



DLG-Arbeitsunterlage

A faint, white line-art illustration of a pig is centered in the background of the page. The pig is shown in profile, facing left, with its legs and tail clearly defined.

Lüftung von Schweinställen

3. überarbeitete Fassung

Autorenteam:
Wolfgang Büscher
Gerd Franke
Bernhard Haidn
Hans Joachim Müller
Friedrich Niethammer
Peter Leuschner

Arbeiten aus dem DLG-Ausschuss
"Technik in der Tierischen Produktion"

DLG-Arbeitsunterlage "Lüftung von Schweineställen"

Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite:
1	Ziele und Aufgaben von Lüftung und Heizung in Schweineställen	3
2	Rechtliche Grundlagen	5
3	Stallklimatische Grundlagen	9
3.1	Klimaphysiologische Grundlagen	9
3.2	Tierphysiologische Grundlagen	12
3.3	Planungsdaten zum Luftvolumenstrom.....	13
3.4	Bau- und strömungstechnische Grundlagen.....	15
4	Zwangslüftungsverfahren	18
4.1	Einfluss der Druckverhältnisse im Raum	18
4.2	Zuluftsysteme	19
4.3	Abluftsysteme	29
4.4	Ventilatoren und wichtige Kennwerte (z. B. Energiekonsum)	32
4.5	Heizung	34
4.6	Regelung / Alarmanlagen.....	36
5	Verfahren der freien Lüftung	41
5.1	Wirkungsweise und physikalische Grundlagen	42
5.2	Systeme der freien Lüftung und Planungsempfehlungen	43
5.3	Heizung	47
5.4	Regelung / Alarmanlagen.....	48
6	Zusammenfassung	48
7	Anhang	49
7.1	Anhang 1 / Beispiel Zwangslüftung	50
7.2	Anhang 2 / Beispiel Freie Lüftung	52
7.3	Anhang 3 / Grundlagen und Planungsvorgaben zur Schachtlüftung	59
8	Literaturhinweise.....	59

1 Aufgaben der Lüftung

Lüftung und Heizung sind in Schweineställen feste Bestandteile der Gebäudetechnik geworden, weil eine kontrollierte Klimaführung großen Einfluss auf die Leistung und das Wohlbefinden der Tiere hat. Gute Luftqualität und angemessene Temperaturen im Tierbereich sind neben dem genetischen Potenzial, einer bedarfsgerechten Fütterung und einer sachkundigen Bestandsbetreuung die wichtigsten Einflussfaktoren auf den Erfolg im Stall.

Lüftung und Heizung haben vielfältige Aufgaben, die auch Interessen des Tierschutzes wie die Immissionsminderung verfolgen. Vorrangige Aufgabe der Lüftung ist die Abfuhr gebäudeschädigender und gesundheitsschädlicher Stoffe, den sogenannten Raumlasten. Neben diesem Entsorgungsauftrag hat die Lüftungsanlage jedoch die viel schwierigere Aufgabe, die Tiere gleichmäßig mit Frischluft zu versorgen. Häufig sollen die Ferkel bei der Aufzucht über das Wärmeangebot in ihrem Liegeverhalten gesteuert werden, um die Liegeflächen sauber zu halten. In der Regel werden zusätzlich von Seiten der Genehmigungsbehörden Auflagen zur Abluftgestaltung erteilt, die planerische Gesichtspunkte stark beeinflussen. Dass diese Aufgaben sehr komplex sind und die gestellten Anforderung in der Praxis nur unzureichend erfüllt werden, verdeutlichen immer wieder auftretende Klimaprobleme in unseren Ställen.

Die Raumlasten stellen produktionsbegrenzende Faktoren dar; im Sommer ist es die Wärme, während im Winter der Wasserdampf und das Kohlendioxid abgeführt werden müssen (Bild 1). Dabei stellt der Luftvolumenstrom oft das einzige Instrument zur Anpassung an die gestellten Aufgaben dar. So übersteigt im Sommer der Luftvolumenstrom den im Winter um den Faktor 10, in extremen Fällen sogar um den Faktor 20. Die Mindestluftstraten zur Bemessung der Lüftungsanlage für die Sommer- und Wintersituation werden physikalisch nach der DIN 18 910 unter Berücksichtigung der tierphysiologischen Daten abgeleitet.

Im Sommer muss die Wärme der Tiere aus dem Stallraum abgeführt werden, weil es sonst zu einem "Wärmestau" im Stall und zu Hitzestress für die Tiere kommen kann. Um die Tiere nicht unnötig zu belasten, sollte im Sommer möglichst kühle Frischluft aus einem beschatteten Bereich angesaugt werden und nicht aus einem stark erwärmten Dachraum.

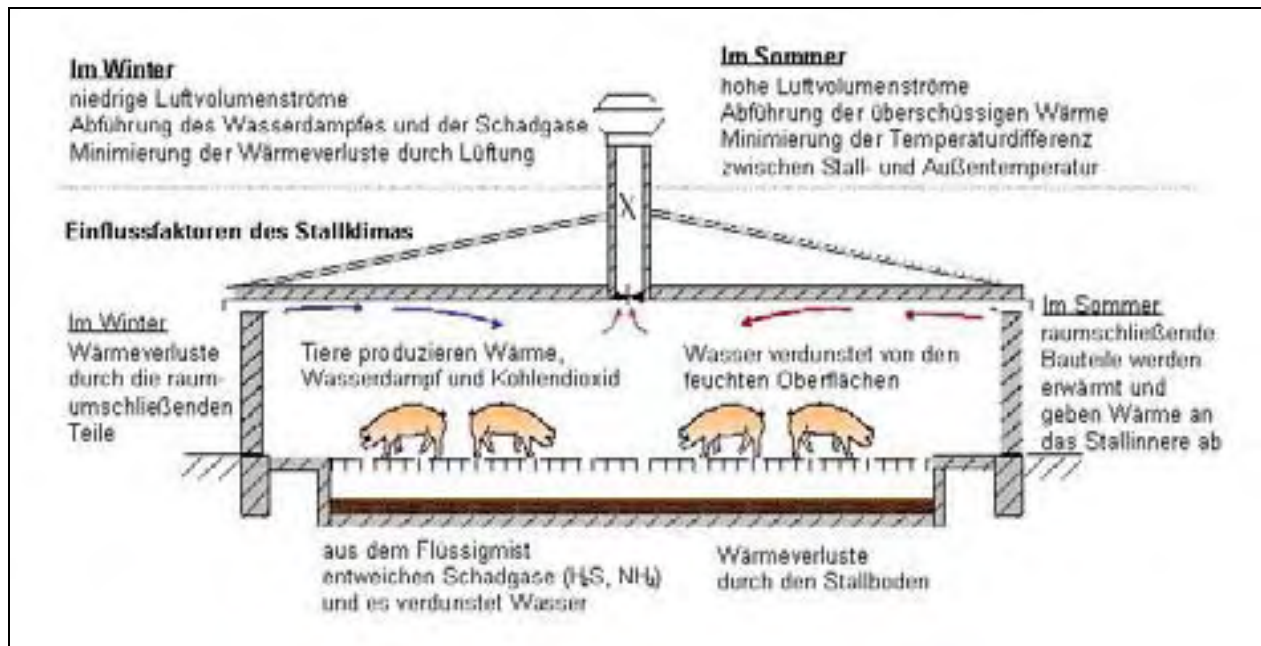


Bild 1: Aufgaben des Stallklimas und Einflussfaktoren in der Sommer- und Wintersituation

Im Winter hat die Lüftungsanlage die vorrangige Aufgabe, den Wasserdampf aus dem Stall zu entfernen, um Kondenswasserbildung zu vermeiden und letztlich den Wärmeschutz sowie den Wert des Gebäudes zu erhalten. Gleichzeitig sollen die Schadgaskonzentrationen im Tierbereich nicht über die gesetzlich vorgegebenen Grenzwerte ansteigen. Hierbei ist neben den gesundheitsgefährdenden Gasen Ammoniak und Schwefelwasserstoff besonders Kohlendioxid als Indikatorgas für die Planung von Interesse. Es ist bei der Mindestluftfrate im Winter daher zu berücksichtigen, ob nach dem von den Tieren produzierten Wasserdampf oder nach der kritischen Kohlendioxidkonzentration geplant werden muss.

Die Individualität von Lüftungsanlagen ist durch folgende Umstände begründet:

- Die Schweine stellen je nach Alter und Haltungsabschnitt unterschiedliche Anforderungen an das Klima. Größeren Aufwand zu betreiben als notwendig, verursacht letztlich unnötige Kosten.
- Ökonomische Entscheidungen sind betriebsspezifisch. Technischer Aufwand, z.B. für eine vollelektronische Anlagensteuerung, ist mit einem höheren Investitionsbedarf verbunden. Allerdings kann hierdurch die Überwachung mit wesentlich weniger Arbeitszeit erfolgen. Diese Entscheidungen kann nur der Landwirt für sich fällen.

- Die baulichen Voraussetzungen sind in jedem Stall verschieden. Unterschiedliche Wandmaterialien, die Stellung zur Hauptwindrichtung oder die örtlichen Auflagen der Genehmigungsbehörden sind nur einige Beispiele für die spezifische Situation.

Diese Arbeitsunterlage soll interessierten Landwirten, Planern und Beratern Hilfestellung für die Projektierung und den Betrieb von Lüftung und Heizung in Schweineställen bieten. Dabei sollen nicht nur ökonomische Aspekte bei der Anschaffung betrachtet werden, sondern auch Funktionssicherheit und systemspezifische Handhabung. Die Inhalte spannen daher einen weiten Bogen von der Darstellung der notwendigen Grundlagen (Anforderungen der Tiere, baulicher Wärmeschutz, Strömungstechnik usw.) bis hin zur sachgerechten Auswahl und Handhabung der zugehörigen Steuerungstechnik. Fallbeispiele sollen die planerischen Schritte transparent machen und den Einstieg in die physikalisch technische Planungsmethodik erleichtern. Auch die Verfahren der bei Schweinen noch wenig verbreiteten „freien Lüftung“ werden in die Betrachtung einbezogen.

2 Rechtliche Grundlagen – Stand Herbst 2003 (G. Franke)

Aufgrund neuer rechtlicher Rahmenbedingungen werden Genehmigungsverfahren für die Schweinehaltung in Zukunft schwieriger bzw. aufwendiger. Neben Gerüchen können so künftig auch Ammoniak und Schwebstaub genehmigungsrelevant sein, wenn sich Wohnhäuser oder Wald in der Nähe von Stallanlagen befinden. Dieses geht aus der Neufassung der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, TA Luft hervor, die am 01.10.2002 in Kraft getreten ist. Die Neufassung ersetzt die TA Luft aus dem Jahr 1986. Gleichzeitig soll sie EU-Richtlinien, z.B. die Richtlinie über die „Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IFU)“, in Deutsches Recht umsetzen.

Die TA Luft gilt als verbindliches Regelwerk für die im Genehmigungsverfahren beteiligten Behörden der Länder und wird für genehmigungspflichtige Anlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) angewandt. Genehmigungspflichtig sind Anlagen, wenn die Anlagenkapazität die Werte der Tabelle 1 erreicht oder überschreitet. Je nach Art der Maßnahmen, sowohl bei Neubauten als auch bei Änderungen von Anlagen, müssen die Behörden Anträge auf Genehmigungsbedürftigkeit prüfen und Entscheidungen, z.B. über nachträgliche Anforderungen, treffen. Diese werden dem Antragsteller mittels Bescheid übermittelt und sind für alle Parteien verbindlich.

Tab 1: Genehmigungsrelevante Anlagenkapazitäten (Stand Herbst 2003)

Art der Anlage	Kapazität
Mastschweine (>30 kg)	1.500 Plätze
Sauen (inkl. Ferkel <30 kg)	560 Plätze
Ferkel (Aufzucht 10-30 kg)	4.500 Plätze
Legehennen	15.000 Plätze
Junghennen	30.000 Plätze
Mastgeflügel	30.000 Plätze
Truthühner	15.000 Plätze
Rind	250 Plätze
Kalb	300 Plätze
Pelztiere	750 Plätze
Anlagen unabhängig von der Tierart und der Nutzungsrichtung	50 GV und >2 GV je ha
Einzelstehende Güllebehälter	2.500 m ³

Die TA Luft kann nach § 22 BImSchG in eingeschränkter Weise auch für umweltrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Anlagen herangezogen werden; also Anlagen die lediglich dem Baurecht unterliegen. Das gilt vor allem für bauliche und betriebliche Anforderungen zur Emissionsminderung und zur Ermittlung und Beurteilung von Immissionen (Tabelle 2). Allerdings ist der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit zu beachten. Bauliche Auflagen oder kostspielige Untersuchungen müssen in einem angemessenen Verhältnis zur Investitionssumme stehen.

Tab. 2: Bauliche und betriebliche Anforderungen der TA Luft (Stand Herbst 2003)

<p>Management</p> <ul style="list-style-type: none"> • Größtmögliche Sauberkeit und Trockenheit sowohl im Stall als auch in Außenbereichen • Ausreichende Mengen an trockener und sauberer Einstreu
<p>Fütterung/Tränketchnik</p> <ul style="list-style-type: none"> • an den Nährstoffbedarf der Tiere angepasste Fütterung • Bemessung der Futtermengen so, dass möglichst wenig Reste im Stall verbleiben und diese regelmäßig entfernt werden; abgeschlossene Lagerung geruchsintensiver Futtermittel • Verlustarme Tränketchnik
<p>Stallklima</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimales Stallklima; Auslegung von Zwangslüftungsanlagen nach DIN 18910 • bei Unterflurabsaugung 50 cm Freiraum zwischen Betonrosten und Gülleoberfläche • bei zwangsbelüfteten Ställen ist die Art und Weise der Abluftführung im Einzelfall an den Bedingungen des Standortes auszurichten • frei gelüftete Ställe sollen möglichst mit der Firstachse quer zur Hauptwindrichtung

ausgerichtet und frei anströmbar sein sowie zusätzliche Lüftungsöffnungen in den Giebelseiten aufweisen

Entmistung/Mistlagerung

- kontinuierliche Gülleabfuhr aus dem Stall oder in kurzen Zeitabständen
- Geruchsverschluss zwischen Stall und Güllebehälter
- Lagerkapazität für Wirtschaftsdünger von mindestens 6 Monaten
- Lagerung von Festmist mit einem TS-Gehalt von weniger als 25% auf einer wasserundurchlässigen bzw. abgedichteten Bodenplatte; dreiseitige Umwandung
- Abdeckung von Flüssigmistbehältern mit einem Emissionsminderungsgrad von 80%, Strohabdeckung möglich; künstliche Schwimmschichten sind nach etwaiger Zerstörung unverzüglich wieder funktionstüchtig herzustellen; keine zusätzliche Abdeckung bei der Lagerung von Rinderflüssigmist erforderlich
- Vertragliche Absicherung der ordnungsgemäßen Lagerung und Verwertung des flüssigen Wirtschaftsdüngers erforderlich, der an Dritte zur weiteren Verwertung abgegeben wird.

Bezüglich Altanlagen gelten angemessene Übergangsfristen; bis spätestens 30.10.2007 müssen diese Anlagen jedoch an den Stand der Technik von Neuanlagen herangeführt werden.

Da die Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) nicht in die TA Luft aufgenommen wurde, bleibt es bei der gängigen Praxis zur Beurteilung der Mindestabstände zwischen schweinehaltenden Betrieben und der Wohnbebauung. Es wird auf die VDI-Richtlinie 3471 „Emissionsminderung-Tierhaltung-Schweine“ bzw. auf den Entwurf der VDI-Richtlinie 3474 „Emissionsminderung-Tierhaltung-Geruch“ zurück gegriffen.

Ziel der Richtlinien ist es, die landwirtschaftliche Tierhaltung nach einem einheitlichen Bewertungsschema beurteilen zu können. Dabei spielen die Haltungssysteme, die anrechenbaren Großvieheinheiten und die Standortwahl eine wesentliche Rolle. Bei der VDI-Richtlinie 3471 wurden die Abstände aus dem Emissionspotenzial der Anlage, bewertet mit Punkten und der Anzahl der Tiere, umgerechnet in Großvieheinheiten (GV), ermittelt. Bei der Sauenhaltung können die ermittelten GV-Werte halbiert werden, da in der Sauenhaltung gegenüber der Mastschweinehaltung sowohl qualitativ als quantitativ geringere Emissionen auftreten. In dem Entwurf der 3474 wurde berücksichtigt, dass sich der Stand der Technik dahingehend weiter entwickelt hat, dass unterschiedliche Haltungsverfahren das Emissionspotenzial nicht wesentlich beeinflussen. Schwerpunkte wurden auf Standortfaktoren, Ableitbedingungen und geruchsrelevante Tiermassen gelegt. Mit dem Entwurf der VDI-Richtlinie 3474 ist es möglich, auch gemischte Tierbestände zu bewerten.

Exkurs in derzeit in Überarbeitung befindliche, rechtliche Rahmenvorgaben

Einfluss auf die Stallklima-Planung in der Schweinehaltung ist durch die geplante Schweinehaltungsverordnung zu erwarten. In die Tierschutz-Nutztierhaltungs-VO sollen die Anforderungen für das Halten von Schweinen aufgenommen werden. Eine Umsetzung der Richtlinie 91/630/EWG des Rates vom 19.11.1991 für den Schutz von Schweinen, in der durch die Richtlinien 2001/93/EG der Kommission vom 09.11.2001 und 2001/88 EG des Rates vom 23.10.2001 geänderten Form, in Nationales Recht wird damit erfolgen. Der zur Zeit vorliegende Nationale Verordnungsentwurf zur Festlegung der Mindestanforderungen an das Halten von Schweinen geht jedoch in einzelnen Bereichen (vor allem Ferkelaufzucht und Schweinemast) weit über die Vorgaben der EU-Richtlinie hinaus, da diese Bereiche in der EU-Richtlinie erst zu einem späteren Zeitpunkt novelliert werden sollen. Eine vorzeitige Anhebung der Mindestanforderungen in Deutschland würde zu erheblichen Nachteilen bei der hiesigen Schweineproduktion führen. Zwischen der alten Schweinehaltungsverordnung und dem Entwurf der neuen Verordnung ist ein bedeutender Flächenzuwachs geplant. Die Notwendigkeit dieser Zuwachsraten ist bisher wissenschaftlich nicht belegt. Es bleibt zu hoffen, dass die Vorgaben der EU 1:1 in nationales Recht umgesetzt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit unserer schweinehaltenden Betriebe zu gewährleisten.

Auch die geplante Novellierung des Baugesetzbuches (BGB) kann hinsichtlich der Standortsuche und der Standortfindung für zukünftige Baumaßnahmen in der Schweinehaltung zu erheblichen Nachteilen führen. Es wird diskutiert, die Planungshoheit für Standorte, auf denen Tierhaltungsanlagen errichtet werden können, auf die kommunale Ebene zu verlagern. Die Kommunen können damit durch Ausweisung von Vorrang-, Eignungs- und /oder Belastungsflächen direkten Einfluss, mit nicht kalkulierbaren negativen Auswirkungen, auf die Entwicklungsfähigkeit von Betrieben nehmen. Das kann soweit führen, dass Baumaßnahmen für gewisse Zeiträume, z. B. Zurückstellung von Baugesuchen bis 2007, verhindert werden. Gerade die Eigentumsverhältnisse in landwirtschaftlichen Betrieben und eine notwendige, flexible Anpassung an die jeweiligen Marktsituationen gebieten jedoch schnelle Entscheidungen durch Genehmigungsbehörden.

3 Stallklimatische Grundlagen

Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen (Kapitel 2) müssen folgende Anforderungen bei der Planung und dem Betrieb von Stalllüftungsanlagen berücksichtigt werden:

- die thermophysiologischen Ansprüche der Tiere,
- das thermische Verhalten von Stallgebäuden,

3.1 Klimaphysiologische Grundlagen (Leuschner)

Die Wechselbeziehungen zwischen klimatischer Umwelt und der Tierleistung wird in der Klimaphysiologie behandelt. Wesentliche Komponenten für die klimatische Umwelt im Stall:

- Stalllufttemperatur
- Stallluftfeuchtigkeit
- Stallluftgeschwindigkeit
- Temperatur der Liegeflächen und raumumschließenden Bauteile
- Luftverunreinigungen.

