

Landwirtschaft, Gartenbau
und Ernährung



Untersuchungen zur Verbesserung der Klimagestaltung in Schweineställen bei gleichzeitiger Verringerung der Emissionen

Impressum

Herausgeber:

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg (MLUV)
Presse und Öffentlichkeitsarbeit
Heinrich-Mann-Allee 103, 14473 Potsdam
Tel.: 0331/866-7016 oder -/866-7017
Fax: 0331/866-7018
E-mail: pressestelle@mluv.brandenburg.de
Internet: www.mluv.brandenburg.de

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Am Halbleiterwerk 1
15236 Frankfurt (Oder)
E-mail: poststelle@lvf.brandenburg.de
Internet: www.mluv.brandenburg.de/info/lvf

Redaktion:

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Referat 41 – Agrarökonomie
Dorfstraße 1
14513 Teltow/Ruhlsdorf
Telefon: 03328/4360
Telefax: 03328/436118

Bearbeiter:

Dr. F.-W. Venzlaff, Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung
Dr. H.-J. Müller, Institut für Agrartechnik Bornim

Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau,
Teltow, Großbeeren, Groß Kreutz, Güterfelde, Paulinenaue, Wünsdorf
Reihe Landwirtschaft, Band 9 (2008) Heft III

Druck:

Landesamt für Verbraucherschutz,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
Am Halbleiterwerk 1
15236 Frankfurt (Oder)
AT 89/08

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbem zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Untersuchungen zur Verbesserung der Klimagestaltung in Schweineställen bei gleichzeitiger Verringerung der Emissionen

Bearbeiter: Dr. F.-W. Venzlaff, Landesamt für Verbraucherschutz,
Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF)
Dr. H.-J. Müller, Institut für Agrartechnik Bornim (ATB)

Ruhlsdorf, April 2008

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
2. Messungen	6
2.1. Erdwärmetauscher	6
2.1.1. Stallsystem	6
2.1.2. Lüftungssystem	7
2.1.3. Messungen Erdwärmetauscher	9
2.2. Unterflur-Zuluftführung	11
2.2.1. Stallsystem	11
2.2.2. Lüftungssystem	12
2.2.3. Messungen Unterflur-Zuluftführung	13
3. Ergebnisse	14
3.1. Ergebnisse Erdwärmetauscher	14
3.1.1. Stallklima	14
3.1.2. Emissionen von Ammoniak	19
3.1.3. Erfahrungen und wichtige Parameter	23
3.1.4. Fazit zum Erdwärmetauscher	24
3.2. Ergebnisse Unterflur-Zuluftführung	25
3.2.1. Stallklima	25
3.2.2. Emissionen von Ammoniak	29
3.2.3. Erfahrungen und wichtige Parameter	33
3.2.4. Fazit zur Unterflur-Zuluftführung	34
4. Zuluftkühlung und Tierleistung	35
5. Ökonomische Abschätzung	35
6. Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse	37
7. Fazit	39
8. Literatur	40

1. Einleitung

Stellt man in Veranstaltungen mit Schweinehaltern die Frage: „Wer hat keine Probleme mit dem Stallklima“?, so meldet sich kaum jemand. Das hat seinen guten Grund, denn Lüftung und Stallklimagestaltung sind seit Jahren ein Hauptproblem bei Bau und Betrieb von Schweineställen, obwohl in den vergangenen Jahren bereits beachtliche Fortschritte, vor allem durch die verstärkte Anwendung der Unterdrucklüftung erreicht wurden. Darüber hinaus erfordern die von Deutschland eingegangenen internationalen Vereinbarungen zukünftig die Verringerung klimarelevanter Emissionen, beispielsweise von Ammoniak. Ausgehend vom bisherigen großen Anteil der Nutztierhaltung an diesen Emissionen sind mittelfristig weitere Forderungen nach deren Senkung und entsprechende Maßnahmen auch für diesen wichtigen Teilbereich der Landwirtschaft zu erwarten. Weiterhin ist festzustellen, dass fast alle Schweinehalter in der warmen Jahreszeit Probleme mit hohen Stalltemperaturen und den damit verbundenen negativen Folgen, wie verminderten Tierleistungen und damit verringerter Effektivität, haben.

Im Sommer besteht die Aufgabe der Lüftung neben der Frischluftzufuhr in erster Linie in der Abführung der Wärme aus dem Stall. Im Winter müssen vor allem Schadgase und Wasserdampf abgeführt werden. Basierend auf den Lüftungswärmeverlusten ist die Bemessung der Heizleistung vorzunehmen. Dementsprechend ist die Winterluftfrate deutlich kleiner als die Sommerluftfrate. Ausgehend von der gültigen DIN 18910 bezieht sich die Leistung und Größe der Lüftungsanlage in der Regel auf die Sommerluftfrate. Gegenwärtige Praxis ist, dass bei hohen Außentemperaturen hohe Luftdurchsätze gefahren werden, die sogenannten Sommerluftfraten [2; 10]. Sie bringen bisher in der Regel bei hohen Außen- und damit auch gleichzeitig hohen Zulufttemperaturen für die Tiere kaum positive Effekte. In vielen Anlagen wird auch gegenwärtig noch im Hochsommer die Zuluft aus dem Dachraum und/oder von der Sonnenseite her angesaugt. Auf diese Art und Weise liegen die Zulufttemperaturen in der warmen Jahreszeit oft über 30°C. Unter diesen Bedingungen erwärmt man die Stallabteile durch die warme Zuluft zusätzlich, statt Wärme abzuführen. Bei dieser Verfahrensweise sind Hitzestress und Leistungseinbußen für die Tiere unvermeidlich. Insbesondere die hohen Temperaturen im Sommer können für Schweine problematisch werden, da sie nicht in der Lage sind, durch Schwitzen Wärme abzuführen. Sie geben die Wärme hauptsächlich über die Atmung ab. Vereinfacht gesagt, sie erwärmen die eingeatmete Luft auf Körpertemperatur (etwa 38°C) und heben dabei

