

Wärmeschutz geschlossener Ställe
Wärmedämmung und Lüftung
Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen
für geschlossene zwangsbelüftete Ställe

DIN
18910-1

ICS 65.040.10

Einsprüche bis 2003-10-31

EntwurfVorgesehen als Ersatz für
DIN 18910:1992-05

Thermal insulation for closed livestock buildings — Thermal insulation and ventilation — Part 1: Principles for planning and design for closed ventilated livestock buildings

Protection thermique pour étables fermées — Isolation thermique et ventilation — Partie 1: Principes de planification et de calcul pour étables fermées aérées

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nabau@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

Fortsetzung Seite 2 bis 45

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Symbole, Abkürzungen und Formelzeichen	6
5 Anforderungen	7
5.1 Temperatur und relative Luftfeuchte der Stallluft.....	7
5.2 Kohlenstoffdioxidgehalt der Stallluft	8
5.3 Stalllüftung.....	8
5.4 Schutz der Bauteile gegen Feuchte	8
6 Berechnungsgrundlagen	9
6.1 Stallbesatz.....	9
6.2 Wasserdampf- und Kohlenstoffdioxidmassenstrom sowie Wärmestrom	9
6.3 Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Winter	9
6.4 Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Sommer	10
6.5 Temperatur der Luft der an den Stall grenzenden Räume.....	10
6.6 Kohlenstoffdioxidgehalt der Außenluft	10
6.7 Luftdruck.....	10
6.8 Oberflächenkondensat	10
6.9 Wärmetechnische Kennwerte	10
7 Bemessung des Luftmassenstroms und der Wärmedämmung, Berechnungsverfahren zur Wärmebilanz	11
7.1 Allgemeines	11
7.2 Bemessung des Luftmassenstroms und der Wärmedämmung	11
7.2.1 Lüftung im Winter	11
7.2.2 Wärmedämmung	11
7.2.3 Lüftung im Sommer	11
7.3 Berechnungsverfahren zur Wärmebilanz	11
7.3.1 Luftmassenstrom im Winter.....	11
7.3.2 Wärmestrom im Winter.....	13
7.4 Wärmedämmung zum Schutz gegen Oberflächenkondensat	16
7.5 Luftmassenstrom im Sommer	17
7.6 Umrechnung von Luftmassenstrom auf Luftvolumenstrom	17
Anhang A (normativ) Berechnung der tierphysiologischen Daten	32
Literaturhinweise	45

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Bauwesen (NABau), Arbeitsausschuss 01.32.00 „Stallklima“, ausgearbeitet.

Änderungen

Gegenüber DIN 18910:1992-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Modifizierung der Wärmebedarfsberechnung;
- b) Modifizierung der Luftratenberechnung;
- c) Modifizierung der tierphysiologischen Daten (Geflügel).

Einleitung

Der Arbeitsausschuss „Stallklima“ verfolgt bei seinen Ausarbeitungen zwei Ziele, die in den Teilen 1 und 2 zum Ausdruck kommen sollen. Während sich Teil 1 in seinem Anwendungsbereich auf zwangsbelüftete Ställe bezieht, sollen in einem weiteren Teil Stallsysteme berücksichtigt werden, in denen der Luftaustausch ohne mechanisch erzwungene Ventilation erfolgt.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Planung geschlossener, wärmegeprägter Rinder-, Schweine-, Geflügel-, Pferde- und Schafställe, bei denen der Luftaustausch vorzugsweise durch Ventilatoren (Zwangslüftung) erfolgt. Die Norm enthält auf der Basis der Wasserdampf-, Kohlenstoffdioxid- und Wärmestrombilanz Festlegungen zur Berechnung des Luftmassenstroms im Winter und Sommer und der Wärmedämmung der Bauteile des Stalles. Sie gibt Anweisungen für die Bemessung des Feuchtigkeitsschutzes der raumumschließenden Bauteile.

Bei diesen wärmegeprägten Ställen werden der Transmissions- und Lüftungswärmestrom im Winter ganz oder überwiegend durch die Tiere gedeckt. Dabei sollen günstige Umweltbedingungen für die Tiere und günstige Arbeitsplatzbedingungen für den im Stall tätigen Menschen geschaffen sowie Bauschäden vermieden werden.