Schweine sind Warmblüter (Homiotherme). Sie halten ihre Körpertemperatur in konstanten Grenzen. Die sogenannte Kerntemperatur schwankt je nach Lebensalter und Rasse beim Schwein zwischen 39 °C und 40 °C. Die Hautoberflächentemperatur beträgt etwa 30 °C bis 32 °C. Dadurch entsteht zwischen Körper-, Oberflächen- und Umwelttemperatur ein Temperaturgefälle, welches einen Wärmeaustausch verursacht. Die insgesamt vom tierischen Körper abgegebene Wärme setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Strahlung (Radiation)
- Leitung (Konduktion)
- Mitführung (Konvektion)
- Verdunstung (Respiration und Transpiration)
- Futter- und Wasseraufnahme / Ausscheidung von Exkrementen.

Die jeweiligen relativen Anteile an der Gesamtwärmeabgabe sind unterschiedlich und hängen vom Tier und seiner Umwelt ab.

Wärmeabgabe durch Strahlung (Radiation)

Der Energieaustausch durch Strahlung hängt von der Temperatur der Oberflächen, von ihrer gegenseitigen Lage und ihrer Eigenschaft als "Strahler" ab. Sinken die Temperaturen der raumumschließenden Decken und Wände unterhalb von 25 °C, so wird ein wesentlicher

Einfluss der Entwärmung durch Strahlung bei Schweinen deutlich. Die Wärmeabgabe des Schweines auf dem Wege der Strahlung muss aber, um Behaglichkeit zu gewährleisten, je nach dem Ausmaß der sonstigen Klimakomponenten bestimmte Werte einhalten. Die Oberflächentemperaturen der inneren Stallumschließungsflächen ist also so abzustimmen, dass die biologisch notwendige Entwärmung weder gehemmt (Wärmestau) noch beschleunigt (Erkältung) wird.

Ein unerwünschter Wärmeaustausch über Strahlung ist zu verhindern, indem die Wand- und Deckenoberflächen die Stalllufttemperatur nicht wesentlich unter- bzw. überschreiten.

Wärmeabgabe durch Leitung (Konduktion)

Wärmeleitung bedeutet Wärmefluss von einem Körper zum anderen. Diese Art der Wärmeübertragung kann beim Schwein entstehen:

- Zwischen Hautoberfläche und Liegefläche,
- Zwischen Kontaktflächen zweier Tiere.

Die umgebende Luft ist ein Wärmeleiter. Feuchte Luft leitet besser als trockene Luft. Die Wärme von der warmen Oberfläche des Tierkörpers wird an die kältere Umgebung abgegeben. Infolge der spärlichen Behaarung sind Schweine besonders empfindlich gegenüber feuchter Umgebungsluft. Da Schweine nicht schwitzen können, kann feuchte Luft nur über die Stallluft an die Hautoberfläche gelangen. Es ist wichtig, darauf zu achten, dass im Winter auf keinen Fall eine „Grenzschicht“ von ruhender Luft an der Oberfläche des Körpers durch zu hohe Stallluftbewegungen zerstört wird.

Wärmeabgabe durch Mitführung (Konvektion)

Konvektion ist Wärmeübertragung zwischen *bewegten* festen, flüssigen oder gasförmigen Medien. Durch Luftbewegung in Tiernähe wird Luft ständig ausgetauscht. Die Bewegung der Luft kann sowohl durch eine Zwangslüftung als auch durch Thermik entstehen. Der konvektive Anteil der Entwärmung beim Schwein wird meist überschätzt, da er beim Menschen relativ hoch ist. Besonders empfindlich reagieren Schweine auf Partialunterkühlungen durch hohe Luftbewegungen mit Stallluft, die wesentlich kälter ist als die übliche Umgebungstemperatur (*Zuglufterscheinung*). Dieser Zustand ist durch technische und konstruktive Maßnahmen für jede Lüftungsanlage unbedingt zu vermeiden.

Die gleichmäßige Luftverteilung im Stallraum und der ordnungsgemäße Lufteintritt (Luftmischung) sind unbedingte Voraussetzung für ein einwandfreies Funktionieren einer Lüftungsanlage. Die meisten Mängel der heutigen Lüftungsanlagen haben ihre Ursache in fehlerhaften Luftführungen und Zuluftvorrichtungen.

Im Sommer soll eine hohe Luftbewegung in Tiernähe die Wärmeabgabe des Schweines begünstigen und den negativen Einfluss der hohen Umgebungstemperaturen mindern.

Wärmeabgabe durch Verdunstung (Respiration)

Ändert eine Substanz ihren Aggregatzustand, so verändert sich auch die in ihr gebundene Wärme. Verdunstet zum Beispiel flüssiges Wasser zu Wasserdampf, so ist für diesen Vorgang Wärme erforderlich. Dieser physikalische Effekt wird von Tier und Mensch im Sommer in der Lunge zur Wärmeabgabe genutzt. Das Schwein atmet die es umgebende Stallluft ein, erwärmt diese und sättigt sie mit Wasserdampf. Da diese Energie aus der Lunge kommt, entwärmt sich der Körper. Die Ausatemluft (Expirationsluft) kann beim Schwein konstant mit einer relativen Luftfeuchte von 95 % angenommen werden.

Da das Schwein sich praktisch nur über die Verdunstung in der Lunge entwärmen kann, ist diese Art der Wärmeabgabe im Gegensatz zu Menschen außerordentlich wichtig, besonders bei hohen Stalllufttemperaturen. Das Verhältnis von sensibler zu latenter Wärmeabgabe bei der Atmung sowie bei der Gesamtentwärmung des Schweines kann als Kriterium des Wohlbefindens bewertet werden.

Wärmeabgabe an Futter und Wasser

Das von den Tieren aufgenommene trockene oder flüssige Futter sowie das Tränkwasser werden vom Tier durch Übertragung von Körperwärme auf Körpertemperatur (38°C) gebracht. Dazu wird Wärme benötigt. Die pro Tag benötigte Wärmemenge ist relativ gering. Die Belastung nach Fütterungszeiten kann aber sehr hoch sein und ist daher als Störgröße für Regelsysteme zu beachten. Da während der Fütterungsphasen - besonders bei gleichzeitiger Fütterung wie Flüssigfütterungen - die Tiere durch erhöhte Bewegung und Atmung zusätzlich latente und sensible Wärme abgeben, erhöht sich während dieser Zeiten der Wärmeinhalt der Stallluft. Diese Belastungen während der Fütterungszeiten wirken sich auf das Behaglichkeitsempfinden der Schweine aus.

3.2 Tierphysiologische Optimalwerte (Sollwerte)

Auch bei der Schweinehaltung lassen sich aus den physiologischen Erkenntnissen Stallklimawerte für ein optimales Wachstum bei guter Gesundheit der Tiere finden. Der Wärmehaushalt beeinflusst insbesondere die wichtigen Regulationsmechanismen, wie Stoffwechsel, Isolation der Körperschale, Kreislauf und Atmung sowie Wasserhaushalt. Jedes Tier besitzt bei einer bestimmten Umwelttemperatur einen minimalen Energieumsatz. Diese Umwelttemperatur wird als Neutraltemperatur bezeichnet. Abweichungen von der thermischen Neutralität (Optimaltemperaturbereich) verändern den Energieumsatz, die Wärmebildung wird erhöht. Das Tier toleriert aber eine optimale Zone von Temperatur und Feuchtigkeit innerhalb eines gewissen Bereiches. Geringe Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit wirken sich im Bereich der Neutraltemperatur unwesentlich aus.

Als Grundlage der optimalen Umgebungstemperaturen können daher die Werte der thermisch neutralen Zone für die einzelnen Altersstadien bei normalen Haltungsbedingungen für Schweine angenommen werden.

Bei der Diskussion um „Sollwerte“ ist zwischen den Werten des Betriebes als optimale Einstellungswerte - die für die Regelgeräte gewählt werden müssen - und den Werten als Grundlage der Dimensionierung der Lüftungsanlagen - den sogenannten Rechenwerten - zu unterscheiden.

Die sogenannten „Sollwerte“ haben für die Anlagensteuerung lediglich Orientierungscharakter. Eine kritische Überprüfung und Anpassung der Vorgabewerte an die konkreten Bedingungen ist regelmäßig notwendig. Neben betriebswirtschaftlichen Entscheidungen haben das Leistungsniveau, die Futterzusammensetzung sowie die Lüftungstechnischen Einrichtungen und das Stallgebäude großen Einfluss auf die Sollwerte.

Die DIN 18 910 (Wärmeschutz geschlossener Ställe, Mai 1992) gibt für Schweineställe Richtwerte zur optimalen Lufttemperatur der Stallluft und **Rechenwerte** im Winter für Temperatur und relative Feuchte der Stallluft an (siehe Tabelle 3). Für die relative Luftfeuchte wird in Ställen ohne Heizung ein Wert zwischen 60 % und 80 %, in Ställen mit Heizung ein Wert zwischen 40 % und 70 % angestrebt (DIN 18 910). Aus bisherigen Untersuchungen ist deutlich zu erkennen, dass sich der Einfluss der Luftfeuchte bei hohen Umgebungstemperaturen am stärksten auf die Leistungsfähigkeit der Tiere auswirkt. Diese

Tatsache ist durch den hohen Anteil der respirativen Entwärmung des Schweines bei hohen Temperaturen zurückzuführen. Durch die geringe Energiedifferenz zwischen eingeatmeter und ausgeatmeter Luft ist das Schwein nicht mehr in der Lage, sich genügend zu entwärmen, was zu einer erhöhten Atemfrequenz (hecheln), geringerer Futteraufnahme und zu einer schlechteren Futterverwertung führt. Im Sommer soll die Temperatur der Stallluft daher nur so wenig wie möglich über die Außentemperatur ansteigen (Rechenwerte nach DIN 18 910 siehe Tabelle 4).

Tab. 3: Temperaturen und rel. Luftfeuchten der Stallluft nach DIN 18 910

Stall für:	Masse des Einzeltiers kg	Optimalwerte der Stallluft °C	Rechenwerte im Winter	
			Temperatur °C	rel. Luftfeuchte %
Jungsauen, leere und tragende Sauen, Eber	über 50	10 - 18	10	80
Ferkelführende Sauen, im Ferkelbereich Zonenheizung erforderlich	über 100	12 - 20 Ferkelbereich 32 - 20*)	12	80
Ferkel im Liegebereich auf Ganzrostboden	10 - 30	26 - 20*)	20	70
Mastschweine einschließlich Aufzucht im Rein-Raus-Verfahren	10	26 - 22*)	20	70
	20 - 30	22 - 18*)	16	80
	40 - 50	20 - 16*)	14	80
	60 - 100	18 - 14*)	12	80
Kontinuierliche Mast	20 - 40	22 - 18*)	16	80
	40 - 60	20 - 16*)	14	80
	60 - 100	18 - 14*)	12	80

*) Lufttemperatur mit zunehmendem Alter der Tiere allmählich von höherem auf den niederen Wert abnehmend

3.3 Planungsdaten zum Luftvolumenstrom

Um die genannten Aufgaben zu erfüllen, ergeben sich für die Sommer- und Wintersituation völlig unterschiedliche Luftvolumenströme. Berechnungsgrundlagen zur Dimensionierung einer Lüftungsanlage sind in der DIN 18 910 beschrieben. In Tabelle 4 sind die Luftvolumenströme in Abhängigkeit vom Tiergewicht für eine Lufttemperatur von 30°C (Sommerbetrieb) nach DIN 18 910 errechnet worden.

Tabelle 4: Luftvolumenstrom je Einzeltier für die Sommer- und Wintersituation bei Rein-Raus-Belegung (Ein- und Ausstallgewicht) oder kontinuierlicher Belegung (Durchschnittsgewicht); Planungsdaten nach DIN 18 910; Angaben in m³/h je Tier (¹⁾ Angaben beziehen sich auf ferkelführende Sauen)

Einzeltiergewicht in kg	Mastschweine							Sauen ¹⁾	
	30	40	50	60	70	80	100	250	300
Planungswerte für den Sommer Temperaturzone I Außentemperatur ≥ 26 °C; Temperaturdifferenz: 2,0 K	62	73	85	94	104	112	126	244	266
Temperaturzone II Außentemperatur < 26 °C; Temperaturdifferenz: 3,0 K	41	49	56	63	69	74	84	163	178
Planungswerte für den Winter Rein-Raus-Verfahren - Mastschweine Temperatur: 22 °C - 16 °C Luftfeuchte: 80 %	6,3	7,5	8,4	9,4	-	-	12,6	24,6	27

Die Werte in Tabelle 4 sind auch Grundlage für die Dimensionierung einer Lüftungsanlage in Schweineställen bei Rein-Raus-Belegung. Es handelt sich dann um eine Eckwert-Planung, bei der die ungünstigsten Bedingungen unterstellt werden: kleine Tiere im Winter; schwere Tiere im Sommer. Im Bezug auf den Standort muss für den Sommer zwischen Temperaturzone I und II unterschieden werden (eine Karte hierzu befindet sich im Anhang).

Beispiel: Für einen Stall mit 300 Mastschweinen mit Rein/Raus-Belegung im Gewichtsabschnitt von 30 bis 100 kg an einem Standort in der Temperaturzone I ergibt sich planerisch eine Winterluftfrate für das Abteil von (300 x 6,3 m³/h =) 1890 m³/h und eine Sommerluftfrate von (300 x 126 m³/h =) 37 800 m³/h.

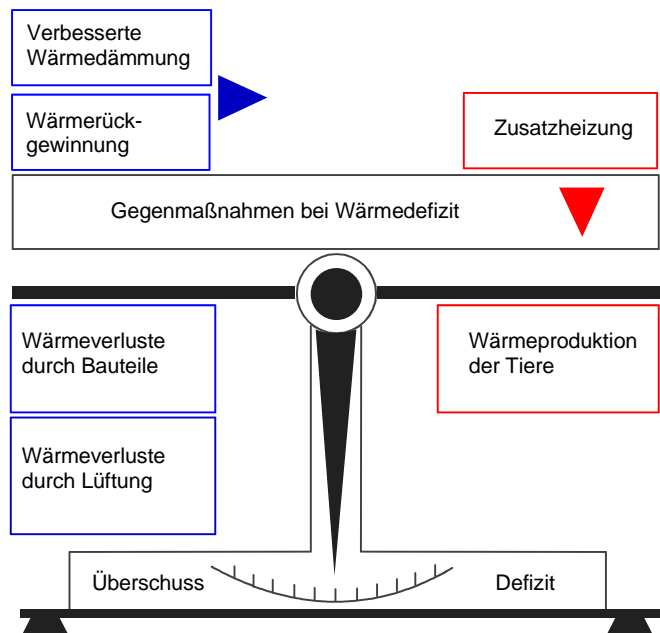
Ausblick : Die maximalen Luftfraten für Ferkelaufzucht und Mast sind im Entwurf der DIN 18 910 (Fassung 2003) bei konventioneller, einstreuloser Haltung erheblich reduziert worden (ca. 10 % bis 15 %).

3.4 Bau- und strömungstechnische Grundlagen

Die Aufgabe des Gebäudes besteht darin, im Zusammenhang mit der Lüftungsanlage den im Stall befindlichen Schweinen ein im Bezug auf das Wachstum „optimales“ Stallklima bei wechselnden außerklimatischen Verhältnissen zu gewährleisten. Das bedeutet, dass auch unter extremen Winterbedingungen die gewünschte Raumtemperatur gehalten werden kann. Auch den tages- und jahreszeitlichen Außentemperaturschwankungen kann im Innenraum durch geeignete bauphysikalische Konstruktionen entgegen gewirkt werden.

Um bei der Planung zu prüfen, ob die gewünschte Temperatur im Winter eingehalten werden kann, ist die Bilanzierung der Wärmeströme notwendig. Die Baunorm "DIN 18910" macht Vorgaben, wie für Ställe diese Wärmebilanz durchzuführen ist (s. Bild 2). Im Normalfall sind die Tiere die einzige Wärmequelle im Stall. Zusatzheizungen oder Wärmerückgewinnungsanlagen sind in Jungtierställen und in Ställen Standard, die nach dem Rein-Raus-Prinzip belegt werden. Die Auslegung der Heizung erfolgt nach Gleichung 1, wobei physikalisch für die Wärmeströme der Formelbuchstaben \dot{Q} benutzt wird.

Bild 2:
Wärmebilanz-Waage mit
Ausgleichsmöglichkeiten



$$\dot{Q}_{\text{Heizung}} = \dot{Q}_{\text{Tiere}} - (\dot{Q}_{\text{Bauteile}} + \dot{Q}_{\text{Lüftung}}) \quad \text{Gleichung 1}$$

Eine wichtige Voraussetzung für eine möglichst ausgeglichene Wärmebilanz ist eine intakte, gute Wärmedämmung der Wände und Stalldecke. Beim Wandaufbau muss darauf geachtet werden, dass es nicht zu einer Durchfeuchtung der Dämmschicht durch Kondensatbildung kommen kann. Wände und Decken sollten daher stets so aufgebaut sein, dass von innen nach außen und von Schicht zu Schicht die Wasserdampf-Durchlässigkeit zunimmt. Anders ist es mit dem Wärmedurchgang der einzelnen Schichten. Die Dämmeigenschaft (Wärmedurchgangswiderstand) sollte von innen nach außen immer größer werden. Das Maß für die

Wärmedurchlässigkeit einer gesamten Wand oder eines einzelnen Bauteils (z. B. einer Tür) ist dessen u-Wert (früher k-Wert). Der u-Wert geht als Faktor in die Berechnung der Wärmeverluste ein (s. Gleichung 2). Niedrige u-Werte sind als günstig anzusehen, hohe Werte kennzeichnen eine schlechte Wärmedämmung. Die Erfahrungen zeigen, dass die Wände und besonders die Stalldecke die größten Wärmeverluste aufweisen; deren u-Werte sollten daher besonders niedrig sein. Folgende u-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) sind möglichst einzuhalten:

Fenster	2,8	W / m ² K	Türen	1,2	W / m ² K
Wände	0,5	W / m ² K	Decken	0,4	W / m ² K

$$\dot{Q}_{\text{Bauteil}} = \text{Fläche}_{\text{Bauteil}} \cdot u_{\text{Bauteil}} \cdot (\text{Temp}_{\text{Innenseite}} - \text{Temp}_{\text{Außenseite}}) \quad \text{Gleichung 2}$$

Voraussetzung für eine exakte Wärmebedarfsberechnung (Gleichung 1) ist ein hohes Maß an Dichtheit der raumumschließenden Bauteile. Besonders in Altgebäuden kommt es durch einen hohen "Falschlufanteil" immer wieder zu einem erheblichen Einfluss auf die sich einpendelnden Raumtemperaturen. Sinkt die Raumtemperatur über längere Zeit unter die Optimalwerte, sind Leistungseinbußen vorgegeben. Darüber hinaus fördern zu niedrige Temperaturen bei hoher Luftfeuchtigkeit die Anfälligkeit der Tiere gegenüber Faktorenkrankheiten (z. B. Ferkelgrippe). Können die Tiere unter diesen Bedingungen hohen Luftgeschwindigkeiten (Zugluft) nicht ausweichen, kann es zur starken Abkühlung der Tiere und daraus resultierenden Atemwegserkrankungen kommen.

Hat man bei der Bilanzierung der Wärmeströme ein Defizit festgestellt, kann sich im Tierbereich die angestrebte Temperatur nicht einstellen (siehe Bild 2). In diesem Fall gibt es folgende Möglichkeiten, um die Raumtemperatur zu steigern:

- verbesserte Wärmedämmung,
- Wärmerückgewinnung aus der Stallabluft,
- Heizung.

Bei der Entscheidung für die „richtige“ Lösung spielen der Kapitalbedarf und die Betriebskosten der verschiedenen Möglichkeiten eine wichtige Rolle. Bei der Heizung und Wärmerückgewinnung muss man jedoch gesondert berücksichtigen, dass sie auch bei der Beseitigung von Zugluftproblemen helfen können, wenn die Frischluft vor dem Eintritt in den Raum angewärmt wird. Bei der Sanierung von alten Ställen wird das Wärmedefizit in der Regel durch den Einsatz von Heizungen ausgeglichen. Die Aufgabe des Tierhalters bei den täglichen Kontrollgängen ist es, die Feineinstellung der Temperaturvorgaben vorzunehmen.

