus der Kohlendioxidbilanz betrug unter Punkt 6.2 für einen Mastschweinstall mit 100 Tieren

$$\dot{m}_K = 831 \text{ kg tr. Luft/h}$$

Der Lüftungswärmestrom beträgt dann

$$\dot{\Phi}_L = 831 \text{ kg tr. Luft/h} \cdot 0,28 \text{ Wh/K kg tr. Luft} \cdot [22 - (-10)] \text{ K} = 7.446 \text{ W}$$

## 8 Bemessung der Wärmedämmung, Berechnungsverfahren

### 8.1 Bemessung

Die Wärmedämmung der raumumschließenden Bauteile soll bei dem vorgesehenen Tierbesatz sowie bei der geforderten Stalllufttemperatur und der unterstellten Außenlufttemperatur so bemessen werden, dass die Wärmeabgabe der Tiere den Transmissions- und Lüftungswärmestrom des Stalles ausgleicht. Die dazu notwendigen Investitionen müssen jedoch wirtschaftlich vertretbar sein, andernfalls sind geeignete Maßnahmen zum Ausgleich der Wärmebilanz zu ergreifen (z. B. Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage oder Heizung).

Die Mindestwärmedämmung der raumumschließenden Bauteile muß auf jeden Fall so bemessen sein, dass ein ausreichender Schutz gegen Oberflächenkondensat (Tauwasser) gewährleistet ist. Sie liegt in der Regel weit unter dem Wert, der für eine ausgeglichene Wärmebilanz in geschlossenen Ställen erforderlich ist. Deshalb wird hier auf eine Berechnung derartiger Mindestdämmwerte verzichtet. Auch auf das Berechnungsverfahren für den Transmissionswärmestrom über den Fußboden wird hier generell verzichtet, obwohl die DIN 18 910 für Ställe mit Temperaturrechenwerten über 14 °C diesen Berechnungsvorgang vorsieht. Die so ermittelten Werte sind aber in Bezug auf den gesamten Transmissionswärmestrom derart gering, dass sie für die Wärmebilanz kaum von Bedeutung sind.

### 8.2 Berechnungsverfahren für den Transmissionswärmestrom

Der Transmissionswärmestrom  $\dot{\Phi}_T$  eines Stalles wird in Anlehnung an DIN 4701 berechnet, wobei alle Zu- oder Abschläge entfallen wie z. B. für Fugendurchlaßkoeffizienten, Durchlässigkeit, Hauskennzahlen, Raumkennzahlen, Höhenkorrekturen oder gleichzeitig wirksame Lüftungswärmeanteile.

Bei den Abmessungen der Bauteile sind als Länge und Breite die lichten Rohbaurichtmaße zu beachten. Als Höhe der Wände sind bei mehrgeschossigen Stallgebäuden die Geschoßhöhen oder bei eingeschossigen Ställen die lichten Raumhöhen einzusetzen. Als Abmessungen für Fenster und Türen gelten die Maueröffnungsmaße.

Der Transmissionswärmestrom des Stalles setzt sich aus den Transmissionswärmeströmen durch die einzelnen raumumschließenden Bauteile (Wände, Decken, Bodenplatte, Fenster und Türen) zusammen. Der Transmissionswärmestrom des Stalles wird durch

die Transmissionswärmeströme der einzelnen Bauteile gebildet:

$$\dot{\Phi}_{ST} = \sum \dot{\Phi}_B$$

$\dot{\Phi}_{ST}$  = Transmissionswärmestrom des Stalles in W

$\dot{\Phi}_B$  = Transmissionswärmestrom eines Bauteils in W

$$\dot{\Phi}_B = U_B \cdot A_B \cdot \Delta\Theta$$

$U_B$  = Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteiles in  $W/(m^2 \cdot K)$