Diese Norm gilt nicht für Ställe, deren konstruktiver Wärmeschutz so gering ist, dass damit keine wesentliche Beeinflussung der Stalllufttemperatur erreicht werden kann, z. B. nicht wärmegeprägter Stall (Kaltstall).

Ausführungsplanungen und Betrieb von raumluftechnischen oder heiztechnischen Anlagen sind nicht Gegenstand dieser Norm.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

DIN 4701-1:1995-08, *Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden — Teil 1: Grundlagen der Berechnung.*

DIN 4701-2:1995-08, *Regeln für die Berechnung der Heizlast von Gebäuden — Teil 2: Tabellen, Bilder, Algorithmen*

DIN 4701-3:1989-08, *Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden — Teil 3: Auslegung der Raumheizeinrichtungen.*

DIN 4108-2:2001-03, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.*

DIN 4108-3:2001-07, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz — Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.*

DIN V 4108-4:1998-10, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden — Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte.*

DIN EN ISO 13370:1998-12, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — Wärmeübertragung über das Erdreich — Berechnungsverfahren (ISO 13370:1998); Deutsche Fassung EN ISO 13370:1998.*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten folgende Begriffe.

3.1

Abluft

Luft, die aus dem Raum geführt wird; sie ist meistens identisch mit Fortluft

3.2

Fortluft

Abluft, die ins Freie abströmt

3.3

Kernkondensat

Feuchte, die im Innern der Bauteile anfällt, wenn diffundierender Wasserdampf kondensiert, entweder infolge Abkühlung bis zum Taupunkt oder wenn der Dampfteildruck im Bauteil den Sättigungsdruck erreicht hat

3.4

Kohlenstoffdioxidbilanz

Bilanz aus dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Massenströmen des Kohlenstoffdioxids

3.5

Luftmassenstrom im Stall, $\dot{m}_L$

Luftmasse, die in einer Stunde zwischen dem Stall und seiner Umgebung ausgetauscht wird (siehe Zuluft, Abluft, Fortluft)

3.6

Lüftungswärmestrom, Φ_L

Wärmebedarf, der zum Ausgleich der Wärmeverluste durch die Lüftung benötigt wird

3.7

Luftwechselzahl

Quotient aus Zuluftvolumenstrom und Raumvolumen

3.8

Taupunkttemperatur der Luft

Temperatur, bei der der vorhandene Wasserdampfgehalt der Luft durch Abkühlen den Sättigungszustand erreicht (relative Luftfeuchte = 100 %). Wird Luft unter ihre Taupunkttemperatur abgekühlt, so kondensiert der überschüssige Wasserdampf.

3.9

Transmissionswärmestrom, Φ_T

Wärmebedarf, der zum Ausgleich der Wärmeverluste durch die raumumschließenden Bauteile benötigt wird

3.10

Wärmestrombilanz

Bilanz aus den dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Strömen sensibler Wärme

3.11**Wasserdampfbilanz**

Bilanz aus den dem Stall zugeführten, im Stall anfallenden und aus dem Stall fortgeführten Massenströmen des Wasserdampfes

3.12**Zuluft**

gesamte dem Raum zuströmende Luft (vom Raum aus betrachtet)

4 Symbole, Abkürzungen und Formelzeichen

Tabelle 1 — Übersicht verwendeter Zeichen, Bedeutung der Einheiten im Sinne dieser Norm, Einheiten