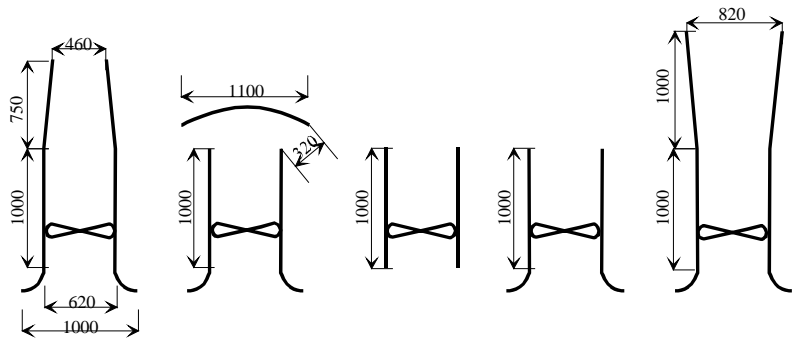
Dabei kann man sich einerseits sachgerecht an den Wärmebedarf der Tiere anpassen, andererseits wird einer Energieverschwendung vorgebeugt.

Luftströmungen im Raum und in den Kanälen weisen einige charakteristische Merkmale auf, die für die Planung von Lüftungsanlagen wichtig sind.

Die Luftströmungen im Raum haben einen charakteristischen Verlauf, den man mit zugesetztem, künstlichen Nebel gut sichtbar machen kann. Den Zuluftsyste men lassen sich typische Luftströmungen zuordnen, weil die einströmende Luft den größten Einfluss auf die Raumströmung hat. Die Luftströmung im Raum wird jedoch nicht nur von der einströmenden Zuluft beeinflusst. Wenn sich bei Winter-Luftvolumenstrom die Raumluft lediglich drei bis viermal erneuert, spielen auch thermischer Auftrieb von Heizquellen oder Abwärtsströmungen von kalten Flächen eine wichtige Rolle. Da die Tiere Kaltluftströmungen schnell als Zugluft empfinden, sollte folgende Zusammenhänge mikroklimatisch berücksichtigt werden.

- Bei einigen Zuluftsyste men sollte die Luft möglichst vorgewärmt in den Raum eingeführt werden.
- Außenwandflächen sollten im Tierbereich eine gute Wärmedämmung aufweisen.
- Durch Abdeckungen über den Liegeflächen (z. B. bei Ferkelnestern) können die Tiere vor Kaltluftströmungen von oben geschützt werden.

Bei Luftströmungen in Kanälen ist besonders auf eine strömungstechnisch günstige Ausführung zu achten, weil durch hohe Strömungswiderstände der Luftdurchsatz der Ventilatoren abgesenkt wird und hohe Widerstände den Energieverbrauch und somit die Stromkosten für den Luftwechsel steigern. Besonders deutlich wird dieser Zusammenhang bei der Abluftgestaltung, wobei auf Bild 3 verschiedene Ausführungsvarianten bei gleichem Ventilator gegenüber gestellt wurden. Ausgehend von der typischen Ausführung (mittlere Spalte der Tabelle) ergeben sich erhebliche Unterschiede zu den strömungstechnisch günstigen und ungünstigen Varianten im Bezug auf den Luftdurchsatz und die spezifische elektrische Leistungsaufnahme.



Drehzahl	min ⁻¹	821	814	790	805	832
Leistungsaufnahme	W	390	390	403	401	378
Volumenstrom	m ³ /h	5870	6090	8620	9410	10930
	%	68	71	100	109	127
Spezifischer Volumenstrom	m ³ /kWh	15 050	15 620	21 390	23 470	28 920
	%	70	73	100	110	135
Spezifische Leistungsaufnahme	W / 1000 m ³	66,4	64,1	46,8	42,6	34,6
	h ⁻¹	142	137	100	91	74
	%					

Bild 3: Strömungstechnisch günstige Abluftgestaltung steigert den Luftdurchsatz und senkt die Stromkosten (Standard = 100 %, graue Spalte, Maßangaben in der Skizze in mm)
Quelle: S. Pedersen, DK, SJF, 1999

4 Zwangslüftungsverfahren (*Büscher*)

4.1 Druckverhältnisse im Stallraum

Je nach der Anordnung der Ventilatoren in der Lüftungsanlage und den sich einstellenden Druckverhältnissen im Raum, spricht man von Über-, Unter- oder Gleichdrucklüftung. Aus Umweltschutz- und Kostengründen werden in Schweineställen nahezu ausschließlich Unterdrucklüftungen installiert. Dabei sollte gewährleistet sein, dass die Abluftventilatoren (Unterdruckanlagen) die Frischluft nicht unkontrolliert durch Undichtigkeiten ansaugen. Insbesondere zwingen immissionstechnische Gründe schon im Genehmigungsverfahren zu einer kontrollierten Ablufführung, die sich bei Unterdruckanlagen zwangsläufig ergibt.

4.2 Zuluftsysteme

Die Art der Zuluftführung hat großen Einfluss auf die Raumströmung, auf die Luftgeschwindigkeiten im Tierbereich und somit auf die Zugluftgefahr! Je höher die Einströmgeschwindigkeit in den Raum, um so größer ist auch die Impulswirkung auf die Raumluft. Ist der Energieeintrag groß genug, ergibt sich eine Drehbewegung im Raum, man spricht dann von Luftwalzen. Ist die Impulswirkung gering, bilden sich keine Luftwalzen. In dem Fall haben andere Faktoren übergeordneten Einfluss auf die Luftbewegung, z.B. Thermik durch Tiere und andere Wärmequellen oder kalte Außenwandflächen. Um die Impulswirkung der Zuluftsysteme abzuschätzen, sind die derzeit üblichen Systeme in Bild 4 nach ihrer Impulswirkung auf die Raumströmung geordnet.



Bild 4: Differenzierung der verschiedenen Zuluftsysteme, geordnet nach ihrer Impulswirkung auf die Raumströmung

4.2.1 Strahl Lüftungssysteme

Bei Strahl Lüftungen wird die gesamte Luftrate durch wenige Öffnungen mit relativ hoher Geschwindigkeit in den Raum geführt. Die gesamte Raumluft wird durch den Impuls in Bewegung versetzt (Luftwalzen). Die Zuluftöffnungen sind in der Regel mit einer freipendelnden Klappe ausgerüstet, um auch bei der Winterluftrate noch ausreichend große Einströmgeschwindigkeiten zu gewährleisten.

Strahl Lüftungssysteme haben aufgrund der bei ihnen häufig auftretenden Zugluftprobleme im Stall an Bedeutung verloren. Sie werden derzeit in Neuanlagen nur noch selten eingesetzt. Ist die Einströmgeschwindigkeit zu gering, fällt Kaltluft direkt auf die Tiere in den Buchten unter den Zuluftelementen und erzeugt dort Zuglufterscheinungen.

Wird eine Strahl Lüftung eingesetzt, ist es notwendig, die kalte, schwere Frischluft mit hoher Geschwindigkeit (möglichst über 1,0 m/s) durch eine entsprechende Stellung der Klappen in den Raum einzuleiten, um die Zugluftgefahr bei der Strahl Lüftung zu vermeiden. Eine zweite wesentliche Voraussetzung für die notwendige Eindringtiefe ist die Nutzung des Coanda-Effekts (Bild 5). Bei dem nach seinem Entdecker benannten Phänomen lehnt sich der einströmende Strahl an eine erreichbare, glatte Fläche an und strömt an ihr entlang. Gelingt es also durch exakte Einstellung und Anordnung der Zuluft Elemente bei der Strahl Lüftung, die Zuluft direkt unter eine glatte Stalldecke einzuleiten, vergrößert sich die Eindringtiefe erheblich - die Luft nimmt allmählich Raumtemperatur an - die Zugluftgefahr im Tierbereich ist erheblich abgesenkt.

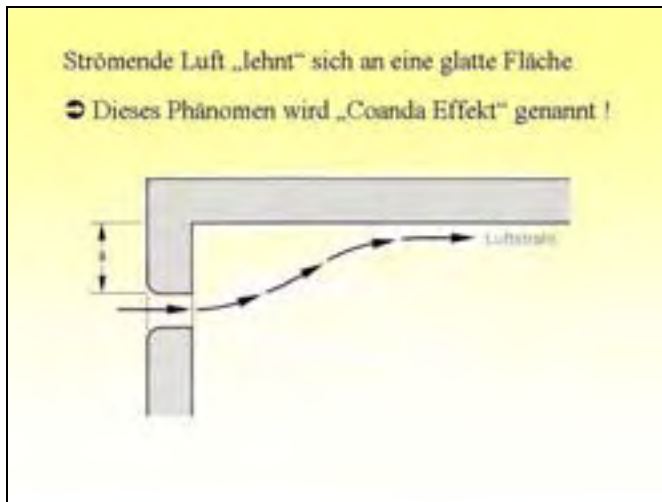


Bild 5: Der Luftstrahl lehnt sich an eine glatte Fläche (Stalldecke) und dringt tief in den Raum ein (Coanda-Effekt)

Die Eindringtiefe der Frischluft ist auf maximal vier Raumhöhen (etwa 12 m) begrenzt. Ist der Raum tiefer, bilden sich Sekundärwirbel. Diese Sekundärwirbel sind jedoch unerwünscht, weil sie sich im eigenen "Saft" drehen und mit Schadgasen anreichern. Um Sekundärwirbel zu vermeiden, kann es in großen Abteilen notwendig werden, durch beide Seitenwände Frischluft einströmen zu lassen oder Kanäle einzuziehen. Es ergeben sich bei der Strahl Lüftung daher zwei Möglichkeiten, die Frischluft Elemente einzusetzen: in kleinen Abteilen in die Wand zum Zentralgang oder in großen Abteilen in einen Zuluftkanal, der vom Zentralgang oder von Außen gespeist wird.

Situation 1: Wandeinbau der Frischluftelemente

Bei der Frischluftansaugung sollte grundsätzlich der Windeinfluss minimiert werden. Es ist daher günstiger, aus einem windberuhigten Vorraum oder dem Zentralgang anzusaugen als direkt von außen. In Kammställen werden die Abteile in der Regel über den Zentralgang mit Frischluft versorgt, weil auf diese Weise eine Vorwärmung möglich ist. Um Kosten für Kanäle zu sparen, erfolgt bei kleinen Abteilen die Zuluft einströmung über "Wandelemente" gelegentlich direkt durch die Abteilwand (Beispiel Bild 6).



Bild 6: *Erwünschtes Strömungsbild bei der Strahl Lüftung mit Wandelementen entlang der Stalldecke; sichtbar durch Zugabe von künstlichem Nebel*

Wenn es sich um Zuluftelemente mit freipendelnden Klappen handelt, kann es im Winter notwendig sein, einzelne Frischluftelemente zu verschließen, um bei den verbleibenden eine Einströmgeschwindigkeit über 1,0 m/s zu erreichen. Zum Sommer hin müssen diese "Pendelsperren" jedoch entfernt werden. Hindernisse im Bereich der Frischluftereinströmung sollten vermieden werden. Bei quer zur Strömungsrichtung verlaufenden Balkendecken kann die Strahl Lüftung nicht funktionieren. Auch Neonröhren sollen längs zur Strömungsrichtung installiert werden.

Aus den oben aufgeführten Gründen sollten bei der Strahl Lüftung folgende *Planungsgrößen* unbedingt beachtet werden:

- Raumtiefe nicht größer als das vierfache der Raumhöhe,
- Mindesteinströmgeschwindigkeit im Winter 1,0 m/s,
- Maximale Einströmgeschwindigkeit im Sommer 4,0 m/s,
- Einbau der Öffnung direkt unter der Stalldecke.

Aufgrund der Zugluftgefahr durch Fehleinstellungen sollte diese Form der Zuluftführung nur bei weniger empfindlichen Tieren (Sauen, Mastschweine) Anwendung finden.

Situation 2: Zuluft einströmung in den Raum durch einen Kanal (Kanalzuluftverteiler)

In sehr langen Stallabteilen, (Raumlänge in Strömungsrichtung > 4 Raumhöhen) ist es nicht möglich, die Frischluft stirnseitig in den Raum zu leiten; hier sind Zuluftkanäle zur Luftverteilung notwendig. Die Kanäle können unter der vorhandenen Stalldecke (also im Abteil) oder darüber (also im Dachraum) installiert werden. Eine Verlegung des Kanals im Dachraum sieht sehr elegant aus, jedoch kann eine unnötige Erwärmung der Zuluft im Sommer dagegen sprechen. Bei einer Verlegung über der Stalldecke wird die Frischluft entweder über spezielle Deckenelemente zentral (mit vierseitiger Ausströmung) oder über spezielle Einzelelemente (in Reihe angeordnet) in den Raum geführt.

Frischluftelemente, seitlich im Kanal angebracht, erzeugen ein gleichmäßiges Strömungsbild. Da die Pendelklappen üblicherweise nach unten pendelnd aufgehängt sind, ist beim Einbau der Elemente darauf zu achten, dass sie möglichst direkt unter die Stalldecke positioniert werden. Auch wenn der Einbau in der Kanalmitte optisch gefälliger ist, kann man den Coanda-Effekt nur auf diese Weise nutzen und der Zugluftgefahr begegnen.

Einige Hersteller empfehlen beim Kanaleinbau die stellmotorische Einstellung des Klappenwinkels der Frischluftelemente. Bei einem entsprechenden Steuergerät ist dies durch einen Stellmotor je nach Luftdurchsatz bzw. Ventilatorstufe möglich, allerdings müssen der Mechanismus gelegentlich überprüft und höhere Anschaffungskosten berücksichtigt werden.

Die *Planungsgrößen* bei der Verwendung von Kanalelementen sind identisch mit denen beim Wandeinbau. Es ist allerdings besonders darauf hinzuweisen, dass die minimale Einströmgeschwindigkeit in das Abteil von 1,0 m/s im Winter bei Einzelelementen oftmals nur durch Verschließen jedes zweiten oder dritten Zuluftelementes erreicht wird. Eine gelegentliche Anpassung der Anzahl verschlossener Elemente kann in den Übergangsphasen zur Vermeidung von Zugluft notwendig sein.

Wie bei den anderen Strahl­lüftungssystemen treten auch beim Kanaleinbau der Elemente gelegentlich Zugluftprobleme im Stall auf. Nur in Abteilen für weniger empfindliche Tiere (Sauen und ältere Mast­schweine) und bei regelmäßiger Kontrolle und Wartung der Pendelmechanismen kann das System empfohlen werden.

4.2.2 Rieselkanallüftung

Aus den Frischluftkanälen mit seitlichen Zuluft­elementen haben sich die Rieselkanallüftungen entwickelt. Nachdem sich Folienschläuche in der Praxis nicht bewährt haben, werden zunehmend reinigungsfähige, perforierte Lochplatten aus wärmedämmendem Material eingesetzt. Der Kanalboden ist durch die feine Perforation luftdurchlässig. Dadurch handelt es sich nicht mehr um einen großen Luftstrahl mit deutlicher Impulswirkung auf die Raumluft, sondern um viele kleine Luftstrahlen, von denen keine Zugluft­gefahr mehr ausgeht (Bild 7).



Bild 7: *Die Frischluft tritt bei Einhaltung der Planungsdaten gleichmäßig aus dem perforierten Kanalboden aus*

Die Luftdurchlässigkeit der perforierten Materialien ist natürlich druckabhängig. Detaillierte Informationen zum druckabhängigen Luftdurchsatz je Quadratmeter Kanalboden liegen jedoch nur von wenigen Materialien vor. Die angebotenen perforierten Materialien sind recht unterschiedlich zum Einbau in Ställen geeignet. Das Material sollte zur leichten Handhabung bei der Reinigung möglichst fest und leicht aus- bzw. einzubauen sein. Ein Tragrahmen aus Holz kann die Reinigungsarbeiten bei textilen Materialien erheblich erleichtern. Besonders bei organischen Materialien sollte man vor der Kaufentscheidung prüfen, ob sie im

Stallmilieu beständig sind und sich reinigen lassen. Kommt es zu einer Durchnässung mit Kondensat oder Reinigungswasser, kann der Stallstaub das Material stark angreifen und die Lochung verkleben.

Diese *Planungsdaten* sollten Sie beachten:

- Um einen gleichmäßigen Luftaustritt zu gewährleisten, sollten die Luftgeschwindigkeiten im Kanal nicht mehr als 2,0 m/s betragen;
- Die Kanallänge ist bei einseitiger Einspeisung auf 12-15 m begrenzt;
- Die Mindestfläche an perforiertem Kanalboden ist vom verwendeten Material bzw. von dessen Luftdurchlässigkeit abhängig; sie muss daher beim Hersteller erfragt werden.

Als Verdrängungslüftung mit geringer Impulswirkung geht von der Rieselkanallüftung kaum Zugluftgefahr aus. Das System ist daher auch für empfindliche Tiere und niedrige Stallabteile geeignet. Eine gelegentliche Reinigung des Kanalbodens ist je nach Staubanfall notwendig.

4.2.3 Porendeckenlüftungen

Steigt der Anteil des perforierten Kanalbodens auf über 50 % der gesamten Stalldecke an, sollte man von einer „Porendeckenlüftung“ sprechen. Auch bei diesem System strömt, bei Einhaltung der Planungsdaten, die Frischluft langsam und gleichmäßig in den Stall. Eine typische Luftwalze entwickelt sich dabei nicht (Bild 8). Die Perforation der Porendecken ist in der Regel noch feiner als bei Rieselkanalböden.

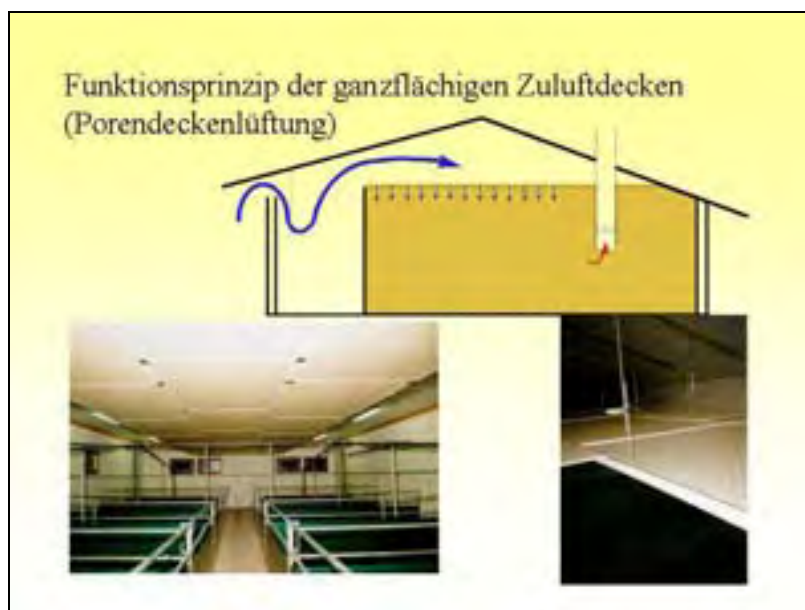


Bild 8: Bei der Porendeckenlüftung strömt die Zuluft gleichmäßig, breitflächig in den Tierbereich

Auch für die Zuluftdecken gelten die oben genannten Anforderungen an die perforierten Materialien. Nur beim Einsatz von Mineral- oder Glaswolle-Auflagen als „Staubfilter“ kann auf eine regelmäßige Reinigung der Decke verzichtet werden. Es ist jedoch in diesem Fall zu beachten, dass sich bei ausgeschalteter Lüftung die Strömungsrichtung umkehren kann. In die Zuluftdecke gelangt dann wasserdampfbeladene Stallluft aus dem Abteil. Kondensat verklebt den Staub in den kleinen Poren der Zuluftdecke. Ohne Reinigung werden die Zuluftdecken unter diesen Umständen immer undurchlässiger bzw. steigt der Strömungswiderstand für die Gewährleistung der Sommerluftrate von Jahr zu Jahr an.

Den Bereich zwischen Zuluftdecke und eigentlicher Abteildecke nennt man den Druckraum. Wie der Name bereits andeutet, hat der Druckraum drucktechnische Aufgaben. Kann der Dachraum nicht als Druckraum genutzt werden, sollte dieser min. 50 cm hoch sein, damit die Zuluft gleichmäßig in das Abteil einströmt. Die Einströmgeschwindigkeit der Frischluft in den Druckraum sollte möglichst klein (max. 2,0 m/s) sein, damit sich ein gleichmäßiger Druck auf die Zuluftdecke auch im Bereich der Versorgungsöffnung ausbreiten kann. Darüber hinaus muss der Druckraum nach außen hin wärmegeämmt sein, um eine Zulufterwärmung im Sommer zu verhindern.