$A_B$  = Fläche eines Bauteiles in  $m^2$

$\Delta\Theta$  = Temperaturdifferenz zwischen Stallluft und Außenluft oder Raumluft in angrenzenden Nachbarräumen in K

$$U_B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

$\alpha_i$  = innerer Wärmeübergangskoeffizient  $W/(m^2 \cdot K)$

$d_{1-n}$  = Dicke der Bauteilschicht 1 bis n in m

$\lambda_{1-n}$  = Wärmeleitfähigkeit der Bauteilschicht (Baustoff) 1 bis n in  $W/(m \cdot K)$

$\alpha_a$  = äußerer Wärmeübergangskoeffizient  $W/(m^2 \cdot K)$

In der DIN 18910 ist festgelegt, dass bei Stalltemperaturen  $> 14$  °C der Transmissionswärmestrom durch die Bodenplatte des Stallgebäudes an das Erdreich zu berücksichtigen ist.

Auch die Berechnung des Transmissionswärmestroms

durch die Bodenplatte  $\dot{\Phi}_E$  erfolgt nach der Formel

$$\dot{\Phi}_E = U_0 \cdot A_E \cdot \Delta\Theta$$

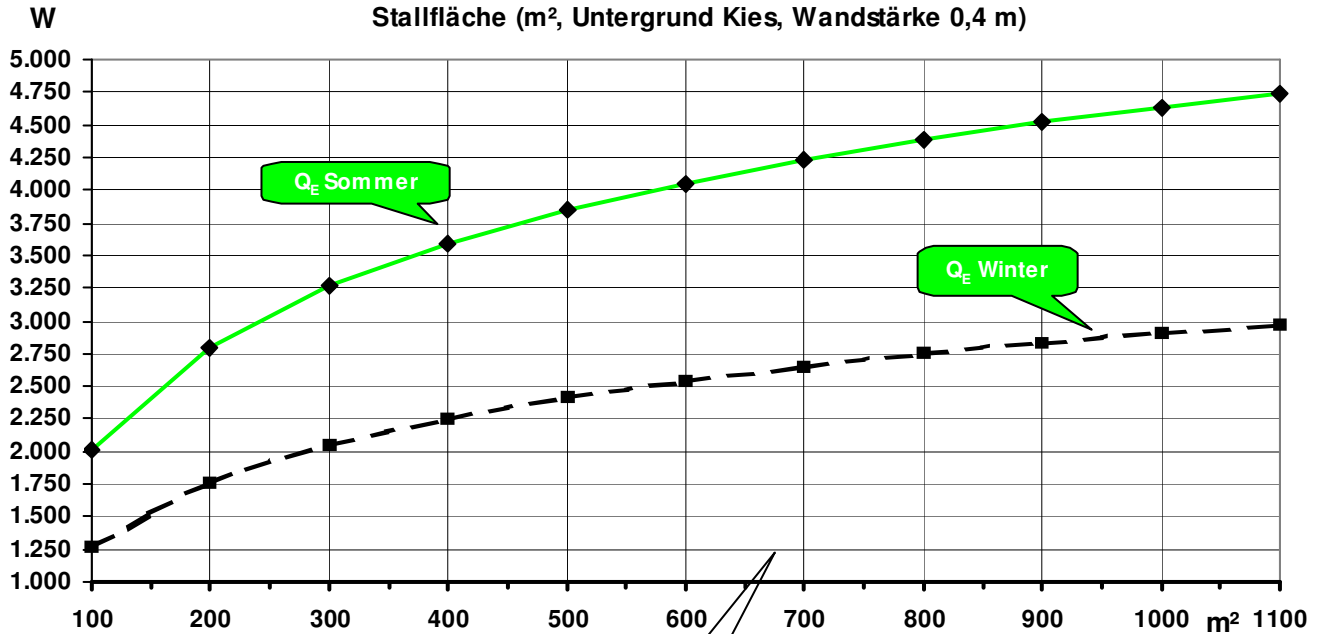
Der Wärmedurchgangskoeffizient für die Bodenplatte  $U_0$  ist von mehreren Faktoren abhängig. Der umfangreiche Rechengang ist in der DIN festgelegt. Die Werte für die praktische Bemessung des Einflusses auf die Sommer- und Winterlüftrate können vereinfachend (unter Berücksichtigung üblicher Bauweisen von Ställen, wasserundurchlässige Betonbodenplatte auf Kies-Sauberkeitsschicht, Wandstärke der Außenmauer 0,4 m) aus Grafik 1 abgelesen werden.