Spalte	1	2	3
Zeile	Zeichen	Bedeutung	Einheit
1	A	Fläche	m ²
2	B'	Charakteristisches Bodenplattenmaß	m
3	c	spezifische Wärmekapazität von Luft	Wh kg ⁻¹ K ⁻¹ a
4	d	wirksame Dicke der Umfassungswand bzw. Bodenplatte	m
5	K	Kohlenstoffdioxidgehalt	g kg ⁻¹ a
6	$\dot{K}$	Kohlenstoffdioxidmassenstrom	g/h
7	$\dot{m}$	Massenstrom	kg h ⁻¹
8	n	Anzahl der Tiere	–
9	P	Äußerer Umfang der Bodenplatte	m
10	r	Korrekturfaktor zwischen Tier- und Stallebene	–
11	R	Wärmedurchlasswiderstand	m ² K W ⁻¹
12	R_s	Wärmeübergangswiderstand	m ² K W ⁻¹
13	U	Wärmedurchgangskoeffizient	W m ⁻² K ⁻¹
14	V	Volumenstrom	m ³ h ⁻¹
15	w	Dicke der Umfassungswand bzw. Bodenplatte	m
16	x	Wasserdampfgehalt (Feuchtegrad)	g kg ⁻¹ a
17	$\dot{X}$	Wasserdampfmassenstrom	g h ⁻¹
18	θ	Temperatur	°C
19	$\Delta\theta$	Differenz aus 2 Temperaturwerten	K
20	ρ	Dichte der Luft	kg m ⁻³

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Spalte	1	2	3
Zeile	Zeichen	Bedeutung	Einheit
21	λ	Wärmeleitfähigkeit	$\text{W m}^{-1} \text{K}$
22	Σ	summiert für den gesamten Stall	—
23	Φ	Strom sensibler Wärme	W
24	ϕ	relative Luftfeuchte	%
25	0	der Bodenplatte	—
26	e	extern bzw. der Außenluft (außen)	—
27	E	Erdreich	—
28	ges.	gesamt / Summe aller	—
29	H	der Heizung	—
30	i	intern bzw. der Stallluft (innen)	—
31	K	nach der Kohlenstoffdioxidbilanz bzw. des Kohlenstoffdioxids	—
32	L	der Luft	—
33	max.	maximal	—
34	p	bei konstantem Druck	—
35	Q	nach der Wärmestrombilanz	—
36	R	der an den Stall grenzenden Räume	—
37	s	im Sättigungszustand	—
38	S	im Sommer	—
39	t	temporär wirksames Maß	—
40	ST	im Stall je Tier	—
41	T	der Transmission durch die Bauteile	—
42	W	im Winter	—
43	X	bezogen auf Wasserdampf	—
44	zul	zulässig nach Richtwert	—
^a Bezogen auf trockene Luft.			

5 Anforderungen

5.1 Temperatur und relative Luftfeuchte der Stallluft

Für die Temperatur der Stallluft ϑ_1 im Bereich der Tiere werden je nach Tierart und -alter differenzierte, leistungsorientierte Optimalbereiche angegeben (siehe Tabellen 2 bis 6). Für die relative Luftfeuchte ϕ_1 wird im Winter in Ställen ohne Heizung ein Wert zwischen 60 % und 80 %, in Ställen mit Heizung ein Wert zwischen 40 % und 70 % angestrebt.

Im Winter sind den Berechnungen im Regelfall die Rechenwerte der Tabellen 2 bis 6 zugrunde zu legen. Abweichungen hiervon sind ausdrücklich zu vereinbaren.

Im Sommer soll die Temperatur der Stallluft nur so wenig wie möglich über die Außenlufttemperatur ansteigen.

5.2 Kohlenstoffdioxidgehalt der Stallluft

Der Kohlenstoffdioxidgehalt (CO_2 -Gehalt) der Stallluft wird als Indikator für die Qualität der Stallluft angesehen; je höher der Kohlenstoffdioxidgehalt der Stallluft, desto höher ist im allgemeinen die Anreicherung mit unerwünschten Gasen und hoher Luftfeuchtigkeit, die sowohl von Tieren stammen als auch bei Umsetzungsvorgängen aus den tierischen Exkrementen und gelegentlich aus dem Futter entstehen. Bei der Berechnung des Luftmassenstromes im Winter nach der Kohlenstoffdioxidbilanz ist ein Richtwert K_i von $5,0 \text{ g/kg}^1$) ($= 3\,000 \text{ cm}^3/\text{m}^3 = 0,3 \%$) zu unterstellen. Beim Betrieb einer Heizung ohne Rauchgasabführung (z. B. Gasstrahler) ist ihr Kohlenstoffdioxidmassenstrom $\dot{K}_H$ nach Tabelle 7 zu berücksichtigen.