Die Porendeckenlüftung wird i.d.R. zuluftseitig nicht gesteuert; die Luftmenge wird abluftseitig eingestellt. Die Raumströmung bei der Porendeckenlüftung ist in der Sommer- und Wintersituation nahezu gleich. Die Zuluft strömt mit so geringem Impuls in das Abteil, dass sich Thermik durch Wärmequellen ganz deutlich bemerkbar macht.

Eine Besonderheit bei der Porendeckenlüftung ist im Gegensatz zu allen anderen Zuluftsystemen bemerkenswert. Die Wärmeverluste über die Stalldecke werden bei diesem System nicht in der Wärmebilanz berücksichtigt. Dies ist durch die wärmerückgewinnende Wirkung des perforierten Materials zu erklären, durch die ständig Zuluft in den Raum strömt. Ist die Perforation jedoch sehr groß und das Deckenmaterial sehr dünn, wie z.B. bei Lochfolien, kann Stallluft durch die Zuluftdecke in den Druckraum gelangen. In diesem Fall gehen große Wärmemengen kurzzeitig über den Druckraum verloren; die Zuluftdecke verliert dann ihre wärmerückgewinnende Wirkung.

Diese *Planungsgrößen* sollten Sie beachten:

- die Luftdurchlässigkeit des Materials (nach Herstellerangaben);
- Entweder müssen sich die Flächenelemente reinigen lassen, oder die Zuluftdecke muss mit einem Filterfließ abgedeckt werden;
- der Druckraum sollte min. 50 cm hoch sein;
- bei der Einströmung in den Druckraum sind Geschwindigkeiten über 2,0 m/s zu vermeiden.

Die Porendeckenlüftung ist aufgrund der impulsfreien Einströmung der Zuluft in den Stall auch für sehr niedrige Abteile und zugluftempfindliche Tiere geeignet. Sie ist nur bei sachgerechter Ausführung nicht anfällig gegen Verschmutzung und gewährleistet auch nur dann eine langjährige Wärmeabfuhr im Sommer.

4.2.4 Kombinierte Systeme

Grundsätzlich ist natürlich jegliche Kombination der Bauteile verschiedener Zuluftsysteme möglich. Kombinierte Systeme sind „Einzellösungen“ immer dann überlegen, wenn sie die speziellen Vorteile beider Systeme in sich vereinigen. An dieser Stelle sollen nur zwei praxisbewährte kombinierte Systeme angesprochen werden:

- Zuluftkanäle mit perforiertem Boden und seitlichen Zuluftelementen,
- Futterganglüftung.

Zuluftkanälen mit perforiertem Boden und seitlichen Zuluftelementen

Bei der Verwendung von Zuluftkanälen mit perforiertem Boden und seitlichen Zuluftelementen nutzt man die Vorteile der impulsarmen Einströmung im Winter und die Vorteile der Strahllüftung (gute Raumdurchspülung) im Sommer (Bild 9). Entsprechend der Luftmenge wird das System über die Öffnung der Einzelemente im Sommer und Winter unterschiedlich gesteuert. Bei niedrigen Volumenströmen im Winter oder in der Übergangszeit müssen die Einzelemente verschlossen bleiben.

Bei der Ausführung dieser Kombinationslösung müssen spezielle *Planungsdaten* berücksichtigt werden. Man geht planerisch davon aus, dass üblicherweise 30 % der Sommerluft über die Strahllüftung und 70 % über den Rieselkanal abgedeckt werden. Dies kann gewährleistet werden, wenn bei hoher Lüftungsintensität die Zuluftelemente über Stellmotoren vom Klimacomputer geöffnet werden.

Rieselkanal mit seitlichen Zuluftelementen

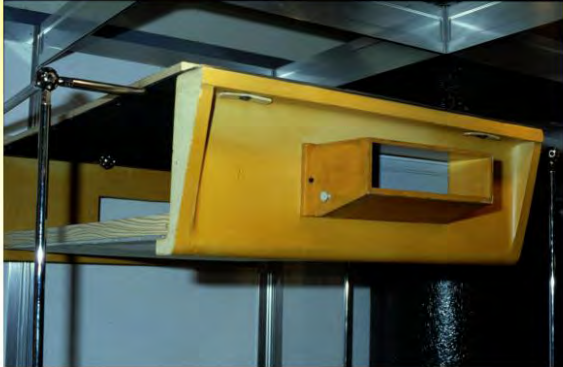


Bild 9: *Die Kombination von Rieselkanälen mit seitlichen Zuluftelementen vereinigt die Vorteile beider Systeme; allerdings steigt der Investitionsbedarf*

Die Eignung dieser Kombinationslösung kann für alle Haltungsabschnitte als sehr hoch angesehen werden.

Futterganglüftung

Strömungstechnisch ist die Futterganglüftung eine Kombination aus Strahllüftung im Sommer und Quell- oder Verdrängungslüftung im Winter. Aufgrund ihrer Einfachheit wird die Futterganglüftung in kleinen Abteilen häufig eingesetzt und soll hier als eigenständiges Zuluftsystem angesprochen werden.

Die Raumströmung bei der Futterganglüftung unterscheidet sich zwischen der Sommer- und Wintersituation ganz erheblich (Bild 10). Unter Sommerbedingungen erzeugt die Zuluft bei Einströmgeschwindigkeiten von 2,5 m/s mit erheblichem Impuls eine Raumwalze. Im Winter strömt sie dagegen bei gleichen Zuluftquerschnitten aber wesentlich niedrigerem Abluftvolumenstrom nur sehr langsam in den Gang, speist dort einen "Kaltluftsee", der langsam, wie "Schaum beim Bierglas" über die geschlossenen Buchtentrennwände in die Buchten strömt.

Oftmals wird fälschlicherweise die Einströmgeschwindigkeit bei der Futterganglüftung im Winter durch den Schieber in der Türe gesteuert. Dieser Schieber hat jedoch lediglich die

Funktion, das Ansaugen von Falschluff zu verhindern, wenn das Stallabteil leer steht. Einige Landwirte setzen nur noch einen oder zwei Schieber für den ganzen Kammstall ein, um lediglich die Türöffnungen von momentan leerstehenden Abteilen zu verschließen.

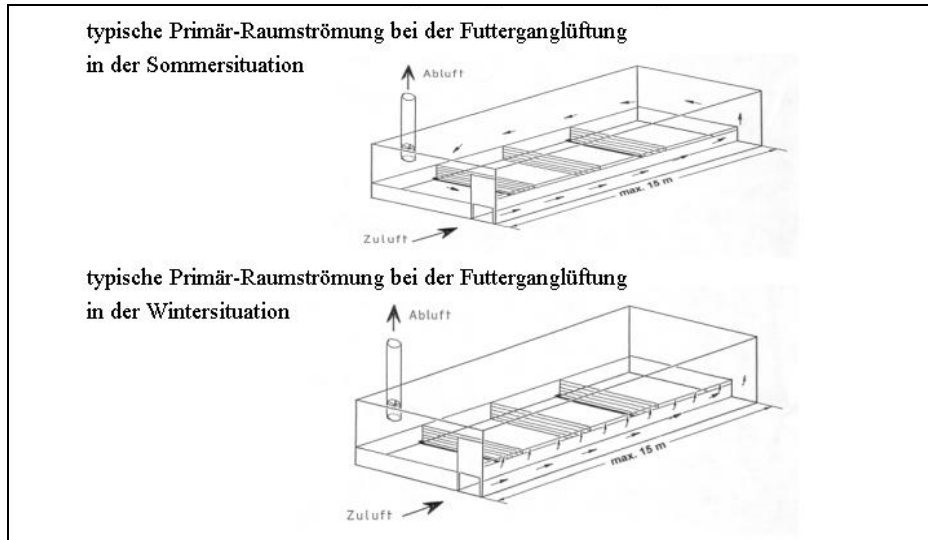


Bild 10: Typische Raumströmung bei der Futterganglüftung

Diese *Planungsgrößen* sollten Sie bei der Futterganglüftung beachten:

- maximale Einströmgeschwindigkeit im Sommer von 2,5 m/s;
- Einströmgeschwindigkeit im Winter möglichst niedrig; der Schieber in der Türe sollte die Einströmöffnung nicht verengen;
- maximale Abteillänge 15 m;
- Buchtentrennwände müssen zum Kontrollgang bis zur Höhe der Einströmöffnung geschlossen sein.

Leider ist die Futterganglüftung nur in kleinen Stallabteilen anwendbar, weil die Sommerlufrate bei großen Tierzahlen nicht mehr mit entsprechend niedriger Einströmgeschwindigkeit durch die Türöffnung zu erreichen ist. Breitere Türen und Kontrollgänge würden das Gebäude unnötig verteuern. Es ist durchaus möglich, die Zuluft auch unterflurseitig in den Kontrollgang einzuspeisen bzw. in das Abteil einzuleiten. Hierzu wird meist der übliche Spaltenboden verwendet. Im Unterflur-Zuluftkanal kann dann auch eine Heizung oder Kühlmöglichkeit installiert werden. Diese Art der Zuluftführung ist allerdings mit erheblichen Mehrkosten im Vergleich zur oberflurseitigen Lösung verbunden.

Die Futtergangelüftung eignet sich in beiden Varianten in kleinen Abteilen für alle Haltungsabschnitte in der Schweinehaltung.

4.3 Abluftsysteme

Grundsätzlich unterscheidet man bezüglich der Abluftführung zwischen oberflurseitiger- und unterflurseitiger Absaugung.

Oberflurabsaugung

Die übliche Art der Abluftführung ist die Oberflurabsaugung. Die Ventilatoren befinden sich i.d.R. im Bereich der Stalldecke. Sie saugen die Raumluft unmittelbar in den Abluftkamin und fördern sie direkt ins Freie. Der Einfluss der Abluftventilatoren auf die Raumströmung und insbesondere auf die Zugluftgefahr für die Tiere wird häufig überschätzt. Wie aus Bild 11 zu erkennen ist, steigt die Ansauggeschwindigkeit erst direkt vor dem Abluftpunkt auf die spätere Geschwindigkeit im Kanal an. In einer Entfernung von einem Kanaldurchmesser beträgt die Ansauggeschwindigkeit nur etwa sieben Prozent der späteren Kanalgeschwindigkeit.

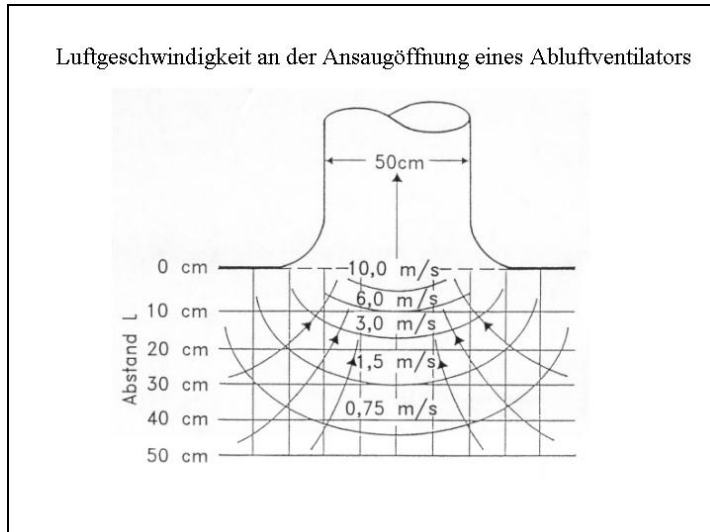


Bild 11: Die Ansauggeschwindigkeit der Abluft steigt erst unmittelbar vor dem Abluftkamin auf die Kanalgeschwindigkeit (hier 10 m/s) an

Auch der häufig befürchtete Luftkurzschluss zwischen Zu- und Abluft kommt sehr viel seltener vor als erwartet. Wenn nicht unmittelbar der Zuluftstrahl in den Abluftpunkt mündet, ist der direkte Weg der Zu- in die Abluft ausgeschlossen. Bildet sich eine Luftwalze im Raum, strömen nur geringe Anteile der Zuluft direkt in den Abluftventilator, ohne sich mindestens

einmal mit der Luftwalze zu drehen. Bei der Positionierung der Abluftpunkte ist daher die Vermeidung von Luftkurzschlüssen zweitrangig. Es hat sich bewährt, die Ventilatoren in Raummitte zu positionieren, um eine möglichst gleichmäßige Absaugung des gesamten Raumes zu erreichen.

Um das Regelverhältnis zwischen Sommer- und Winterluftfrate einzustellen, muss es notwendig sein, im Winter einzelne Abluftventilatoren abzuschalten oder mit Hilfe eines Sperrschiebers den freien Abluftquerschnitt zu verengen. Das Regelverhältnis zwischen Sommer- und Winterluftfrate kann z. B. bei Rein-Raus-Belegung der Abteile in der Schweinemast bis zu 20:1 betragen, was mit einem einzelnen Ventilator mit Drehzahlsteuerung nicht einstellbar ist. Hierzu sind Stellklappen oder Schieber geeignet, die meist von Hand verstellt werden. Die Position des Sperrschiebers muss bei Handeinstellung so gewählt werden, dass diese Funktion leicht erfüllbar ist.

Bei der Festlegung der Anzahl der Absaugpunkte besteht zwischen strömungstechnischen und ökonomischen Interessen ein Zielkonflikt. Eine breitflächige Absaugung über viele Ansaugpunkte gewährleistet eine gleichmäßige Abfuhr der Schadgase; allerdings erhöhen zahlreiche Ventilatoren die Investitions- und Betriebskosten. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die Einstellbarkeit der Winterluftfrate. Es kann durchaus sinnvoll sein, in einem kleinen Abteil zwei Ventilatoren mit einem Durchmesser von 35 cm einzusetzen statt einem mit 50 cm, wenn im Winter die Minimalluftfrate neben der üblichen Drehzahlregelung durch Abschalten einer der beiden Ventilatoren nochmals halbiert werden kann.

Besondere Aufmerksamkeit ist der regelmäßigen Reinigung der Ablufteinheiten (Ventilatoren und ggs. Kanäle) zu schenken. Je größer die Staubbelastung der Stallluft ist, um so häufiger müssen Ablagerungen beseitigt werden. Dabei sind die wirkungsvolleren und hartnäckigeren Verschmutzungen meist nicht auf den Ventilatorblättern, sondern auf den Schutzgittern. Häufig sind Schutzgitter überhaupt nicht notwendig, wenn sich die Ventilatoren außerhalb des Zugriffsbereiches befinden.

Unterflursysteme

Bei der Unterflurabsaugung wird die Luft nicht unterhalb der Stalldecke, sondern unter dem perforierten (!) Boden abgesaugt. Hierdurch sollen die Schadgase aus dem Flüssigmist nicht in den Tierbereich gelangen, sondern direkt "am Ort der Entstehung" abgesaugt werden. Um

hohe Schadgasemissionen zu vermeiden, sollten die Luftgeschwindigkeiten direkt über dem Flüssigmist möglichst niedrig sein. Dies erreicht man einerseits durch tiefe Flüssigmistkanäle und eine breitflächige Ansaugung mit niedriger Geschwindigkeit. Luftsammelkanäle unter dem Kontrollgang mit zahlreichen seitlichen Ansaugöffnungen sind in diesem Zusammenhang als besonders vorteilhaft anzusehen. Durch Klappen mit Stellmotoren vor jedem Stichkanal kann der Luftvolumenstrom jedes Abteils eingestellt und über einen zentralen Abluftschacht ins Freie geblasen werden.

Die Luftströmung im Tierbereich wird vorrangig vom Zuluftsystem beeinflusst. Durch die Unterflurabsaugung wird jedoch breitflächig Abluft durch den Spaltenboden abgesaugt (Bild 12). Der Schadgasgehalt der Stallluft ist hierdurch deutlich reduziert. Die Emissionen sind nicht erhöht, wenn auch im laufenden Betrieb immer ein Abstand zwischen Flüssigmist und Spaltenboden von min. 50 cm eingehalten wird !

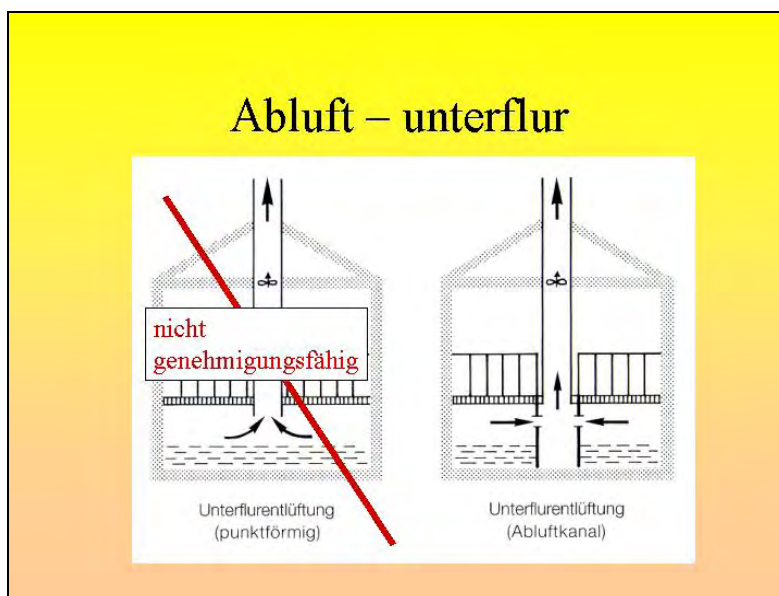


Bild 12: Bei der Unterflurabsaugung mit Sammelkanälen wird über zahlreiche Öffnungen breitflächig und mit niedriger Geschwindigkeit Raumluft abgesaugt

Durch die zentrale Unterflurabsaugung ist die Luftqualität im Tierbereich nachweislich besser. Der bauliche Aufwand ist bei der Unterflurabsaugung mit tiefen Kanälen jedoch deutlich höher. Ein besonderer Nachteil der Unterflurabsaugung ist die mangelnde Luftversorgung beim Stromausfall. Auch bei teilflächig perforiertem Boden ist im Sommer keine Zugluftgefahr für die Tiere zu befürchten.

4.4 Ventilatoren und wichtige Kennwerte (z. B. Energiekonsum)

In der Landwirtschaft werden nahezu ausschließlich Niederdruck-Axialventilatoren eingesetzt, weil sie sich durch folgende Merkmale auszeichnen:

- lange Lebensdauer bei hoher Betriebssicherheit,
- gute Regelbarkeit,
- guter Wirkungsgrad (Energieaufwand bezogen auf den Luftdurchsatz).

Der Energieaufwand für die Lüftung wird bei der Diskussion um die Gesamtkostenanteile oft überschätzt; allerdings bestehen zwischen den Regelgeräten und Ventilatoren erhebliche Unterschiede, die sich monetär bei Langzeitbetrachtungen sehr wohl bemerkbar machen. Der energetische Wirkungsgrad der Lüftungsanlage lässt sich folgendermaßen beschreiben:

- Drehstrom-Anlagen (400 Volt) sind günstiger als Wechselstrom-Anlagen (230 Volt);
- Große Ventilator Durchmesser sind günstiger als kleine;
- Innerhalb der Wechselstrom-Anlagen gilt folgende energetische Rangierung:
 - a) EC-Spezialventilator (ist energetisch günstiger als)
 - b) Spezialventilator mit Frequenzumrichter (ist energetisch günstiger als)
 - c) Standardventilator mit Trafo-Ansteuerung (ist energetisch günstiger als)
 - d) Standardventilator mit Phasenanschnitt-Steuerung.

Der Einsatz von EC-Energiesparventilatoren wird nach nun mehrjähriger Erfahrung nicht mehr kontrovers diskutiert. Langzeitmessungen haben deutliche Ergebnisse erbracht. Hinsichtlich der konsumierten Elektroenergie lagen die Einsparungen dieser Energiesparventilatoren im Durchschnitt bei über 50 % gegenüber Standardventilatoren mit Phasenanschnitt-Steuerung. Berücksichtigt man die höheren Anschaffungskosten ergibt sich lediglich ein Zeitraum von drei Jahren, ab dem sich die Anschaffung wirtschaftlich rechnet! Kaum eine Anschaffung bei der Lüftungstechnik ist derzeit so wirtschaftlich wie diese Ventilatorentechnik.

Der Unterschied im Energiekonsum liegt in der veränderten Antriebstechnik zum Standard-Axialventilator. Bild 13 zeigt den Effekt graphisch. Bei Vollast ist die Leistungsaufnahme zwischen Standard- und Energiesparventilator bei gleichem Durchmesser in etwa gleich. Im abgeregelten Bereich, also in den Lüfterstufen unterhalb der Nennspannung, macht der Energiesparventilator seinem Namen alle Ehre.