#### Temperaturdifferenzen an der Bodenplatte:

**im Sommer:**  $\Delta\Theta = 16$  K ( $\vartheta_i = 30$  °C,  $\vartheta_E = 14$  °C)

**im Winter:**  $\Delta\Theta = 10$  K ( $\vartheta_i = 20$  °C,  $\vartheta_E = 10$  °C)

Transmissionswärmestrom (W) durch die Bodenplatte in Abhängigkeit von der Stallfläche (m<sup>2</sup>, Untergrund Kies, Wandstärke 0,4 m)



Grafik 1: Werte für den Transmissionswärmestrom in das Erdreich (vereinfacht)

Bei eingestreuten Bodenflächen wird der Transmissionswärmestrom durch die Bodenplatte nicht berücksichtigt!

Als Rechenwerte für die Stalllufttemperaturen im Winter gelten die entsprechenden Werte aus Tabelle 1 bis 5, für  $1/\alpha_i$  wird der Rechenwert von 0,17 (m<sup>2</sup> · K)/W, für  $1/\alpha_a$  der Wert 0,04 (m<sup>2</sup> · K)/W angenommen

**Beispiel:**  
600er Maststall, Grundfläche 660 m<sup>2</sup>  
ca. 2,6 kW Wärmeverlust im Winter

Für die Festlegung der Rechenwerte für die Außenlufttemperatur im Winter gelten die Werte der Winteremperaturkarte (s. Anhang). Je nach Zone ist hierzu die Temperatur -10, -12, -14 oder -16 °C einzusetzen.

**Tabelle 14:** Rechenwerte für die Temperatur  $\vartheta_R$  der an den Stall grenzenden Räume

Raum	Lufttemperatur
nicht frostsicher	Wintertemperaturzonenwert erhöht um 4 K
frostsicher, nicht beheizt	2 °C
eingeschränkt beheizt	10 °C
dauernd beheizt	Raumlufttemperatur

## 9 Ausgleich der Wärmebilanz

Bei einer ausgeglichenen Wärmebilanz darf die Summe des Lüftungswärmestroms und des Transmissionswärmestroms nicht größer sein als der Wärmestrom, der durch die Tiere erzeugt wird:

$$\sum \dot{\Phi}_{ST,W} \cdot r \Leftrightarrow \sum \dot{\Phi}_T + \dot{\Phi}_L$$

Ist dies doch der Fall, muß das vorhandene Wärme-defizit durch eine bessere Wärmedämmung, eine Wärmerückgewinnungsanlage oder durch eine heiztechnische Anlage abgedeckt werden. Beim Ausgleich der Wärmebilanz durch Heizung ohne Rauchgasabführung sind der Wasserdampf- sowie der Kohlendioxidmassenstrom durch die Heizung (Tabelle 15) zu berücksichtigen, so dass sich die Luftmassenströme erhöhen und damit auch der Lüftungswärmestrom ansteigt.

**Tabelle 15:** Rechenwerte des Wasserdampf- und Kohlendioxidmassenstroms für verschiedene Brennstoffe, bezogen auf den unteren Heizwert  $H_u$  (nach DIN 18 910)

	Verbrennungsprodukte je kW Heizleistung (1kWh=3600kJ)	
	Wasserdampf $\dot{X}_H$ g/h	Kohlendioxid $\dot{K}_H$ g/h
Flüssiggas Butan	120	230
Propan	130	230
Erdgas	150	200