5.3 Stalllüftung

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

Im Bereich der in den Tabellen 2 bis 6 angegebenen Rechenwerte für die Stallluft soll im Tierbereich die mittlere Luftgeschwindigkeit $0,2 \text{ m/s}$ nicht überschreiten. Übersteigen im Sommer die Temperaturen der Stallluft die in den Tabellen 2 bis 6 angegebenen Höchstwerte des optimalen Bereichs, so ist für ausgewachsene Tiere eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Tierbereich bis $0,6 \text{ m/s}$ zweckmäßig.

In der Stallluft dürfen durch Ammoniak (NH_3), Schwefelwasserstoff (H_2S) und andere Gase keine gesundheitsschädlichen Konzentrationen auftreten. Der Anfall von Schwefelwasserstoff und Ammoniak in Ställen lässt sich nicht allgemeingültig angeben. Lebensgefährliche Gaskonzentrationen können entstehen, wenn Flüssigmist in Gruben im 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 keine lebenserhaltende Luftversorgung gegeben ist, sind Einrichtungen erforderlich, die selbsttätig eine Notlüftung oder eine netzunabhängige Meldung der Störung bewirken.

5.4 Schutz der Bauteile gegen Feuchte

Wärmedämmung und Bauteile dürfen nicht durch Oberflächen- oder Kernkondensat in ihrer Funktionsfähigkeit beeinträchtigt werden. Zeitweilig anfallendes Kondensat muss während der jahreszeitlichen Verdunstungsperiode 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 einschränken oder verhindern. 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 (siehe DIN 4108-3).

6 Berechnungsgrundlagen

6.1 Stallbesatz

Für die Berechnung ist nach Tierart und Nutzung der geplante minimale und geplante maximale Stallbesatz nach der Anzahl der Tiere und deren Masse festzulegen.

Für die Berechnung des Luftmassenstromes im Winter muss vom geplanten minimalen Stallbesatz ausgegangen werden.

Für die Berechnung des Luftmassenstromes im Sommer ist der geplante maximale Stallbesatz zu unterstellen.

6.2 Wasserdampf- und Kohlenstoffdioxidmassenstrom sowie Wärmestrom

Der Anfall von Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid und Wärme im Stall hat generell, besonders durch den Tagesgang (Tagesamplitude), aber auch durch den Jahresgang eine große Schwankungsbreite. Die in den Tabellen 8 bis 12 angegebenen Werte basieren in Anlehnung an die Angaben CIGR 1984 auf der physiologischen Stoffwechselleistung der Tiere bei der jeweils genannten Temperatur der Stallluft. Diese tabellarischen Werte beziehen sich auf durchschnittliche Tierleistungen bei üblicher Fütterung und Haltung und sind Durchschnittswerte eines Tages (24 h). Die Berechnungsmethoden werden in Anhang A beschrieben.

Der Strom sensibler Wärme berücksichtigt die Wärmeabgabe der Tiere durch Leitung, Konvektion und Strahlung. Der Wasserdampfmassenstrom und der Strom sensibler Wärme sind in besonders hohem Maße temperaturabhängig. Bei steigender Temperatur nimmt der Wasserdampfmassenstrom zu und der Strom sensibler Wärme ab.

Im Stall sind neben den von den Tieren stammenden Stoffwechselprodukten (Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid und Wärme) auch andere Quellen zu berücksichtigen. Im besonderen sind dies die Fäkalien, die Einstreu, das Futter, die Tränken und das Reinigungswasser (siehe Anhang A). Diese Quellen werden durch die in Tabelle 14 aufgeführten Korrekturfaktoren berücksichtigt.

Der Wärmestrom einer Heizung ist bei der Wärmestrombilanz zu berücksichtigen; bei Heizungen ohne Rauchgasabführung (z. B. Gasstrahler) sind zusätzlich die im Stall freigesetzten Wasserdampf- und Kohlenstoffdioxidmassenströme in die Berechnungen einzubeziehen (siehe Tabelle 7).