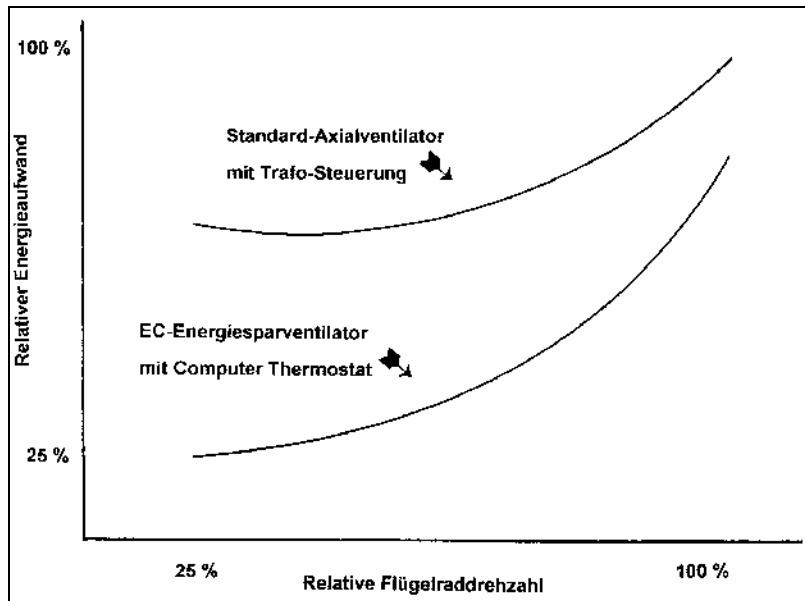


Bild 13: Energieaufwand für den geförderten Luftvolumenstrom bei einem Standard-Axialventilator und einem Etavent-Energiesparventilator (Prüfstanddaten diverser DLG Prüfungen)

Die in Stallanlagen eingesetzten Niederdruck Axialventilatoren sind nicht sehr druckstabil. In einem typischen Druck-Volumenstrom-Diagramm haben die Kennlinien einen ähnlichen Verlauf. Schon bei einem leichten Anstieg des Strömungswiderstandes ist der Luftdurchsatz erheblich vermindert. In Kapitel 3 und auf Bild 3 wurde bereits auf den hier beschriebenen Zusammenhang und den Bezug zu den Stromkosten sowie den positiven Wirkungen einer strömungstechnisch günstigen Gestaltung der Luftkanäle hingewiesen. Drucktechnisch müssen die eingesetzten Ventilatoren daher gut zur geplanten Stallanlage passen.

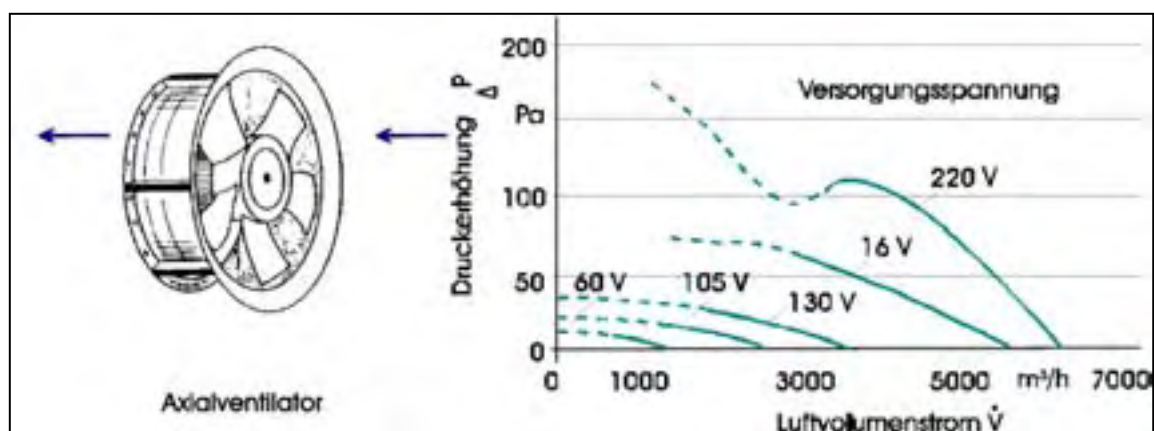


Bild 14: Kennlinien eines typischen Niederdruck-Axialventilators im Druck-Volumenstrom Diagramm (Prüfstanddaten der DLG Prüfung)

Der zu erwartende Strömungswiderstand einer Lüftungsanlage setzt sich aus den durch Rohrreibung und den durch Einzelbauteile verursachten Widerständen zusammen. Üblicherweise wird bei zwangsbelüfteten Stallanlagen mit einem Strömungswiderstand von 50 Pascal gerechnet, der von den Ventilatoren überwunden werden muss.

4.5 Heizung

Nach der Bilanzierung der Wärmeströme nach DIN 18 910 (s. Kapitel 3) besteht auch in konventionellen Warmställen mit Zwangslüftung in den Abferkelabteilen, in Ferkelaufzucht-abteilen und zu Beginn der Mastphase trotz guter Wärmedämmung in der Regel ein Wärme-Defizit. Die Vielfalt der technischen Möglichkeiten erschwert eine systematische Zusammenstellung und Einordnung der verschiedenen, in der Schweinehaltung eingesetzten Heizungs-verfahren. Die Tabellen 5 und 6 versuchen einen Überblick zu geben. Dabei wird unterschieden, welche Energiequelle auf der Stallebene zum Einsatz kommt, wie die Wärme bis zum Abteil gelangt und auf welchem physikalischen Prinzip die Hauptwirkung für die Tiere beruht. Je nach Funktion der Heizung ist zwischen folgenden Ausführungsvarianten zu unterscheiden:

- Zentrale Vorraumheizung (oder auch im Zentralgang platziert) zur Vorerwärmung der Luft und zur Gewährleistung der Frostsicherheit in zentralen Bereichen
- Abteilheizungen zur Erwärmung der gesamten Stallluft im Abteil
- Liegebereichsheizungen (oder auch Zonenheizungen genannt), die eine Komfortwärme im Rückzugsbereich der Tiere gewährleisten sollen.

Tab. 5: Raum-Heizungsvarianten in Schweineställen auf Abteilebene

Energiequelle	Heizöl (Brenner) Erdgas (Brenner) Flüssiggas (Brenner) Abwärme (z.B. BHKW ¹)	Direkte Verbrennung von Gas <u>ohne</u> Abfuhr der Rückstände	Verbrennung von Gas oder Heizöl <u>mit</u> Abfuhr der Rückstände
Transport und Verteilungsmedium	Warm-Wasser - Deltarohre - Eisenrohre - Heizkörper	Luft - Gaskanone - Gaskonvektor	Luft - Gebläsekonvektor - Warmluftgebläse
Vorrangiges Prinzip	Konvektion	Direkte Lufterwärmung (Enthalpieerhöhung)	

¹⁾ Blockheizkraftwerk auf der Basis von Biogas, Heizöl, Rapsöl,...

Tab 6: Zonen-Heizungsvarianten in Schweineställen im Liegebereich der Tiere

Energiequelle	Heizöl (Brenner) Erdgas (Brenner) Flüssiggas (Brenner) Abwärme (z.B. BHKW ¹)	Strom	Strom - Infrarotstrahler Gas - Gasstrahler - Dunkelstrahler
Transport und Verteilungsmedium	Warm-Wasser --> Fußboden	Strom --> Fußboden	Strahlung
Vorrangiges Prinzip	Konduktion (Wärmeleitung)		Radiation (Wärmestrahlung)

¹⁾ Blockheizkraftwerk auf der Basis von Biogas, Heizöl, Rapsöl,...

Bei der Bewertung von Heizungsanlagen spielen die Anschaffungs- und Betriebskosten eine wichtige Rolle. Neben den klassischen Raumheizungssystemen wird bei der Ferkelaufzucht zunehmend die Fußbodenheizung im Liegebereich der Ferkel eingesetzt. Folgende Argumente werden für diese Verfahren in der Literatur genannt:

- ✓ Mit zunehmender zeitlicher Auslastung der Heiztechnik und größer werdenden Tierbeständen gewinnen Zonenheizungsverfahren auf Warm-Wasser-Basis an ökonomischer Vorzüglichkeit. Auch die Nutzungsmöglichkeit von Abwärme, z. B. von Blockheizkraftwerken (BHKW), ist bei steigenden Energiepreisen und den Netz-Einspeisungsvergütungen für die Landwirtschaft ein wichtiges Argument für die Warm-Wasser-Heiztechniken.
- ✓ Durch eine Strukturierung der Bucht, kann die (Komfort-)Wärme speziell im Liegebereich angeboten werden, wobei die Raumtemperatur gesenkt wird. Die Luftqualität (Schadgasgehalt) ist hierdurch verbessert. Voraussetzung für ein homogenes Wachstum der Tiergruppe ist eine ausreichende Bemessung der Liegefläche und eine homogene Wärmeverteilung. Um das Wärmeangebot bedarfsgerecht zu steuern, können Liegeflächentemperaturkurven abefahren werden. Eine übermäßige Wärmeabgabe (Strahlung und Konvektion) in den Raum kann wirksam durch Abdeckungen über den Liegeflächen vermieden werden.

Die konkreten **Heizungskosten** hängen sehr stark von der jeweiligen Betriebsweise (Einstellungsvorgaben und Anlagensteuerung) ab.

Das erschwert Betriebsvergleiche bei sonst gleicher technischer Ausstattung. Ob genügend Wärme zur Verfügung steht, zeigen die Schweine durch ihr Liegeverhalten deutlich an. Bei Temperaturen unterhalb des Behaglichkeitsfeldes „kauern“ sich die Tiere eng zusammen oder liegen zum Teil aufeinander. Bei Wärme-Übersorgung liegen die Tiere einzeln in Seitenlage und oft außerhalb der Wärmequelle. Bei den regelmäßigen Kontrollgängen ist es daher Aufgabe des Tierhalters, abhängig vom Liegeverhalten die Feineinstellungen am Steuergerät der Heizung anzupassen.

4.6 Regelung / Alarmanlagen

Regelgeräte sind neben den Ventilatoren, den Luftleit- und Luftverteilereinrichtungen wichtige Bestandteile von Stalllüftungsanlagen. Sie haben unmittelbaren Einfluss auf die Funktion der Anlage. Regelgeräte müssen zu den anderen Teilen des Regelkreises passen und aufeinander abgestimmt sein. Kenntnisse über die Regelgeräte und deren Zusammenwirken mit den Ventilatoren und Lüftungsteilen sind unbedingt erforderlich.

Thermostate

Thermostate werden in mechanischer und elektronischer Wirkungsweise angeboten. Die mechanisch wirkenden Thermostate gibt es in ein- oder mehrstufiger Bauweise. Einstufige Thermostate schalten nur „Ein“ oder „Aus“. Mehrstufige Thermostate werden in Verbindung mit transformatorischen Drehzahlreglern eingesetzt und legen eine der Temperatur am Fühler zugeordnete Spannungsstufe des Transformators an den Ventilatormotor. Steigt z.B. die Temperatur im Stall, wird am Transformator eine höhere Spannung abgegriffen, der Ventilator läuft (in der nächst höheren Stufe) schneller und die Luftleistung wird größer.

Transformatorische Drehzahlregler

Transformatorische Drehzahlregler gelten als sichere und zuverlässige Regelgeräte. In Verbindung mit elektronischen Thermostaten sind sie zur Regelung der Stalllüftung bestens geeignet. Der transformatorische Wechselstrom-Drehzahlregler ist einfach aufgebaut. Er besteht aus

- einem Gehäuse aus Kunststoff oder Metall
- einem Transformator, in der Regel ein Spartransformator, mit fünf oder mehr Spannungsausgängen,
- der sekundärseitigen Absicherung jeder Spannungsstufe des Transformators mit Geräteschutz-Automaten und
- den Schalt- und Anzeigeelementen.

Drehzahlregler für Drehstrom sind aufwendiger in der Bauweise und wesentlich teurer. Für den Einsatz in Regelkreisen von Lüftungsanlagen kleinerer Stalleinheiten sind sie daher nur bedingt zu empfehlen.

Die Spannungen am Ausgang des Transformators, bzw. die Spannungsabstände von Stufe zu Stufe, sollten auf die Charakteristik der Regelkennlinie des Ventilators abgestimmt sein. Die Spannung der niedrigsten Stufe beträgt bei den Wechselstromreglern meist etwa 80 V und bei den Drehstromreglern etwa 100 V.

Bei der Drehzahlregelung durch Spannungsänderung ist die bei verminderter Spannung erhöhte Stromaufnahme der Ventilatoren zu berücksichtigen. Die höchste Stromaufnahme ist für die Belastung des Transformators maßgebend. Ein transformatorisches Regelgerät mit einer maximal zulässigen Strombelastung von beispielsweise 6 A darf nicht mit Ventilatoren belastet werden, die zwar bei Nennspannung 6 A Stromaufnahme nicht überschreiten, bei verminderter Spannung aber 7 A oder gar 8 A aufnehmen. Energieverluste treten beim transformatorischen Drehzahlregler hauptsächlich durch Verluste am Transformator auf. Sie liegen bei dessen Auslastung etwa im Bereich zwischen 2 % (bei Nennspannung) und 15 % (bei Mindestspannung) der übertragenen Leistung.

Elektronische Drehzahlregler

Elektronisch arbeitende Wechsel- und Drehstrom-Drehzahlregler nach dem Phasenanschnittverfahren werden oft in Stalllüftungsanlagen eingesetzt. Bei elektronischen Drehzahlreglern wird ebenso wie bei den transformatorischen Reglern die elektrische Spannung in Abhängigkeit von der Temperatur am Fühler geregelt. Je nach eingestelltem Temperatur-Sollwert wird vom Thyristor - dem Herz des elektronischen Drehzahlreglers - nur ein mehr oder weniger großer Anteil der sinusförmigen Wechselspannung im positiven und negativen Bereich der Halbwelle durchgelassen. Auf den Sollwert zurückgehende Temperatur im Stall führt zu niedrigerer Spannung am Ausgang des Regelgerätes und damit zu niedrigerer Drehzahl und niedrigerer Luftleistung des Ventilators.

Die Betriebssicherheit kann heute durch den Einsatz robuster Elektronikbauteile als gut eingestuft werden. Gegen kurzzeitige Überspannungen werden entsprechende Vorkehrungen getroffen. Ein eingebauter Feinschutz ist Standard, der Überspannungen bis 4000 V auf einen für das Gerät ungefährlichen Wert absenkt. Eine vorschriftsmäßige Funkentstörung muss vom Hersteller bestätigt sein.

Die Energieverluste der elektronischen Drehzahlregler sind relativ gering und liegen im Bereich der transformatorischen Regelgeräte. Sie werden hauptsächlich durch die Erwärmung des Thyristors und durch die Drossel für die Funkentstörung sowie durch die Versorgung des Gerätes verursacht.

Nachteilig beim Einsatz von elektronischen Drehzahlreglern ist die höhere Strom- und Leistungsaufnahme der Ventilatoren. Die Motoren werden etwa 10 bis 20 Kelvin wärmer, wobei die Leistungsaufnahme um durchschnittlich etwa 10 bis 20 % über der bei transformatorischer Regelung liegt. Das kostet im Jahr bei einer mittleren Leistungsaufnahme der Ventilatoren von 700 W etwa 90,- bis 180,- €

Bei einer energetischen Bewertung müssen Steuergerät und Ventilator zusammen betrachtet werden. Wie schon im Kapitel 4.4 beschrieben, liegt bei einer abgestimmten Neuanschaffung und bei Vollkostenbewertungen derzeit die EC-Technik vor der Frequenzregelung gefolgt von der Trafo-Steuerung. Günstig bei der Anschaffung aber sehr ungünstig bei den Vollkosten ist eine Kombination aus Phasenanschnittsteuerung mit Standard-Ventilator.

Klimacomputer / digitale Prozesssteuerung

Bei näherer Betrachtung ähneln viele als Klimacomputer angebotene Geräte normalen temperaturgeführten Drehzahlreglern hinsichtlich Aufbau und Funktionsprinzip (Bild 15). Prozessrechnergesteuerte Stallklimacomputer können jedoch mehr! Sie sollen über Sensoren Messgrößen erfassen, auswerten und nach vorgegebenen Sollwerten die Lüftung “intelligenter” regeln. Hauptziel des Einsatzes von Klimacomputern ist es, durch weiterentwickelte Technik ein den Bedürfnissen der Tiere angepasstes Klima im Stall zu schaffen.

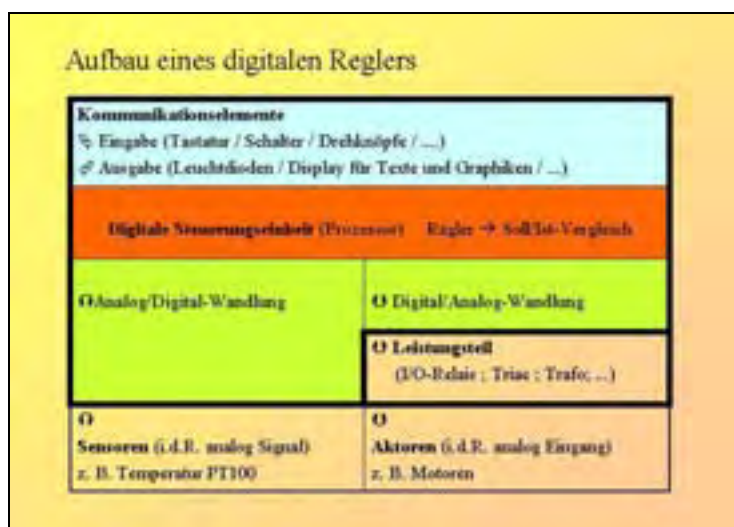


Bild 15: Funktionselemente und Datenfluss bei einem digitalen Klimacomputer

Klimacomputer sollen mindestens

- die Solltemperatur der Luft im Stall der Gewichtsentwicklung der Tiere nach Vorgabe anpassen,
- klimarelevante Daten, wie z.B. die relative Feuchte der Stallluft erfassen und berücksichtigen,
- die Stellung der Zuluftelemente entsprechend dem Volumenstrom regeln,
- den Verlauf der Außenlufttemperatur berücksichtigen und
- Messdaten speichern, die später abgerufen werden sollen.

Um die Möglichkeiten von echten Klimacomputern auszuschöpfen, bedarf es einer gut geplanten Lüftungsanlage. Fehlplanungen kann auch der beste Computer nicht wettmachen. Es sollte sehr kritisch Notwendiges, Nützliches, Angenehmes und Unwichtiges bei der Anschaffung von Regelgeräten - und dazu zählt auch der Klimacomputer - gegeneinander abgewogen werden.

Alarmanlagen sind in der Intensiv-Tierhaltung Pflicht. In der Schweinehaltungsverordnung vom Februar 1994 war festgelegt, dass für den Fall einer Betriebsstörung für ausreichende Frischluftzufuhr gesorgt sein muss. Ist ein Stall auf eine elektrisch betriebene Lüftung angewiesen, muss eine Alarmanlage vorhanden sein, die dem Tierhalter eine Betriebsstörung meldet. In gleichem Sinne werden in der DIN 18910 und vom Verband der Sachversicherer Festlegungen getroffen.

Es sind also unabdingbar Vorkehrungen zu treffen, die bei Störungen eine lebenserhaltende Grundversorgung der Tiere sicherstellen. Wird dies nicht getan, kann im Schadensfalle - beim Tod von Tieren - der Halter wegen Fahrlässigkeit zur Verantwortung gezogen werden. Gemäß der DIN VDE 0830 ist eine Alarmanlage eine "elektrische Anlage, die eine Abweichung vom Normalzustand, die auf eine bestimmte Gefahr hinweist, erkennt und meldet".

Die Alarmanlage besteht in ihrem Grundaufbau aus einem Basisgerät, das die elektrischen und elektronischen Bauteile, die Energieversorgung für die Alarmgebung (wartungsfreie wiederaufladbare Trockenbatterie), die Auf- und Erhaltungsladung für die Batterie, den Funktionstest sowie Einstell- und Kontrollelemente enthält. Mit dem Basisgerät können bei einigen Fabrikaten nur ein Stall, bei anderen auch mehrere Ställe überwacht werden. Verschiedentlich können auch Erweiterungsgeräte an das Basisgerät angeschlossen werden.