## 10 Anhang

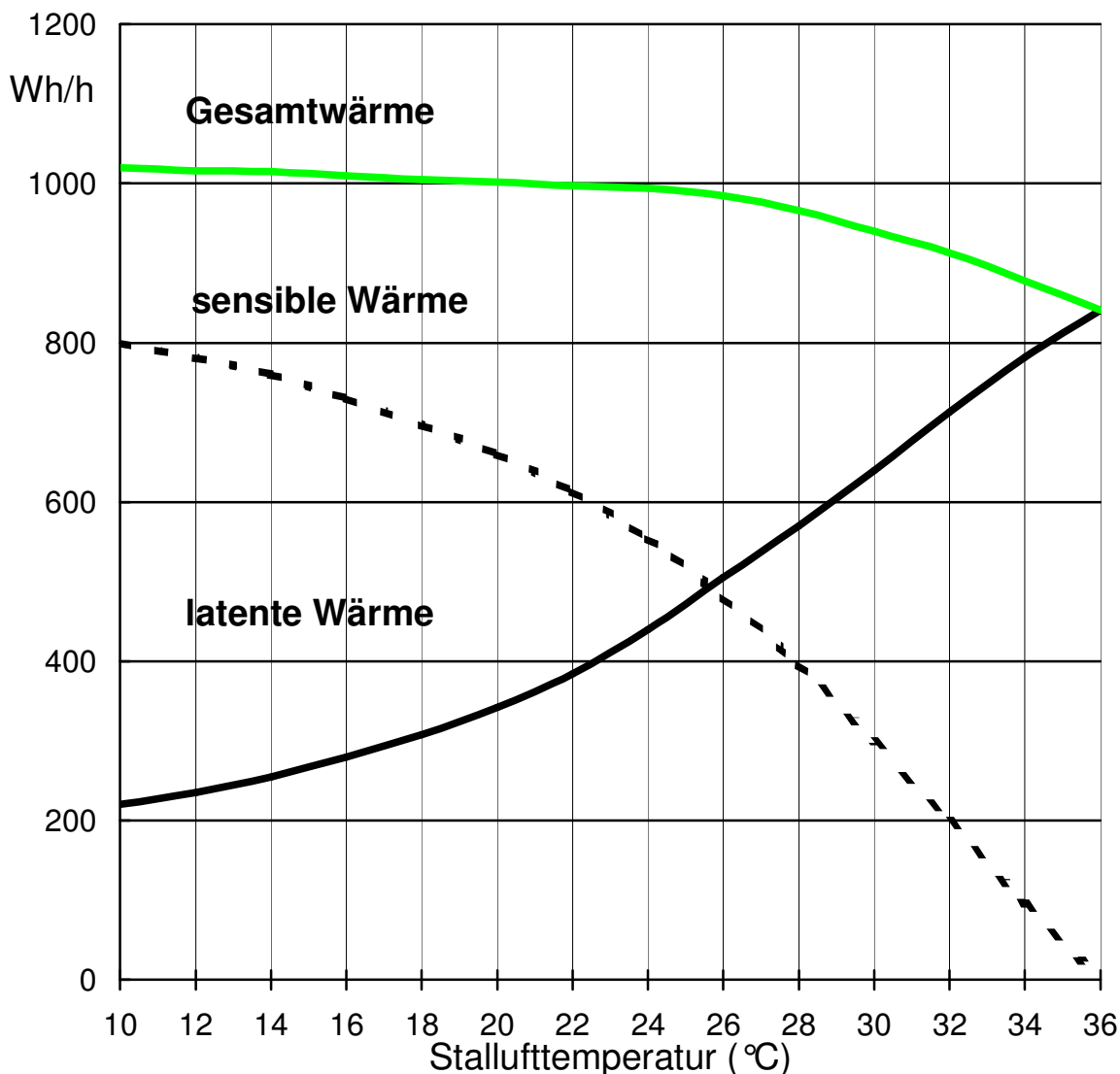
Der Anhang umfaßt die Erläuterungen zu den verwendeten Maßeinheiten, Formelzeichen und Indizes. Darüber hinaus sind die für die Berechnung erforderlichen Temperaturkarten und die Vorgehensweise zur Berechnung mit Hilfe des AEL-Arbeitsblattes 17 dargestellt.