6.3 Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Winter

Für die Berechnung des Lüftungs- und Transmissionswärmestromes der Ställe sind die in der Wintertemperaturkarte (siehe Bild 1) dargestellten Außenlufttemperaturen zugrunde zu legen. Die Angaben beruhen auf der mittleren Anzahl der winterlichen Eistage, die sehr eng mit der Häufigkeit und Dauer von Kaltluftperioden korreliert. Die Zuordnung der Temperaturwerte erfolgte durch Analogsetzung.

Die in der Wintertemperaturkarte dargestellten 4 Temperaturzonen umfassen jeweils 2 Temperaturwerte, wobei der tiefere Wert die betreffende Temperaturzone kennzeichnet. Dieser Temperaturzonenwert gilt als Rechenwert für die Außenlufttemperatur θ_e bei der Bemessung des Luftmassenstromes und des baulichen Wärmeschutzes im Winter.

Bei freistehenden Gebäuden oder besonders exponierten Lagen, zum Beispiel bei häufig starkem Wind, Lage in Senken mit verstärkter Kaltluftbildung, sollte die nächst tiefere Temperaturzone für den Rechenwert benutzt werden. Als Rechenwert für die relative Luftfeuchte der Außenluft ϕ_e im Winter werden 100 % angesetzt.

6.4 Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft im Sommer

Im Sommer gelten zur Bemessung des Luftmassenstromes die 2 Sommertemperaturzonen der Sommer-temperaturkarte (siehe Bild 2). Die hier genannten Temperaturen sind das arithmetische Mittel aus der mittleren Jahreshöchsttemperatur $\theta_{\max}$ und der langjährigen Mitteltemperatur des Juli, aufgerundet auf ganze Grad Celsius.

$$\theta_{e,S} = \frac{\theta_{\max} + \theta_{\text{Juli Durchschnitt}}}{2} \quad (1)$$

Dabei ist

$\theta_{e,S}$	Rechenwert für die Sommertemperatur, in Celsius (°C);
$\theta_{\max}$	die mittlere Jahreshöchsttemperatur, in Celsius (°C);
$\theta_{\text{Juli Durchschnitt}}$	die durchschnittliche Temperatur im Juli, in Celsius (°C).

Bei Außenlufttemperaturen von 25 °C bis 29,9 °C ist die relative Luftfeuchte der Außen- und Stallluft mit 60 %, bei 30 °C bis 34 °C mit 50 % anzusetzen. Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft unterliegen im Sommer sehr viel stärkeren tageszeitlichen Schwankungen als im Winter, so dass die bei der Berechnung unterstellten Annahmen nur selten eintreten.

6.5 Temperatur der Luft der an den Stall grenzenden Räume

Die Rechenwerte für die Temperatur θ_R der an den Stall grenzenden Räume sind in Tabelle 13 aufgeführt.

6.6 Kohlenstoffdioxidgehalt der Außenluft

Der Kohlenstoffdioxidgehalt der Außenluft ist mit 0,55 g/kg anzusetzen.

6.7 Luftdruck

Für die Berechnung der Luftmassenströme kann auf eine Berücksichtigung des Luftdrucks verzichtet werden. Die angegebenen Werte für den Wasserdampfgehalt der Luft x_i und x_a und die Temperatur im Sättigungszustand θ_s beziehen sich auf einen Luftdruck von 1 000 hPa (siehe Tabellen 16 und 17).

6.8 Oberflächenkondensat

Für die Berechnungen zum Schutz gegen Oberflächenkondensat sind die Temperatur der Außenluft nach Tabelle 18 und ein raumseitiger Wärmeübergangswiderstand R_{si} von 0,17 m² K/W zugrunde zu legen. Unter besonders erschwerten Bedingungen, z. B. bei stark behindertem Wärmeübergang durch Einbauten oder bei schlecht belüfteten Raumecken, kann mit einem Wärmeübergangswiderstand R_{si} von 0,22 m² K/W gerechnet werden. Bei Temperaturen der Stallluft bis 18 °C ist mit 18 °C und 80 % relativer Luftfeuchte zu rechnen, bei höheren Temperaturen der Stallluft ist eine relative Luftfeuchte von 75 % anzunehmen (siehe 7.4).