Die Alarmgebung erfolgt akustisch (Hupe) und evtl. zusätzlich optisch (Blitzleuchte). Bei entfernt liegenden Stallgebäuden muss die Alarmgebung über Telefon, in Ausnahmefällen über Funk erfolgen.

Unerlässlich ist die Überwachung der Temperatur der Luft im Stall und die Überwachung der Spannung zumindest der für die Lüftungsanlage relevanten Stromkreise. Zur Erfassung der Temperatur werden Widerstandsfühler oder mechanisch wirkende Thermostate eingesetzt. Bei Stromkreisen mit Dreiphasen-Wechselstrom muss jeder Außenleiter überwacht werden. Fehlerstrom- und Motorschutzschalter sollten mittels einer Alarmschleife in die Überwachung einbezogen werden. Eine weitgehende Eigenüberwachung ist bei modernen Alarmanlagen selbstverständlich. Meistens nicht in die Eigenüberwachung einbezogen sind die Übertragungswege zu den Signalgebern und die Signalgeber selbst. Hier muss der Betreiber für eine regelmäßige Kontrolle und Überprüfung sorgen.

Mit den meisten der heute angebotenen Alarmgeräte können die wichtigsten Störungen erfasst und gemeldet werden. Bei allen technischen Absicherungen sollte jedoch daran gedacht werden, dass die Verantwortung für die Tiere beim Tierhalter bleibt und durch den Einbau einer Alarmanlage nicht geringer wird.



Bild 16: Eine Vernetzung von Prozesscomputern macht ein herstellerübergreifendes BUS-System als Kommunikationsplattform notwendig

Neben den reinen Alarmmeldungen haben Überwachungsanlagen eine sehr wichtige Funktion bei der Datenübertragung wertvoller Informationen. Voraussetzung für einen breiten Einsatz

ist jedoch eine herstellerübergreifende Vernetzung der Anlagenkomponenten und eine Kompatibilität zu Internet-Schnittstellen (Bild 16). Durch ein Telefonwählgerät können dann Daten und Überwachungsmeldungen gezielt versandt werden. Es ergeben sich viele zusätzliche Möglichkeiten: von der gemeinsamen Nutzung von Betriebs- oder Prozessdaten bis hin zur Ferndiagnose von Anlagenkomponenten ohne den Besuch eines Servicetechnikers. Die sich hieraus ergebenden Möglichkeiten (Precision-Livestock-Farming) werden zukünftig im Rahmen von Qualitätsmanagement- und –sicherungssystemen zur Geltung kommen.

5 Verfahren der „freien Lüftung“ (Haidn; Müller)

Das Prinzip der freien Lüftung ist wesentlich älter als das der Zwangslüftung. In früheren Jahrhunderten wurden die Tiere entweder ganzjährig im Freien gehalten oder in im Vergleich zu heute sehr kleinen Ställen mit mehr oder weniger geeigneten Zu- und Abluftöffnungen. Mit zunehmender Intensivierung der Tierhaltung wurden die Ställe größer und die Tierbelegung höher. Heute werden ganze Stallkomplexe zur Gewährleistung der geforderten Stallklimaparameter mit Zwangslüftungseinrichtungen ausgerüstet. Da die freie Lüftung nicht unerhebliche Energieeinsparungen ermöglicht, wird sich zukünftig ihr Anwendungsumfang in der Schweinehaltung wieder erweitern. Außerdem bringt die freie Lüftung eine nicht unwesentliche Reduzierung der Lärmbelastung und die im allgemeinen geringere Luftbewegung im Stall führt zu einer Verringerung der Staubbelastung in der Stallluft. In Bezug auf das Immissionsgeschehen können durch bodennahe Fortluftführung Probleme mit Gerüchen auftreten. Andererseits kann diese Luftführung Vorteile haben, wenn bestimmte Stoffe (z. B. Stäube, Ammoniak) im unmittelbaren Stallbereich abgeschieden werden.

Während die freie Lüftung überwiegend in der Rinderhaltung angewendet wird und in der Geflügelhaltung gut funktionierende Systeme zum Einsatz kommen, ist die Bedeutung in der Schweinehaltung bisher noch relativ gering. Erst mit der zunehmenden Verbreitung von Außenklimaställen für Schweine (z. B. Kistenstall) findet sie wieder mehr Beachtung. Neben den Verfahren der Zwangslüftung und freien Lüftung gibt es kombinierte Lüftungssysteme. Bei der sogenannten „Unterstützungslüftung“ wird der Luftaustausch bei unzureichender Windgeschwindigkeit und Temperaturdifferenz durch zugeschaltete Ventilatoren gewährleistet.

5.1 Wirkungsweise und physikalische Grundlagen

Bei der freien Lüftung werden thermischer Auftrieb und Wind zur Lüftung des Stallgebäudes genutzt. Meist sind die Stalltemperaturen höher als die Außentemperaturen und Windstille tritt nur selten auf. So wirken Thermik und Wind gleichzeitig. Kritische Ausnahmen bilden die Temperaturspitzen im Sommer, bei denen sich Stall- und Außentemperaturen angleichen und der thermische Auftrieb gegen Null geht sowie Inversionswetterlagen, bei denen die Windgeschwindigkeit nahezu Null ist.

Der Thermische Auftrieb resultiert aus der Temperaturdifferenz zwischen Stall- und Außenluft und den damit verbundenen Dichteunterschieden. Da die Stalllufttemperatur in der Regel höher ist als die Außenlufttemperatur, entsteht unterhalb der „Neutralen Zone“ ein Unterdruck und darüber ein Überdruck am Gebäude (Bild 17). Infolgedessen strömt Außenluft im unteren Bereich in den Stall hinein und im oberen Bereich wieder nach außen. Die Druckdifferenz (Δp_{th}) ist der Dichtedifferenz ($\Delta\rho$) (bzw. der Temperaturdifferenz) und dem Höhenunterschied H_A zwischen Zu- und Fortluftöffnung direkt proportional und lässt sich vereinfacht nach Gleichung 3 darstellen:

$$\Delta p_{th} = g \cdot H_A \cdot \Delta\rho \quad (\text{Gleichung 3})$$

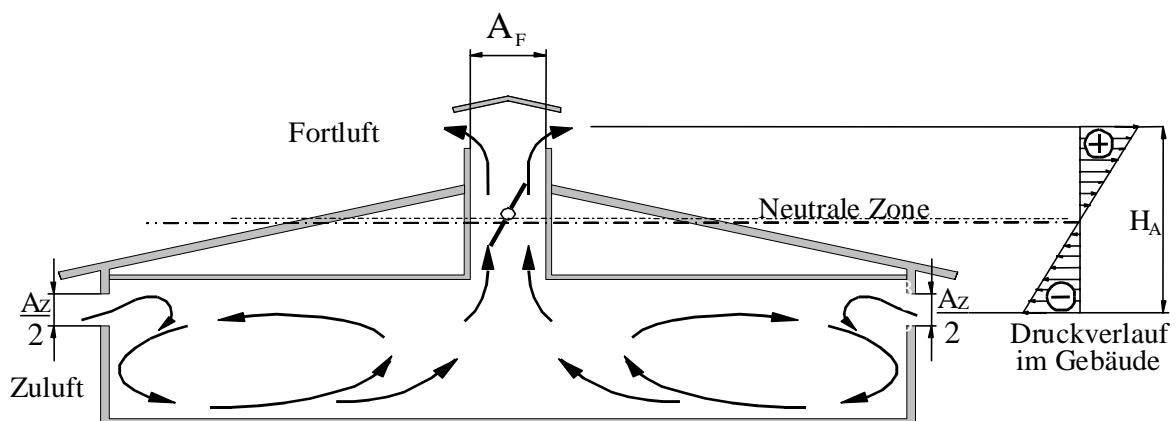


Bild 17: Schematische Darstellung der thermischen Auftriebslüftung (Schwerkraftlüftung)

Abkürzungen: A_F = Fläche der Fortluftöffnung, A_Z = Fläche der Zuluftöffnung,
 H_A = mittlerer Höhenunterschied zwischen Zu- und Fortluftöffnung (Auftriebshöhe),
 g = Fallbeschleunigung

Durch den Wind wird an der Luvseite des Stallgebäudes ein Überdruck und an der Leeseite ein Unterdruck aufgebaut. Die Luft durchströmt aufgrund dieser Druckdifferenz das Gebäude in horizontaler Richtung (Bild 18).

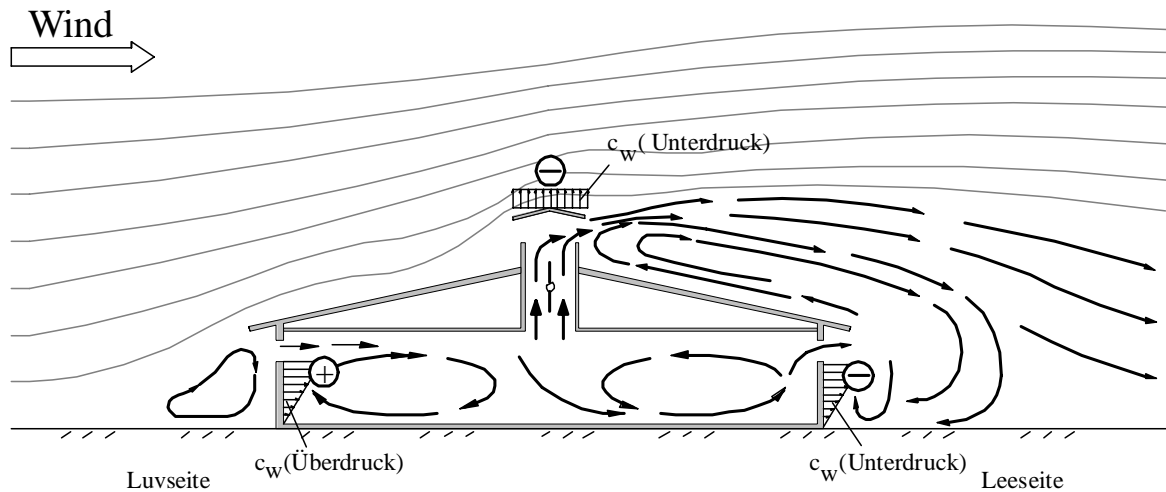


Bild 18: Umströmung und Durchströmung eines quer angeströmten Stallgebäudes (windinduzierte Raumströmung)

Der am Gebäude entstehende Druck (p_w) ist proportional dem Quadrat der Windgeschwindigkeit (w_w^2) (dynamischer Druck). In vereinfachter Form lässt sich der Winddruck am Gebäude nach Gleichung 4 bestimmen. Der Winddruckbeiwert (c_w) wird experimentell bestimmt. Soll gezielt der Wind zur Steuerung des Luftwechsels genutzt werden, muss das Stallgebäude (Längsachse) quer zur Hauptwindrichtung ausgerichtet sein!

$$p_w = c_w \frac{\rho}{2} w_w^2 \quad \text{(Gleichung 4)}$$

5.2 Systeme der freien Lüftung und Planungsempfehlungen

Die Systeme der freien Lüftung lassen sich in vorrangig windinduzierte (Querlüftung) und in thermische Lüftungen (Trauf-First-Lüftung, Schachtlüftung) einteilen. Unterschiede sind im wesentlichen auf Anordnung und Gestaltung von Zu- und Abluftöffnungen zurückzuführen.

Prinzipiell basieren aber alle auf der Wirkung des Windes und der Thermik. Hinsichtlich Förderstrom und Raumströmung gibt es von System zu System Unterschiede. Die Auswahl des Systems richtet sich in erster Linie nach Größe und Gestalt der Bauhülle. In den Bildern 19 bis 22 sind typische Lösungen im Prinzip dargestellt.

Die **Schachtlüftung** (Bild 19) basiert vorrangig auf der Wirkung der Thermik. Sie wird vor allem bei einer ebenen Stalldecke angewendet. Die Frischluft strömt über Öffnungen in den Seiten- und Giebelwänden zu und die Fortluft entweicht über einen mit einer Regelklappe ausgerüsteten Schacht. Ein Stall wird in der Regel mit mehreren Schächten ausgerüstet. Eine Sonderform ist der Monoschacht, d.h. der Stall ist lediglich mit einem Schacht ausgerüstet. Diese Bauform ist vor allem in skandinavischen Ländern zu finden.

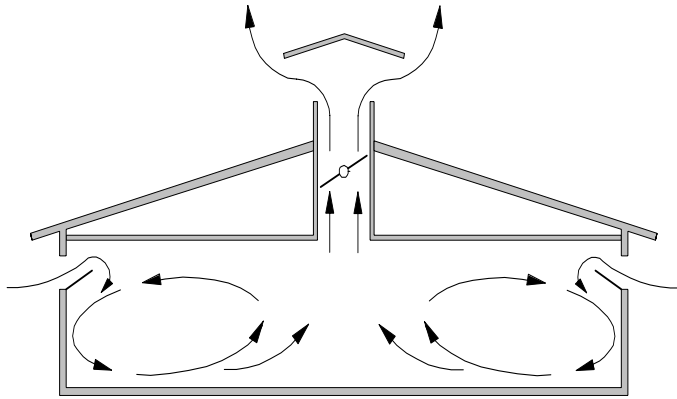


Bild 19: Schachtlüftung

Bei der **Trauf-First-Lüftung** (Bild 20) handelt es sich um eine Schwerkraftlüftung, bei der die luftwechselsteigernde Wirkung des Windes durch verstellbare Seitenwandöffnungen eine Ausrichtung des Stalles quer zur Hauptwindrichtung gezielt genutzt werden kann. Die Luftleitplanken verhindern in der kalten Jahreszeit das sofortige Herunterfallen der eintretenden Frischluft an den Seitenwänden. Es wird eine bessere Vermischung zwischen Zuluft und Stallluft erreicht. Die Firstöffnung kann entweder als durchgehender Schlitz oder in der Form einzelner Schächte ausgeführt werden.

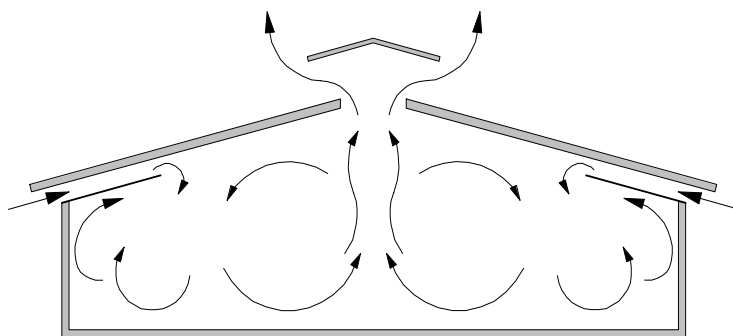


Bild 20: Trauf-First-Lüftung mit Luftleitplanken

Von **Querlüftung** (Bild 21) spricht man, wenn in den Seiten- und Giebelwänden Öffnungen angebracht sind, um die Wirkung des Windes zu nutzen. Das können im einfachsten Fall Fenster und Tore sein, die je nach Bedarf von Hand geöffnet oder geschlossen werden. Aber es gibt auch die Möglichkeit, die Stellung der Fenster und Tore automatisch zu steuern. Vielfach werden heute Jalousien angewendet, die automatisch geöffnet und geschlossen werden. Solche Systeme sind in der Geflügelhaltung bereits weit verbreitet und unter dem Namen „Louisianastall“ bekannt.

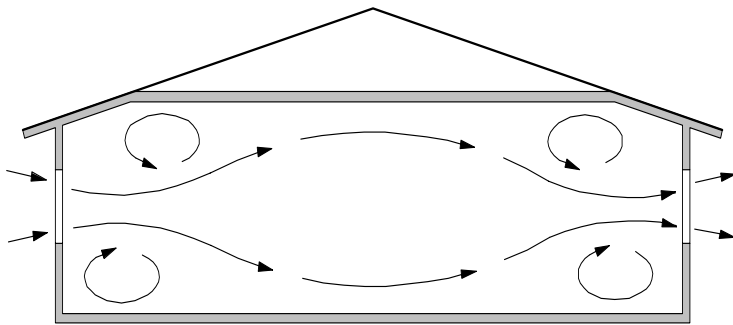


Bild 21: Querlüftung eines Stalles

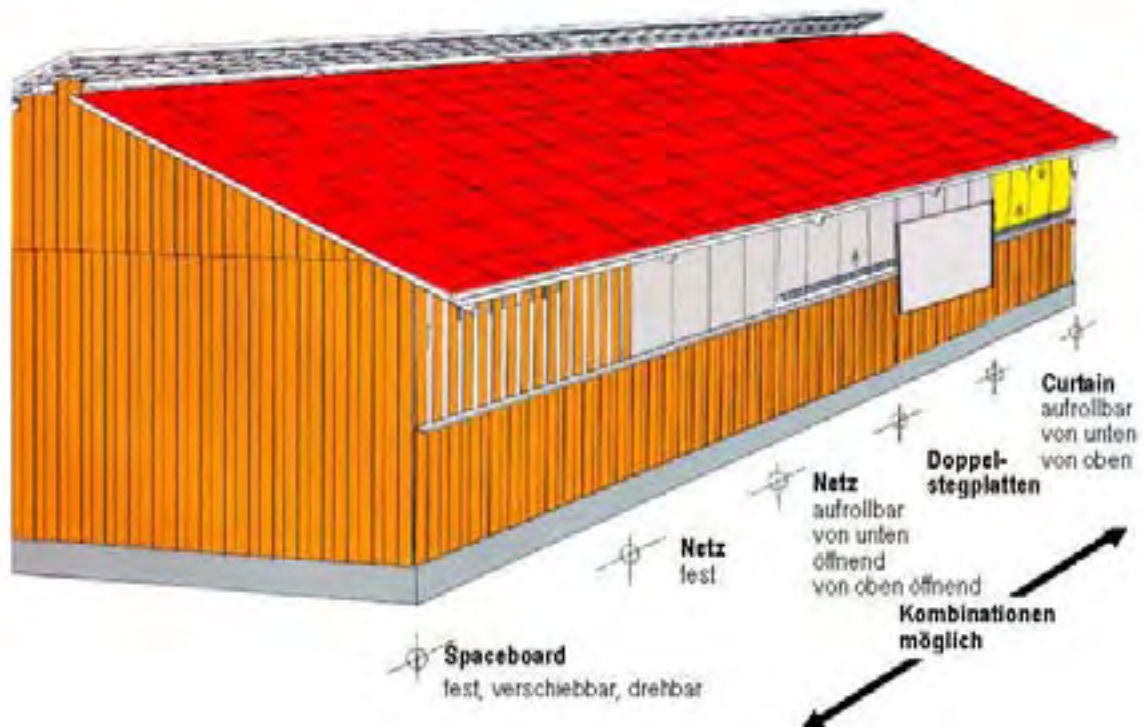


Bild 22: Möglichkeiten der Außenwandgestaltung bei der Querlüftung von Schweineställen (Landtechnik Weihenstephan)

Für die Detailausführung der „offenen“ Seitenwände existiert eine große Vielfalt von Materialien und technischen Möglichkeiten zur Einstellung der Zu- und Abluftflächen (Bild 22). Zu nennen wären hier als nicht verstellbare Zuluftöffnungen: Spaceboard, geschlitzte Bleche und feststehende Windnetze. Auch luftdurchlässige Deckenelemente (perforierte Platten) sind als Zuluftflächen einsetzbar. Man kann aber auch automatisch geregelte Zulufteinrichtungen (verstellbare Stegplatten oder Vorhänge) verwenden. Eine wichtige Voraussetzung für die Funktion der freien Lüftung ist die sachgerechte Dimensionierung der Zu- und Fortluftöffnungen.

Bemessung von Zu- und Abluftöffnungen

Unabhängig davon, ob die freie Lüftung oder ein Zwangslüftungssystem angewendet wird, muss in Abhängigkeit von der Tierart, der Tiermasse, dem Gebäude, dem Haltungssystem und den Aussenklimabedingungen der nach DIN 18910 geforderte Frischluftstrom durch den Stall gefördert werden (Tabelle 4, Seite 14).

Die Öffnungen, die zur freien Lüftung genutzt werden sollen, sind so zu bemessen, dass sie einerseits die Förderung des maximal notwendigen Frischluftstroms zulassen, aber andererseits die Öffnungsquerschnitte durch regelungstechnische Elemente (z.B. Klappen oder Vorhänge) so reduziert werden können, dass beispielsweise im Winter der Frischluftstrom auf die Mindestluftfrate begrenzt werden kann, um die gewünschte Raumtemperatur zu halten.