### 10.1 Maßeinheiten

Als Maßeinheiten werden verwendet:

h	(Stunde)
W	(Watt)
m	(Meter)
K	(Kelvin)
g	(Gramm)
°C	(Celsius)
Pa	(Pascal)

### 10.2 Anteile der sensiblen und latenten Wärme



Wärmeabgabe von landwirtschaftlichen Nutztieren in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur, bezogen auf die Wärmeproduktionseinheit (WPE); nach STRØM und FEENSTRA (1980). Eine WPE entspricht der Gesamtwärmeabgabe von 1.000 W bei 20 °C.

### 10.3 Kurzzeichen

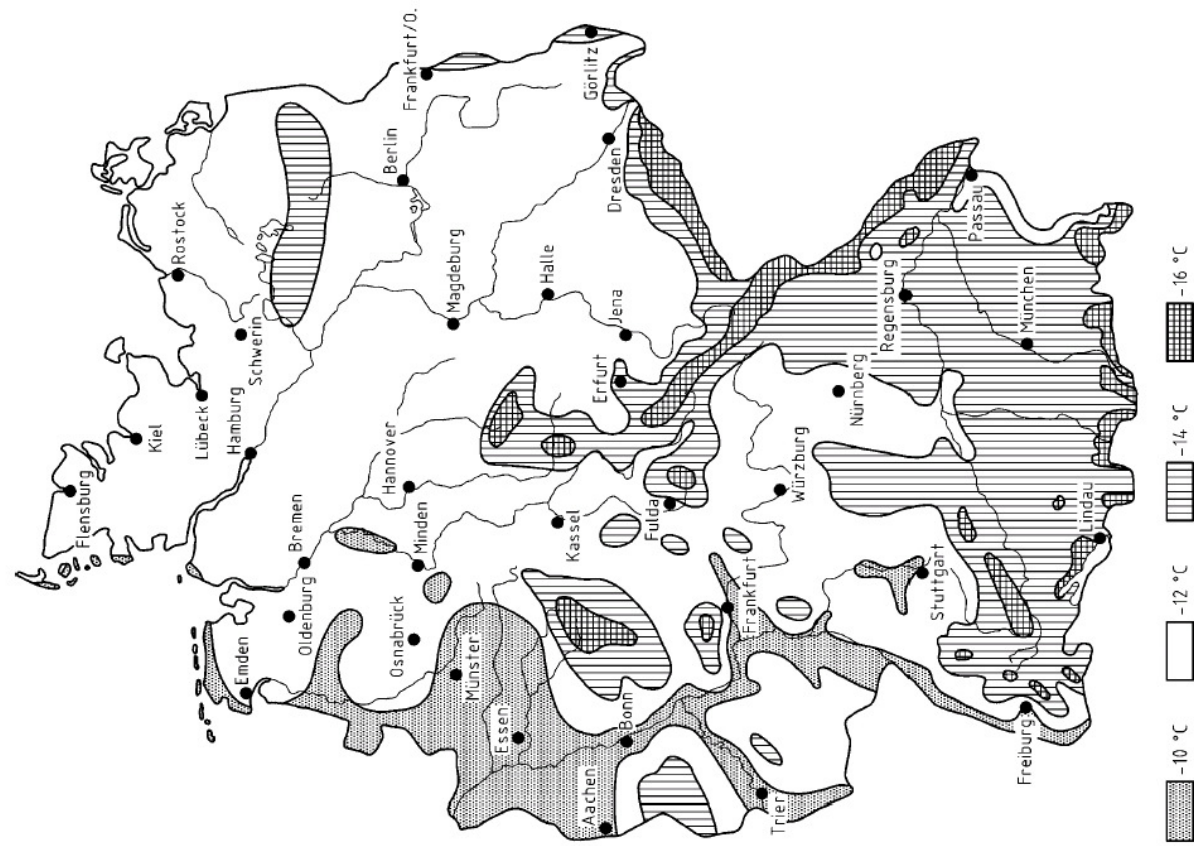
Zeichen	Bedeutung	Einheit
A	Fläche	m <sup>2</sup>
c	spezifische Wärmekapazität von Luft	Wh/(K * kg tr. Luft)
U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m <sup>2</sup> * K)
K	Kohlendioxidgehalt	g/kg tr. Luft
$\dot{K}$	Kohlendioxidmassenstrom	g/h
$\dot{m}$	Massenstrom	kg/h
n	Anzahl der Tiere	Stück
$\dot{\Phi}$ (Phi)	Strom sensibler Wärme	W
r	Korrekturfaktor für die Umwandlung von sensibler in latente Wärme	
x	Wasserdampfgehalt	g/kg tr. Luft
$\dot{V}$	Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h
$\dot{X}$	Wasserdampfmassenstrom	g/h
$\lambda$ (lambda)	Wärmeleitfähigkeit	W/(m * K)
$\alpha$ (alpha)	Wärmeübergangskoeffizient	W/(m <sup>2</sup> * K)
1/ $\alpha$	Wärmeübergangswiderstand	(m <sup>2</sup> * K)/W
$\vartheta$ (theta)	Temperatur	°C
$\Delta\Theta$ (Delta Theta)	Differenz zwischen zwei Temperaturwerten	K
$\Lambda$ (Lambda)	Wärmedurchlaßkoeffizient	W/(m <sup>2</sup> * K)
1/ $\Lambda$	Wärmedurchlaßwiderstand	(m <sup>2</sup> * K)/W
$\rho$ (rho)	Dichte der Luft	kg/m <sup>3</sup>
$\Sigma$ (Sigma)	summiert für den ganzen Stall	
$\varphi$ (Phi)	relative Luftfeuchte	%