6.9 Wärmetechnische Kennwerte

Die für den rechnerischen Nachweis des Wärmeschutzes von Gebäuden und Bauteilen anzuwendenden wärmetechnischen Kennwerte sind DIN V 4108-4 zu entnehmen.

7 Bemessung des Luftmassenstroms und der Wärmedämmung, Berechnungsverfahren zur Wärmebilanz

7.1 Allgemeines

Die Gliederung dieses Abschnittes entspricht der üblichen Reihenfolge durchzuführender Berechnungsschritte zur Bemessung der Lüftung und der Wärmedämmung.

7.2 Bemessung des Luftmassenstroms und der Wärmedämmung

7.2.1 Lüftung im Winter

Die Wasserdampfbilanz nach 3.11 dient der Bestimmung des Luftmassenstromes $\dot{m}_L$ im Winter. Die Wasserdampfbilanz des Stalles muss bei dem geplanten minimalen 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 Kohlenstoffdioxidbilanz dient ergänzend zu der Wasserdampfbilanz der Bestimmung des Luftmassenstromes $\dot{m}_L$ im Winter. Er soll so bemessen werden, dass im Stall die Kohlenstoffdioxidkonzentration von 5,0 g/kg nicht überschritten wird.

7.2.2 Wärmedämmung

Die Bemessung der Wärmedämmung erfolgt mit Hilfe der Wärmestrombilanz. Die Wärmedämmung der raumumschließenden Bauteile muss so bemessen werden, dass ein ausreichender Schutz gegen Oberflächenkondensat (Tauwasser) sichergestellt ist.

Die Wärmedämmung der raumumschließenden Bauteile soll bei dem vorgesehenen Tierbesatz sowie bei der nach 5.1 geforderten Temperatur der Stallluft und der nach 6.3 zu unterstellenden Temperatur der Außenluft so bemessen werden, dass die Wärmeabgabe der Tiere den Transmissions- und Lüftungswärmestrom des Stalles deckt. Die dazu notwendigen Investitionen müssen jedoch wirtschaftlich vertretbar sein, andernfalls sind geeignete Maßnahmen zum Ausgleich der Wärmebilanz zu ergreifen.

7.2.3 Lüftung im Sommer

Zur Bemessung des Luftmassenstroms im Sommer wird die Wärmestrombilanz benutzt. Dabei wird auch der Transmissionswärmestrom ins Erdreich berücksichtigt. Der Luftmassenstrom im Sommer hat sicherzustellen, dass auch bei hoher Temperatur der Außenluft eine ausreichende Abfuhr der von den Tieren gebildeten Wärme erfolgen kann, ohne dass die Temperatur der Stallluft tagsüber wesentlich über die Temperatur der Außenluft ansteigt.

Zur Vereinfachung des Verfahrens werden die Sonneneinstrahlung und das wärmespeichernde Verhalten der Bauteile nicht berücksichtigt. Die Strahlungsabsorption soll durch bauliche Maßnahmen verhindert werden.

7.3 Berechnungsverfahren zur Wärmebilanz

7.3.1 Luftmassenstrom im Winter

Im Winter ist zur Aufstellung der Wärmestrombilanz zunächst der Luftmassenstrom $\dot{m}_{L,W}$ zu berechnen. Diesen Berechnungen sind der geplante minimale Stallbesatz (siehe 6.1) sowie die Rechenwerte nach 6.2 und 6.3 sowie 6.5 bis 6.7 zugrunde zu legen. Der Luftmassenstrom ist mit Hilfe der Wasserdampf- und der Kohlenstoffdioxidbilanz zu berechnen. Der größere der beiden nach 7.3.1.1 und 7.3.1.2 ermittelten Luftmassenströme ist als Rechenwert für die Wärmestrombilanz zu berücksichtigen.