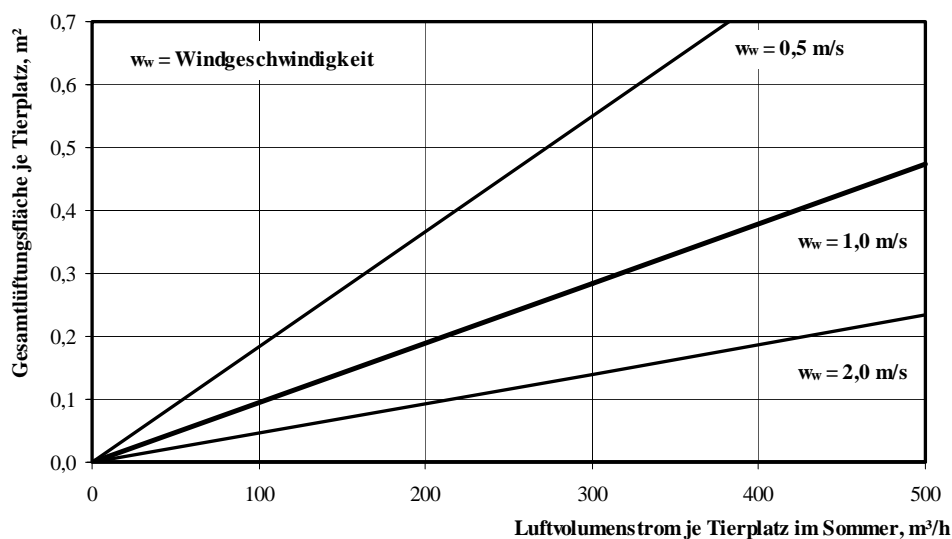


Bild: 23: Bemessung der Lüftungsflächen (Summe aus Zu- und Fortluftflächen) im Sommer in Abhängigkeit vom Luftvolumenstrom je Tierplatz und den Standortbedingungen im Bezug auf die zu wählende Außenluftgeschwindigkeit (siehe Kapitel 7.3.2)

Bild 23 stellt ein bewährtes Planungsdiagramm für die Bemessung der Zu- und Abluftflächen eines quer belüfteten Gebäudes für Mastschweine dar. Das Diagramm ist das Ergebnis eines vom Institut für Agrartechnik Bornim entwickelten und vereinfachten Auslegungsverfahrens. Der theoretische Hintergrund und Diagramme zur Planung der Zu- und Abluftflächen von Schwerkraftlüftungen befinden sich im Anhang unter Kapitel 7.3.

5.3 Heizung

Bei freier Lüftung können prinzipiell auch die bei Zwangslüftung eingesetzten Systeme (siehe Kapitel 4.5) verwendet werden. Es ist jedoch zu beachten, dass bei der freien Lüftung die Gefahr größer ist, dass die mit der Heizung zugeführte Wärme infolge des thermischen Auftriebs schlechter genutzt wird. Mindern kann man diese Wärmeverluste entweder durch die bevorzugte Anwendung der Strahlungsheizung bzw. durch den Einsatz von Deckenventilatoren im Heizfall.

Damit sich die Schweine bei niedrigen Temperaturen in einen geschützten Bereich zurückziehen können, werden bei frei gelüfteten Ställen oft Ruheboxen eingesetzt (Bild 24). Während eine dicke Tiefstreumatraturze zwar die Wärmeabfuhr in den Betonboden unterbinden kann, kann die Ruheboxe auch vor kalten Luftströmungen (Zugluft) schützen.



Bild 24: Ferkelaufzuchtstall mit Querlüftung, Ruheboxen mit Streifenvorhängen im Liegebereich nach dem Nürtinger Prinzip

5.4 Regelung / Alarmanlagen

Bei der Steuerung von Anlagen der freien Lüftung in der Schweinehaltung sollten automatische Steuergeräte eingesetzt werden, die auf dem Prinzip des Sollwert-Vergleichs zwischen tatsächlicher und gewünschter Stalllufttemperatur basieren (siehe Kapitel 4.6). Die Veränderung des Volumenstroms erfolgt bei der freien Lüftung durch Verstellung der Klappen oder Vorhänge in den Zu- und Fortluftöffnungen. Problematischer als bei der Zwangslüftung ist bei freier Lüftung die Einhaltung der Mindestluftfrate im Winterfall. Der Einsatz von Stallklimacomputern kann zukünftig bedeutsam werden, wenn zur Steuerung der Klappen die Messung der CO₂-Konzentration und/oder des Wassergehaltes (relative Luftfeuchte) der Stallluft genutzt werden kann.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeitsunterlage liefert wichtige Hinweise für die Planung und Handhabung von Lüftungsanlagen für Schweineställe. Diese Hinweise dienen nicht nur interessierten Landwirten und Tierhaltern, sondern auch den für Um- und Neubauplanung verantwortlichen Personen, die sich mit der Materie auseinandersetzen müssen. Dabei werden aus dem Bedarf der Tiere und den physikalischen Grundlagen die technischen Anforderungen an Lüftung und Heizung abgeleitet. Nicht nur die Vor- und Nachteile, auch die Eignung der verschiedenen technischen Alternativen für die typischen Haltungsabschnitte und -verfahren werden genannt. Durch den Einsatz digitaler Systeme gewinnen regelungstechnische Fortschritte und Dokumentationsmöglichkeiten der Prozessbedingungen zunehmend an Bedeutung.

Um den aktuellen Entwicklungen angemessen Rechnung zu tragen, werden die derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen beschrieben und Anwendungsmöglichkeiten der freien Lüftung vorgestellt.

Die im Anhang befindlichen Beispiele sollen helfen, den Planungsvorgang transparent und nachvollziehbar zu machen. Besonders interessierte Leser können sich mit Hilfe der Literaturliste Zugang zur weitergehenden Spezialliteratur verschaffen und hoffentlich dort Antworten auf noch offene Fragen finden.

7 Anhang

Unabhängig ob es sich um einen zwangsbelüfteten oder frei belüfteten Schweinestall handelt, ist für die konkrete Planung der Lüftungsanlage die Sommerlüfrate die wichtigste Kenngröße. Soweit keine immissionsschutzrechtlichen Vorgaben existieren, wird im ersten Planungsschritt die anzustrebende Sommerlüfrate standortspezifisch bestimmt. Nach DIN 18 910 darf planerisch je nach Standort (Sommertemperaturzone) die Innenraumtemperatur die der Außenluft um 2 Kelvin in der Temperaturzone 1 und um 3 Kelvin in der Temperaturzone 2 übersteigen ($1\text{K} \cong 1^\circ\text{C}$). Hierdurch ergeben sich in der Temperaturzone 1 um ein Drittel größere Sommerlüfraten (siehe hierzu Tabelle 4, S. 14). Die für die Bundesrepublik Deutschland geltende Standortzuordnung ist in Abbildung 25 dargestellt.

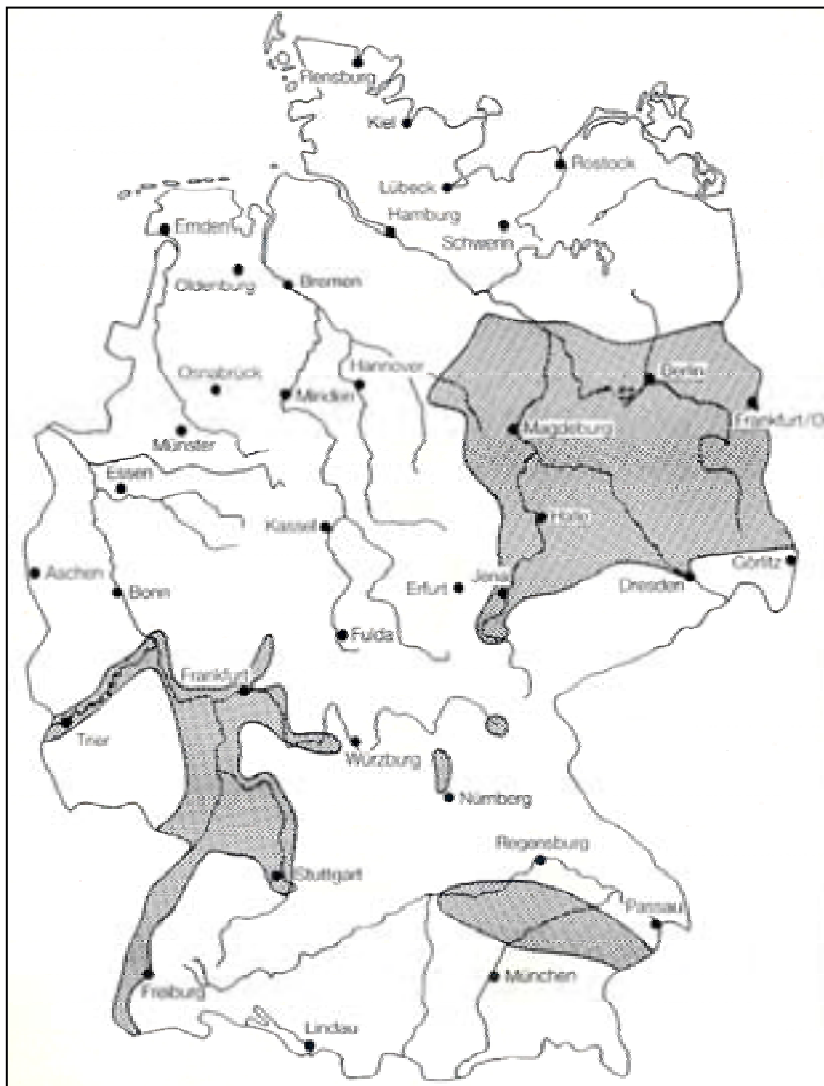


Bild 25: Sommertemperatur- und Klimazonenkarte der BRD nach DIN 18 910
schraffiert: Zone 1 ($\geq 26^\circ\text{C}$); unshraffiert: Zone 2 ($< 26^\circ\text{C}$)

7.1 Anhang 1 Beispiel Zwangslüftung (Leuschner)

Es handelt sich bei diesem Beispiel um einen Schweinemaststall in Nordwest-Deutschland mit einer Stallkapazität von 500 Mastschweinen mit einer Zwangslüftung.

Stallbelegung: Rein-Raus-Verfahren mit selektiver Vermarktung in mehreren Schritten

Mastabschnitt: Aufstallung 25 kg – 28 kg, Ausstallung bei Vermarktung 100 bis 120 kg

7.1.1 Dimensionierung der Luftvolumenströme

Abluft – Luftvolumenstrom (m^3/h) bei $\Delta t = 3 \text{ K}$ (Sommer-Temperaturzone 2, Bild 25)

Maximaler Luftvolumenstrom bezogen auf durchschnittlich 100 kg lebend Gewicht:

Nach gültiger DIN 18.910 von 1992 (Tabelle 4, S. 14) **84 m^3/h pro Tier**

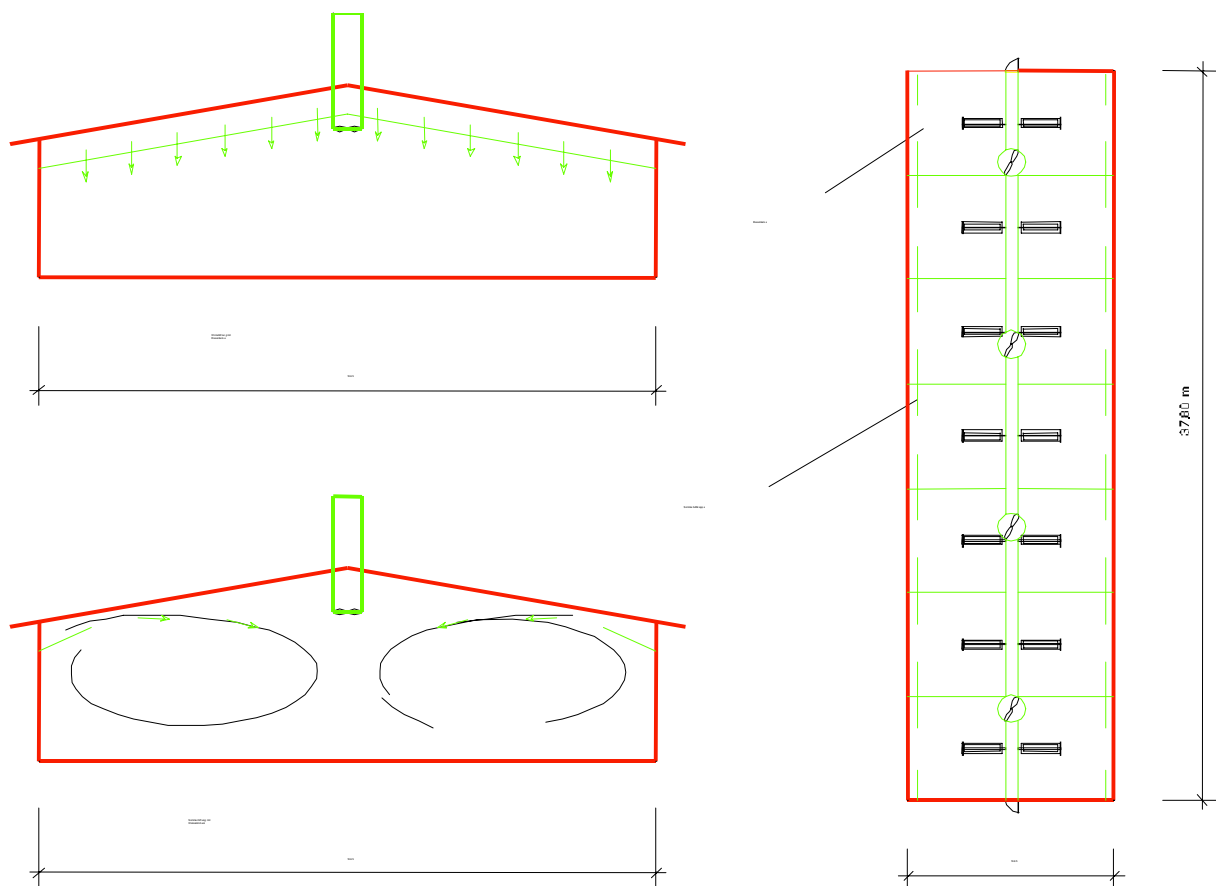


Bild 26: Querschnitte und Grundrisse zur Zuluftführung (oben links), zur erwarteten Raumströmung (unten links), und zur Anordnung der Abluftventilatoren (rechts)

7.1.2 Dimensionierung der Abluftventilatoren

Maximale Luftrate im Sommer für den Stall: 500 Schweine x 84 m³/h pro Tier = **42.000 m³/h**

Oberflur-Abluftführung mit dezentraler Absaugung.

Gewählte Abluftventilatoren: Durchmesser 63 cm, 230 Volt mit einer Förderleistung von je 10.500 m³/h bei einem zu erwartenden Gesamtgedruck von 30 Pascal

(Auswahl nach Angaben der Ventilatorhersteller oder nach DLG-Prüfberichten, der Strömungswiderstand ergibt sich Erfahrungswerten der Anlagenbauer)

7.1.3 Dimensionierung der Zuluft - Kombiniertes System

Sommer – Sommerlüftung mit Walzenlüftung

- Gute Raumdurchspülung im Sommer mit hoher konvektiver Entwärmungsmöglichkeit der Tiere
- Maximaler Luftvolumenstrom 42.000 m³/h
- bei max. 4 m/sec. Lufteintrittsgeschwindigkeit
- erforderlicher Lufteintrittsquerschnitt: $(42.000 / (3600 * 4,0)) = 2,9 \text{ m}^2$
- Länge der Stalltraufe zwischen den Rieseldeckenflächen 47,6 lfdm –
- Maximale Zuluftöffnung $(2,9 / 47,6) = 6 \text{ cm}$ (Schrägbrettöffnung)

Winter – Winterlüftung mit Rieseldecke

- Impulsarme Einströmung im Winter (Zugfreie Zuluft)
- Minimaler Luftvolumenstrom bis 50% der Gesamtlüftung (21.000 m³/h)
- Rieseldecke mit einem stündlichen Luftdurchlass von 150 m³/m² (unterschiedlich nach Herstellerangaben)
- Erforderliche Stalldeckenfläche als Rieseldecke: $(21000 / 150) = \text{ca. } 150 \text{ m}^2$
- gewählt: 7 Bahnen Rieseldecke á 2 m Breite oberhalb der Fressstellen

Kanalquerschnitt - 21.000 m³/h durch 14 Öffnungen mit max. 2 m/sec

Lufteintrittsgeschwindigkeit in den Kanal ergibt eine Kanalhöhe von mindestens 20 cm

7.1.4 Regelung und Heizung

- Regelung der Anlage mit Hilfe eines Klimacomputers,
- Heizung wahlweise möglich über Gaskanonen oder Delta-Rohre auf Warm-Wasser-Basis unterhalb der Rieselkanäle.

7.2 Anhang 2 / Beispiel Freie Lüftung (Haidn / Müller)

Das Beispiel beschreibt einen Stalltyp, der vor allem im süddeutschen Raum größere Verbreitung gefunden hat, den Außenklimakistenstall mit Querlüftung (Bild 27). In dem scheunenartigen Gebäuden wird den Schweinen neben den Funktionsbereichen für Fressen und Koten ein wärmegeprägter Liegebereich angeboten, der als Mikroklimazone (z. B. in Form von Kisten) ausgebildet ist. Je nach Jahreszeit bzw. Stallklima verbringen Mastschweine etwa 60 bis 90 % des Tages dort.



Bild 27: Ansicht des Kistenstalles von Außen (oben) und im Innenraum (unten)

Der Luftaustausch in dem sehr hohen Stallgebäude erfolgt über Querlüftung. Hierfür sind an den Seitenwänden großflächige Zu-/Abluftöffnungen vorhanden, die im vorliegenden Beispiel als 2,6 m hohe Schlitzwand (6 cm Brett, 2 cm Schlitz) und mit einem Folienrollo zur Verringerung der Luftraten ausgeführt sind. Die Steuerung des Rollos erfolgt manuell; wind- und temperaturgesteuerte Ausführungen sind am Markt verfügbar, jedoch fehlen fundierte Parameter bei welchen Schwellenwerten das Rollo geöffnet bzw. geschlossen werden muss. Für die Belüftung der Mikroklimazone sind ca. 10 - 15 cm hohe Luftschlitze in der Außenwand vorgesehen, die je nach Jahreszeit und Bedarf (z.B. bei Einstellung neuer Tiere) durch Klappen verschlossen werden können, weiterhin befinden sich Folienstreifen am Kistenzugang.

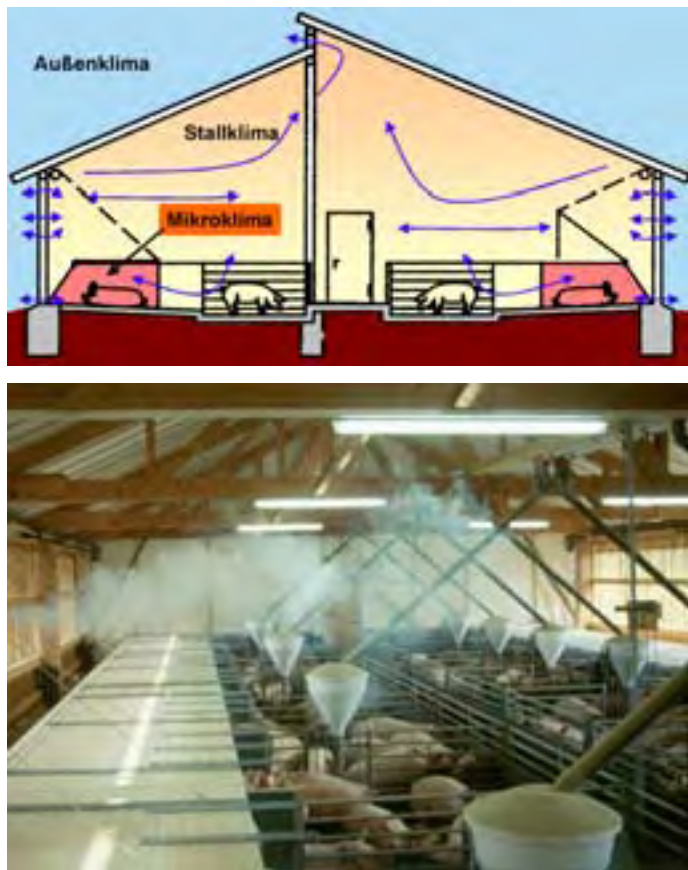


Bild 28: Klimazonen und Luftströme im Kistenstall, schematisch (oben) und mit Nebel sichtbar gemacht (unten)

Langzeitmessungen haben gezeigt, dass die Kistentemperaturen im Durchschnitt etwa bei $23 \pm 4,5$ °C und die Stalltemperaturen bei 13 ± 7 °C liegen. Temperaturen über 30 °C in Stall oder Ruhebox sind nur in 2-3 % der Zeit anzutreffen. Frost im Stallraum tritt nur in etwa 1 % der Zeitanteile auf.