### 10.4 Indizes

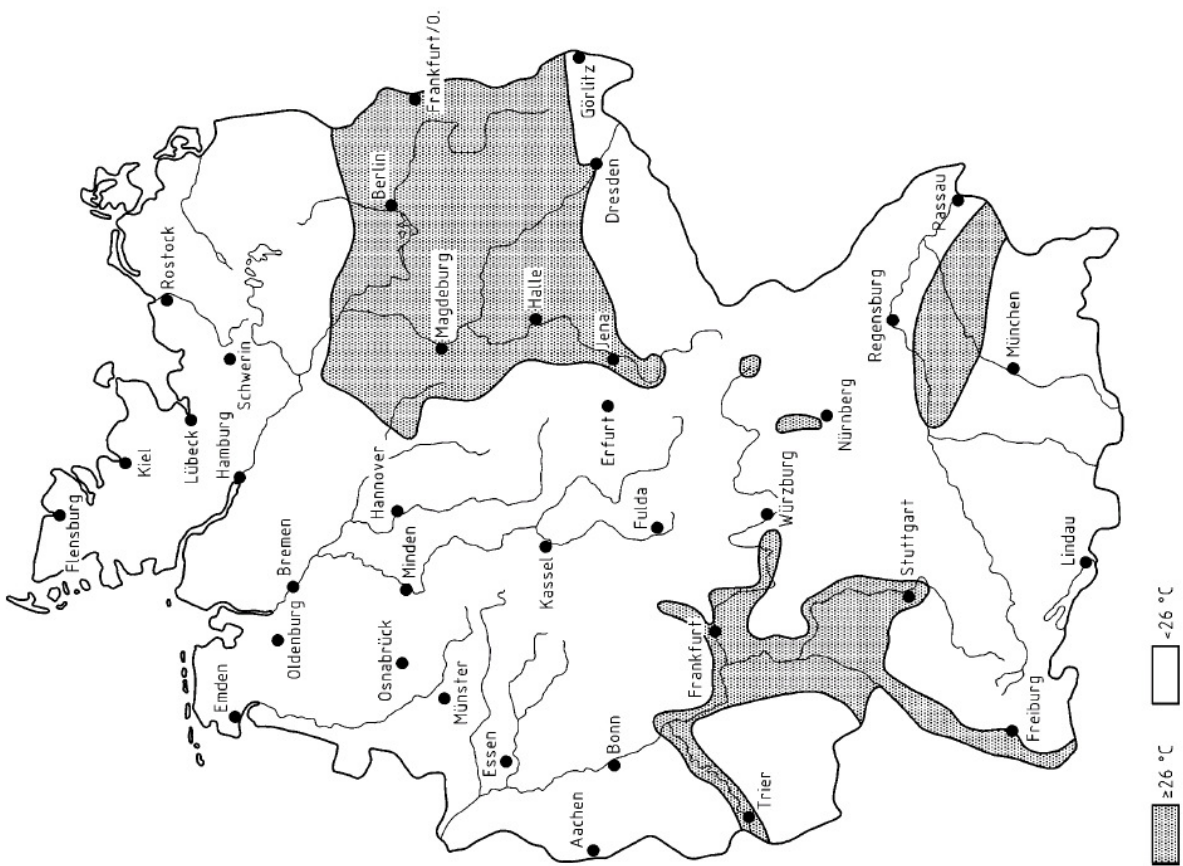
Folgende Indizes werden in diesem Merkblatt benutzt:

a	der Außenluft (außen)
B	Bauteil
E	Erdreich
H	der Heizung
i	der Stallluft (innen)
K	nach der Kohlendioxidbilanz
L	der Luft
p	bei konstantem Druck
Q	nach der Wärmebilanz
R	der an den Stall grenzenden Räume
s	des Taupunktes bei Sättigung
S	im Sommer
ST	im Stall je Tier
W	im Winter
X	nach der Wasserdampfbilanz
zul	zulässig nach Richtwert

# 10.5 Temperaturkarten



Winter



Sommer

## 10.6 Tabellenverzeichnis

<b>Tabellen 1 bis 5:</b>	Lufttemperaturbereich ( $\vartheta_i$ ) nach DIN 18 910 in °C und relative Luftfeuchte ( $\varphi_i$ ) in Rinder-, Schweine-, Geflügel-, Pferde- und Schafställen	Seiten 5, 6
<b>Tabellen 6 bis 10:</b>	Wasserdampf-, Kohlendioxidmassen- und Wärmeströme in Rinder-, Schweine-, Geflügel-, Pferde- und Schafställen	Seiten 8 bis 11
<b>Tabelle 11:</b>	Korrekturfaktoren $r$ für den Anteil sensibler Wärem, der durch Verdunstung in latente Wärme umgewandelt wird	Seite 12
<b>Tabelle 12:</b>	Zulässige Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_{zul}$ zwischen Stall- und Außenluft im Sommer	Seite 12
<b>Tabelle 13:</b>	Wasserdampfgehalt (= 100%) und Dichte der Luft im Sättigungszustand bei 1.000 hPa	Seite 14
<b>Tabelle 14:</b>	Rechenwerte für die Temperatur $\vartheta_R$ der an den Stall grenzenden Räume	Seite 16
<b>Tabelle 15:</b>	Rechenwerte des Wasserdampf- und Kohlendioxidmassenstroms für verschiedene Brennstoffe, bezogen auf den unteren Heizwert $H_u$ (nach DIN 18 910)	Seite 16

Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung  
in der Landwirtschaft e.V. AEL  
Reinhardtstraße 32  
10117 Berlin

e-mail: [info@ael-online.de](mailto:info@ael-online.de)

**Erstausgabe:** Professor H. Van den Weghe  
**Überarbeitung der Neuauflage**  
Professor Wolfgang Büscher, Universität Bonn  
Peter Cremer, Grefrath, AEL  
Bernhard Feller, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen  
**Endredaktion der Neuauflage:** Hartmut Kämper, AEL

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der AEL - Belegexemplare erbeten