7.3.1.1 Luftmassenstrom aus der Wasserdampfbilanz

Der zur Abführung des Wasserdampfes erforderliche Luftmassenstrom $\dot{m}_{L,W,X}$ wird berechnet:

$$\dot{m}_{L,W,X} = \frac{\sum \dot{X}_{ST}}{x_i - x_e} \quad (2)$$

Dabei ist

$\dot{m}_{L,W,X}$ der Massenstrom der Luft im Winter nach der Wasserdampfbilanz, in Kilogramm durch Stunde (kg/h);

$\sum \dot{X}_{ST}$ der Wasserdampfmassenstrom, summiert für den gesamten Stall, in Gramm durch Stunde (g/h);

x_i der Wasserdampfgehalt der Stallluft nach Tabelle 16, in Gramm durch Kilogramm (g/kg);

x_e der Wasserdampfgehalt der Außenluft nach Tabelle 16, in Gramm durch Kilogramm (g/kg).

$$x_i \text{ bzw. } x_e = \frac{x_s \times \phi}{100} \quad (3)$$

Dabei ist:

x_s der Wasserdampfgehalt der Luft im Sättigungszustand nach Tabelle 16, in Gramm durch Kilogramm (g/kg);

ϕ relative Luftfeuchte, in Prozent %.

7.3.1.2 Luftmassenstrom aus der Kohlenstoffdioxidbilanz

Der zur Abführung von Kohlenstoffdioxid erforderliche Luftmassenstrom $\dot{m}_{L,W,K}$ wird berechnet:

$$\dot{m}_{L,W,K} = \frac{\sum \dot{K}_{ST}}{K_{i,zul} - K_e} \quad (4)$$

Dabei ist

$\dot{m}_{L,W,K}$ der Massenstrom der Luft im Winter nach der Kohlenstoffdioxidbilanz, in Kilogramm durch Stunde (kg/h);

$\sum \dot{K}_{ST}$ der Kohlenstoffdioxidmassenstrom, summiert für den gesamten Stall, in Gramm durch Stunde (g/h);

$K_{i,zul}$ der zulässiger Kohlenstoffdioxidgehalt der Stallluft, in Gramm durch Kilogramm ($K_{i,zul} = 5,0$ g/kg);

K_e der Kohlenstoffdioxidgehalt der Außenluft, in Gramm durch Kilogramm ($K_e = 0,55$ g/kg).

7.3.2 Wärmestrom im Winter

7.3.2.1 Lüftungswärmestrom

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

Die vereinfachte Berechnung geht vom Rechenwert des Luftmassenstromes im Winter nach 7.3.1 aus.

$$\Phi_{L,W} = \dot{m}_{L,W} \times c_{pL} \times \Delta\theta \quad (5)$$

Dabei ist

- $\Phi_{L,W}$ der Strom sensibler Wärme der Luft im Winter, in Watt (W);
- $\dot{m}_{L,W}$ der Massenstrom der Luft im Winter, in Kilogramm durch Stunde (kg/h);
- $c_{p,L}$ die spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck, in Wattstunden durch Kilogramm und Kelvin ($c_{p,L} = 0,28 \text{ Wh kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$);
- $\Delta\theta$ die Temperaturdifferenz zwischen Stall- und Außenluft, in Kelvin (K).

7.3.2.2 Transmissionswärmestrom

7.3.2.2.1 Transmissionswärmestrom nach DIN 4108-2 und E DIN 4701-1, -2 und DIN 4701-3

Der Transmissionswärmestrom Φ_T eines Stalles kann nach DIN 4108-2 und E DIN 4701-1, -2 und DIN 4701-3 berechnet werden, wobei alle Zu- oder Abschläge, z. B. für Fugendurchlasskoeffizienten, Durchlässigkeit, Hauskennzahlen, Raumkennzahlen, Höhenkorrekturen oder gleichzeitig wirksame Lüftungswärmeanteile, entfallen.

Bei den Abmessungen der Bauteile sind als Länge und Breite die lichten Rohbaurichtmaße, als Höhe der Wände bei mehrgeschossigen Stallgebäuden sind die Geschosshöhen oder bei eingeschossigen Ställen die lichten Raumhöhen und als Abmessungen der Fenster und Türen die Maueröffnungsmaße einzusetzen.