Durch sehr aufwendige Messungen konnte ermittelt werden, dass die Luftvolumenströme in dem vorgestellten Außenklimastall meist deutlich über denen eines konventionellen Warmstalles liegen. So betragen die Werte im Sommer und in der Übergangszeit durchschnittlich etwa das 1,2- bis 1,5-fache der von der DIN 18 910 geforderten Werte. Im Winter liegen sie überwiegend um das 6- bis 7-fache über den Normwerten.

Die Luftbewegung und damit die Luftraten werden maßgeblich durch Anströmgeschwindigkeit und -winkel der Außenluft (Wind) sowie durch die Seitenwandausführung bestimmt. Damit sowohl im Stall als auch in der Mikroklimazone für die Tiere

auch bei ungünstigen äußeren Witterungsbedingungen keine gesundheitsschädlichen Stallklimabedingungen auftreten, sind einige wichtige Ausführungs- und Steuerungshinweise zu beachten (siehe Abb. 29):

- Die Möglichkeit der Luftführung von außen in die Mikroklimazone über eine Lüftungsklappe muss vorgesehen werden. Diese sollte im Winter, in der Übergangszeit sowie in den ersten beiden Wochen nach Neueinstellung geschlossen sein. Bei tiefen Temperaturen erhöht eine zusätzliche Winterklappe das Temperaturniveau in der Kiste.
- Streifenfundamente an der Seitenwand behindern die Belüftung der Mikroklimazone erheblich, wenn sie über das Bodenniveau hinausgehen.
- Das Öffnen des Kistendeckels erhöht den Luftraum über dem Kistenboden und führt deshalb nahezu immer zu einer Verringerung der Luftgeschwindigkeit. Demgegenüber bewirkt das leichte Anheben des Deckels einen besseren Luftabfluss und damit eine höhere Luftgeschwindigkeit.
- Die Luftgeschwindigkeit ist am Boden (Lüftungsklappen befinden sich auf diesem Niveau) gegenüber der mittleren Höhe bzw. unter der Abdeckung etwa 3 bis 4 mal so hoch.

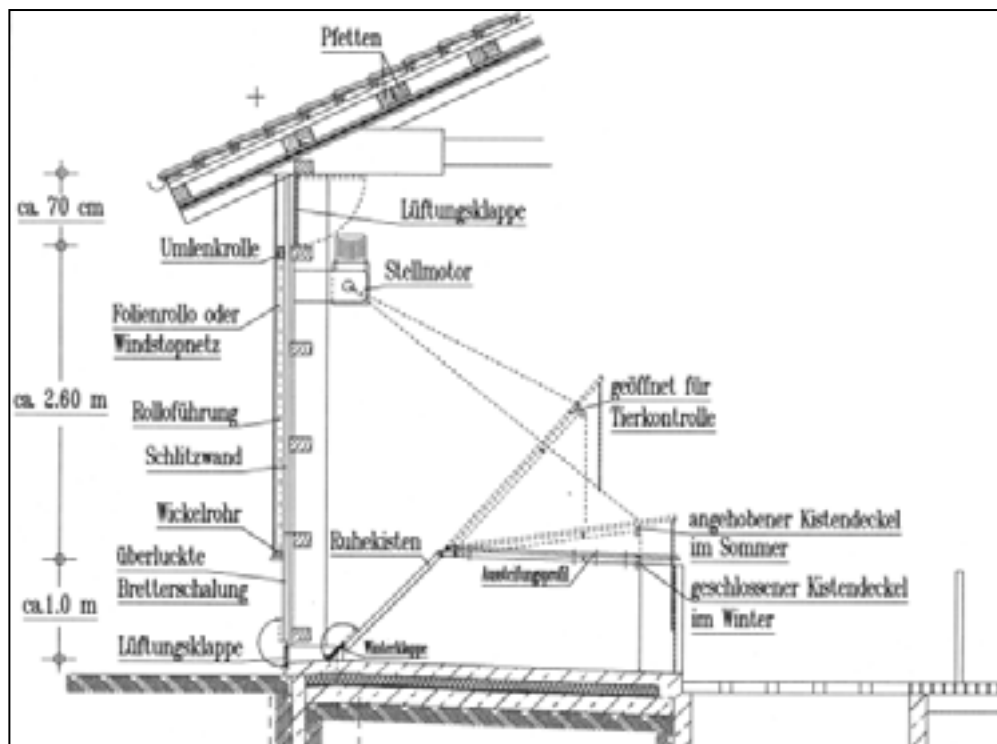


Bild 29: Beispiel für den Wandaufbau in einem Außenklima-Kistenstall

7.3 Anhang 3 / Grundlagen und Planungsvorgaben zur Schachtlüftung

Meteorologische Bedingungen am Standort

Da die meteorologischen Bedingungen sehr stark die Funktion der freien Lüftung beeinflussen, sind einige Informationen zur Größe und Andauer von Außentemperaturen und Windgeschwindigkeiten zweckmäßig. Standortbezogene Angaben können vom Deutschen Wetterdienst eingeholt werden. An dieser Stelle einige beispielhafte Angaben für den Raum Potsdam (Bezugszeiträume für Temperaturwerte 1951 – 75 und für die Windgeschwindigkeit 1951-1960).

- Mittlere Außentemperatur in der Übergangszeit (März – Mai und September – November): 8 °C bzw. in der Sommerzeit (Juli – August): 17,4 °C
- Anteil Jahresstunden mit Lufttemperaturen >25 °C → 2,4 % bzw. <-5 °C → 4,2 %
- Anteil der Stunden im Sommerzeitraum mit Windgeschwindigkeiten <0,5 m/s → 0,42 % bzw. <1 m/s → 2,3 %

Die Dimensionierung der Zu- und Abluftflächen erfolgt im ersten Schritt für die Übergangszeit und in einem zweiten Schritt für die Sommerbedingungen.

7.3.1 Übergangszeit

Die Diagramme (Bilder 30 bis 32) sind so berechnet, dass die thermische Auftriebslüftung im Winter und in der Übergangszeit allein ausreicht (Windstille), den notwendigen Frischluftstrom zu fördern. Das Verhältnis zwischen Zu- und Fortluftöffnung soll 1:1 betragen und als Auslegungstemperatur sind 8°C Außentemperatur gewählt. Die notwendigen Querschnitte ergeben sich aus der nach Gleichung 5 ermittelten Fortluftgeschwindigkeit (w_F) [5]:

$$w_F = C \sqrt{g H_A \frac{\Delta T}{T_a}} \quad (\text{Gleichung 5})$$

Abkürzungen: w_F = Fortluftgeschwindigkeit, C = Konstante für Strömungsverluste,
 ΔT = Temperaturdifferenz aussen-innen, T_a = Außentemperatur,
 H_A = mittl. Höhenunterschied zwischen Zu- und Fortluftöffnung,
 g = Fallbeschleunigung

Der Wert C enthält die Druckverluste, welche bei der Durchströmung des Gebäudes (insbesondere der Zu- und Fortluftöffnungen) auftreten. Aus Messergebnissen wird der Wert $C=0,68$ ausgewählt. Die Wärmebilanzrechnung liefert für eine Außenlufttemperatur von 8 °C die Temperaturdifferenz ΔT und den Frischluftvolumenstrom \dot{V} . Die erforderliche Fortluftfläche (A_F) resultiert aus Gleichung 6:

$$A_F = \frac{\dot{V}}{w_F} \quad \text{(Gleichung 6)}$$

Die aus den Diagrammen (Bilder 30 bis 32) für das Einzeltier ermittelte Fortluftfläche wird mit der Tierzahl multipliziert, um die gesamte Fortluftfläche für den Stall zu erhalten. Die Zuluftflächen sind in gleicher oder etwas verringerter Größe zu bemessen.

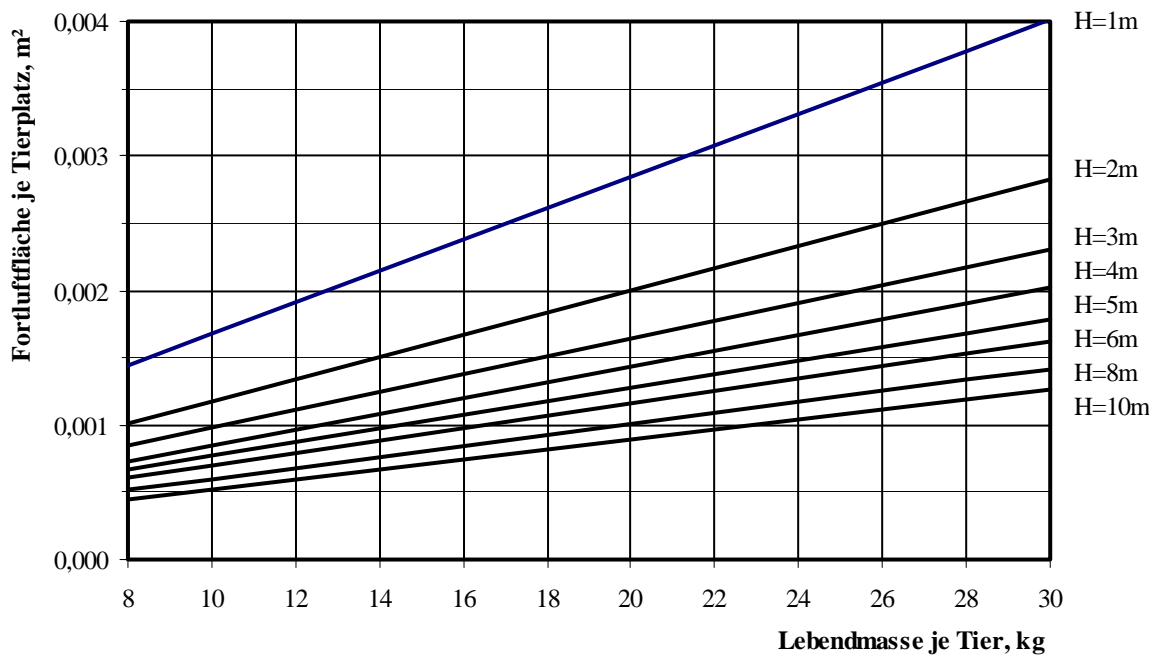


Bild 30: Fortluftfläche je Tierplatz (**Ferkel**) in Abhängigkeit von der Lebendmasse bei unterschiedlichen Auftriebshöhen und einer Außentemperatur von 8 °C

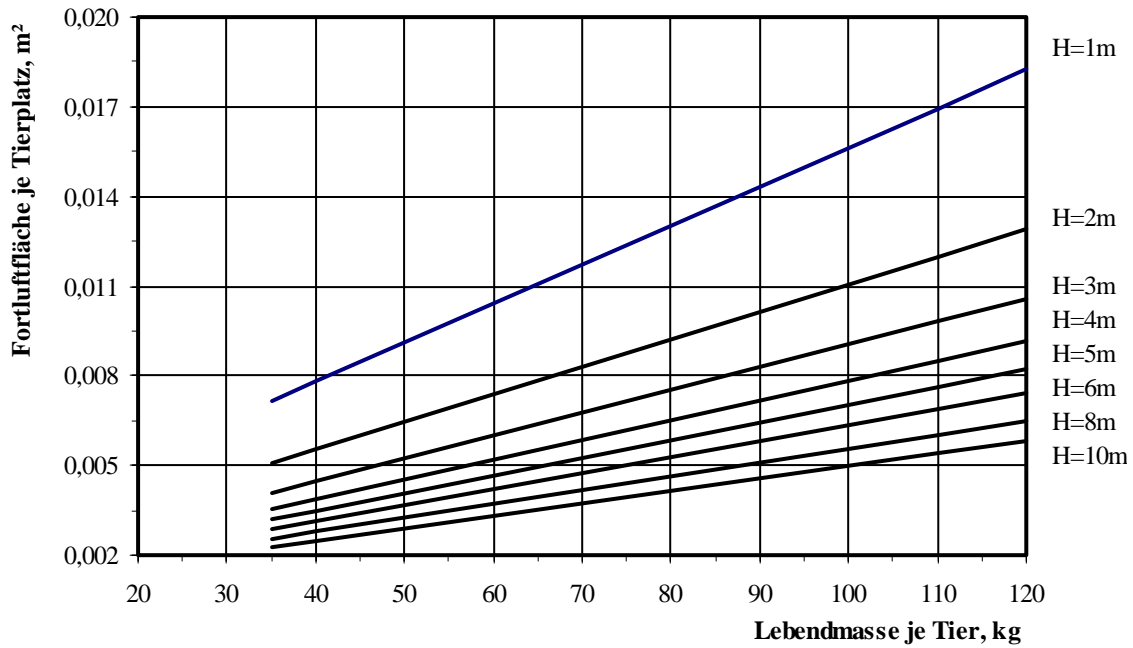


Bild 31: Fortluftfläche je Tierplatz (*Mastschweine*) in Abhängigkeit von der Lebendmasse bei unterschiedlichen Auftriebshöhen und einer Außentemperatur von 8 °C

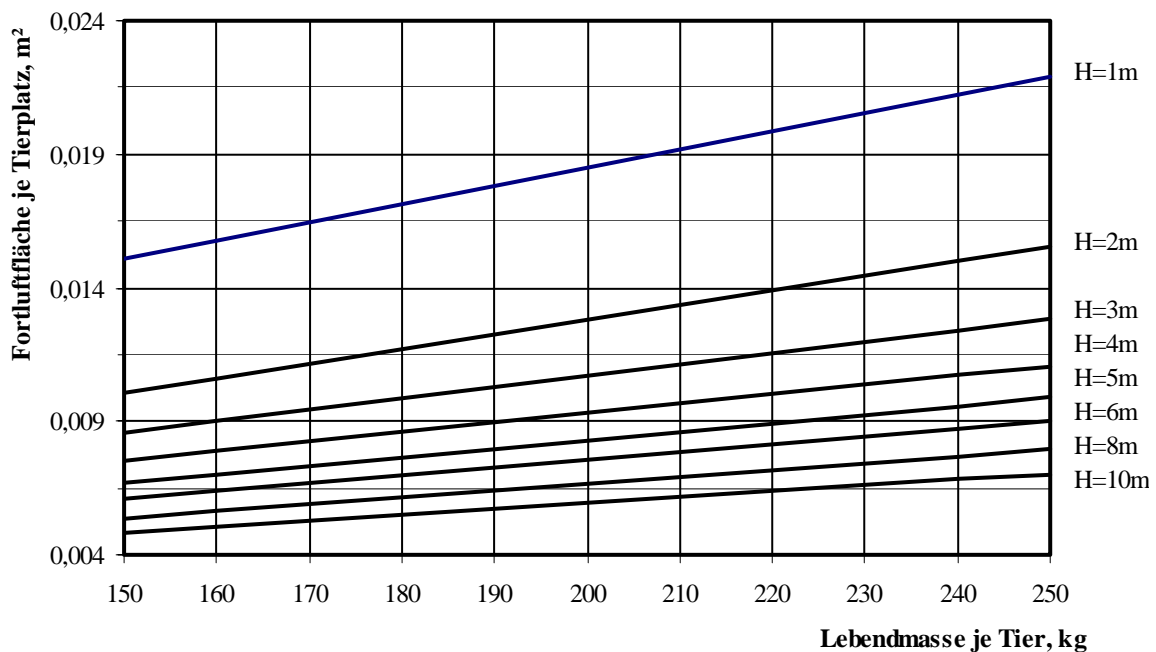


Bild 32: Fortluftfläche je Tierplatz (*Zuchtsauen*) in Abhängigkeit von der Lebendmasse bei unterschiedlichen Auftriebshöhen und einer Außentemperatur von 8°C

7.3.2 Sommerbedingungen

Bei Aussenlufttemperaturen über 8°C reichen die aus den Bildern 29 bis 31 ermittelten Flächen nicht mehr aus. Die vorzugsweise in den Seiten- und Giebelwänden anzubringenden Öffnungen (Fenster, Türen, Tore) können überschlägig nach Gleichung 7 ausgelegt werden (\dot{V}_S = Sommerluftrate):

$$A_Z = \frac{\dot{V}_S}{0,6 w_W} \quad (\text{Gleichung 7})$$

Der Wert von 0,6 geht auf Angaben von Tasker [1] zurück und beinhaltet die Druckverluste des Gebäudes sowie die Wirksamkeit des Winddruckes am Gebäude. Die Auswertung der Gleichung 7 ist in Bild 23 dargestellt. Auf der Ordinate ist die gesamte Lüftungsfläche aufgetragen (für $A_Z = A_F$ folgt die Gesamtlüftungsfläche = 2 A_Z). Durch diese Lüftungsfläche muss die Sommerluftrate gefördert werden. Die Außenwindgeschwindigkeit ist entsprechend den Standortbedingungen zu wählen. Empfohlen wird ein Richtwert von 1 m/s. Steht der Stall windgeschützt, dann sollte man mit 0,5 m/s kalkulieren. An der Küste bzw. auf Bergen kann mit höheren Windgeschwindigkeiten gerechnet werden.

Weiterführende Literatur zum Thema „Freie Lüftung“

- [1] Tascor, R., Bruce, J.: Automatically controlled natural ventilation. Pig Farming Supplement. Heft 12
- [2] Morsing, S., Stroem, J. S.: Styret naturlig ventilation. SBI-LANDBRUGSBYGGERI 63. STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT. 1985
- [3] Van Caenegem, L., Wechsler, B.: Stallklimawerte und ihre Berechnung. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT). 2000
- [4] Rau, H.: Der Einfluss des thermischen Auftriebs bei der freien Lüftung in Tierproduktionsanlagen. Dissertation. TU Dresden. 1988
- [5] Müller, H.-J.: Energiesparende Heizungs- und Lüftungssysteme. Landtechnik. H. 7 und 8. S. 300 - 302

8 Allgemeine Literaturhinweise

AEL-Heft 8 "Stalllüftungsanlagen - Planung, Berechnung, Installation"

AEL -Heft 17 "Berechnungs- und Planungsgrundlagen für das Klima in Ställen".

AEL-Merkblatt 34 "Lüftung und Heizung in der Ferkelaufzucht". Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft.

(Bezugsquelle: AEL, Frankfurt)

AID-Heft 1067 (1996): Lüftung von Schweineställen. *(Bezugsquelle: AID, Bonn)*

BÜSCHER, W. (2000): Technische Möglichkeiten der Klimasteuerung in frei und zwangsbelüfteten Geflügelställen. In: Jahrbuch der Geflügelwirtschaft 2001, S. 2333, Ulmer Verlag Stuttgart, ISSN 04472713, ISBN 3800138085

DLG-Prüfberichte Stallventilatoren, Sammelbände 10 g1 und 10 g2

DLG Merkblatt 319 (2000): Frostsichere Wasserversorgung von Schweinen in Außenklimaställen

DLG Einführung D/80 "Was ist beim Kauf und beim Einsatz von Stallventilatoren, Lüftungsanlagen und Zubehör zu beachten?"

(Bezugsquelle: DLG, Eschborner Landstraße 122, 60489 Frankfurt am Main)

DIN 18 910 "Wärmeschutz geschlossener Ställe, Wärmedämmung und Lüftung - Planung und Berechnungsgrundlagen"

(Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10772 Berlin)

FRANKE, G.; W. BÜSCHER (2002): Forderungen der Schweine an gute Lüftungs- und Heizungsanlagen. In BFL-Sonderausgabe „Praxisgerechte Mast Schweinehaltung - Was Schweine wirklich wollen“. Landwirtschaftsverlag Münster, ISBN 3784331777

PEDERSEN, S. (2000): Zu- und Abluftführung aus dänischer Sicht. Tagungsschrift des Förderkreis Stallklima 1999, Tagung in Iden, Vertrieb Landwirtschaftskammer Hannover