Der Transmissionswärmestrom des gesamten Stalles $\Phi_{T,ges}$ setzt sich zusammen aus den Transmissionswärmeströmen durch die einzelnen raumumschließenden Bauteile. Der Transmissionswärmestrom des Stalles wird berechnet:

$$\Phi_{T,ges} = \sum (U \times A \times \Delta\theta) \quad (6)$$

Dabei ist

- $\Phi_{T,ges}$ der Transmissions-Wärmeverlust aller raumumschließenden Bauteile, in Watt (W);
- U der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteiles, in Watt durch Quadratmeter und Kelvin ($\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$);
- A die Fläche eines Bauteiles, in Quadratmeter (m^2);
- $\Delta\theta$ die Temperaturdifferenz zwischen Stallluft und Außenluft, Erdreich oder Raumluft in angrenzenden Nachbarräumen, in Kelvin (K).

Daraus ergibt sich im einzelnen:

$$\Phi_{T,ges} = \Phi_{\text{Fenster}} + \Phi_{\text{Türen}} + \Phi_{\text{Außenwände}} + \Phi_{\text{Decke}} + \Phi_{\text{Boden}} + \Phi_{\text{Innenfenster}} + \Phi_{\text{Innentüren}} + \Phi_{\text{Innenwände}} \quad (7)$$

Rechenwerte für die Temperaturen ϑ_R der an den Stall grenzenden Räume siehe Tabelle 13.

Der Transmissionswärmestrom Φ_R ins Erdreich von nicht wärmegeämmten, nicht eingestreuten Bodenplatten und Flüssigkeitskanälen kann nach DIN EN ISO 13370:1998-12, Abschnitt 8, berechnet werden. Der Wärmestrom durch Bodenplatten, die unmittelbar an das Erdreich grenzen, kann im Winter wegen Geringfügigkeit vernachlässigt werden, wenn die Stalllufttemperatur im Winter mit $\leq 14^\circ\text{C}$ angenommen wird.

Bei Temperaturen der Stallluft $> 14^\circ\text{C}$ ist der Wärmestrom ins Erdreich zu berücksichtigen. Ebenso wird der Wärmestrom über Flüssigkeitskanäle und Güllekeller errechnet. Das hier vorgestellte vereinfachte Berechnungsverfahren unterstellt typische landwirtschaftliche Verhältnisse, ungedämmte Bodenplatten aus wasserundurchlässigem Beton. Andere Bedingungen sind gesondert nach DIN EN ISO 13370 zu berechnen.

Der Transmissionswärmestrom $\Phi_{T,E}$ vom Gebäude ins Erdreich ergibt sich aus:

$$\Phi_{T,E} = A_E \times U_0 \times \Delta\theta \quad (\text{W}) \quad (8)$$

Dabei ist

- A_E die Grundfläche der ans Erdreich grenzenden Bodenplatte, in Quadratmeter (m^2);
- U_0 der Wärmedurchlasskoeffizient der Bodenplatte ins Erdreich, in Watt durch Quadratmeter und Kelvin ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$);
- $\Delta\theta$ Differenz zwischen Stall und Erdreichtemperatur, in Kelvin (K).

Die Erdreichtemperatur wird vereinfacht im Sommer mit 14°C und im Winter mit 10°C angenommen. Für die Berechnung im Sommer wird eine Stalllufttemperatur von 30°C unterstellt.

Um den Wärmedurchlasskoeffizienten U_0 zu bestimmen, ist die Berechnung der wirksamen Dicke der Bodenplatte d_t und des charakteristischen Bodenplattenmaßes B' notwendig. Der Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte und des Erdreiches wird nach DIN EN ISO 13370 durch die wirksame Dicke d_t beschrieben:

$$d_t = w + R_E \times \lambda \quad (9)$$

Dabei ist

- d_t die wirksame Dicke der Bodenplatte, in Meter (m);
- w die Dicke der Bodenplatte, in Meter (m);
- R_E Wärmeübergangswiderstand in Erdreich ($R_E = 0,21 \text{ m K W}^{-1}$);
- λ die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs, in Watt durch Meter und Kelvin ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$). Rechenwerte enthält Tabelle 15.

Das räumliche Verhalten des Wärmestroms wird über ein charakteristisches Bodenplattenmaß B' beschrieben:

$$B' = A_{E/0,5} \times P \quad (10)$$

Dabei ist

- B' das charakteristische Bodenplattenmaß, in Meter (m);