gleichzeitig die relative Luftfeuchte auf 100% an. Und je höher Temperatur und Luftfeuchte der eingeatmeten Stallluft sind, desto weniger Wärme können die Schweine über die Atemluft abgeben [29]. Stalllufttemperaturen über 28°C, gekoppelt mit einer relativen Luftfeuchte von über 80 % stellen also für Mastschweine und Sauen ein Problem dar [23]. Die Stalllufttemperaturen sollten deshalb in der warmen Jahreszeit unter 28°C (möglichst unter 25 °C) und gleichzeitig die relative Luftfeuchte nicht über 80 % liegen. Im Winter sollte die Mindeststalltemperatur für Mastschweine dagegen nicht für längere Zeit unter 16°C und die Stallluftfeuchte nicht über 90 % betragen. Ein wesentliches Ziel der Stallklimagestaltung besteht darin, die Stallklimaparameter möglichst lange in dem aufgezeigten günstigen Bereich zu halten [18].

Wie ein charakteristisches Beispiel für Temperaturverläufe bei einem konventionell gelüfteten Schweinestall zeigt, wurden erhebliche Temperaturschwankungen gemessen, die letztendlich von den Tieren verkraftet werden müssen. So veränderte sich beispielsweise am 29.07. die Außentemperatur von 17 °C auf 32°C, während sie im Stall immerhin noch zwischen 23 °C und 32 °C schwankte. Gleichzeitig treten unter diesen Bedingungen an warmen Tagen im Stall in der Regel mindestens die gleichen Maximaltemperaturen wie im Außenbereich auf, so im vorliegenden Beispiel 32°C (Abb. 1).

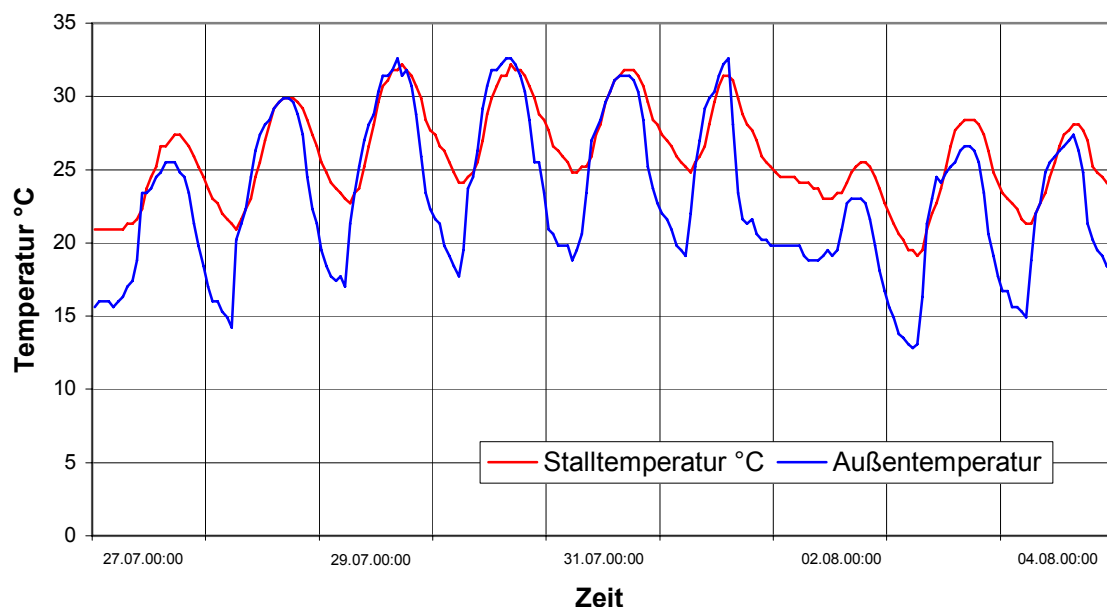


Abbildung 1: Charakteristisches Beispiel für den Temperaturverlauf bei einem „konventionell“ gelüfteten Stall in der Schweinehaltung in der warmen Jahreszeit im Verhältnis zur Außentemperatur [28]

Es bleibt festzuhalten: Wenn bei konventionellen Lüftungssystemen an warmen Tagen das in DIN 18910 geforderte Δt auch eingehalten wird, so erkaufte man sich dies doch zum einen nur durch hohe Luftvolumenströme (Sommerluftraten) und zum zweiten gleichzeitig durch hohe Emissionsmassenströme [28].

Um Abhilfe bei den beschriebenen Mängeln zu schaffen, stehen deshalb im Mittelpunkt der aktuellen Entwicklung Lösungen zur Stallklimagegestaltung, die im Vergleich zu den bisherigen Systemen,

- einerseits ein verbessertes Stallklima ermöglichen und damit auch das Leistungspotential der Tiere besser ausschöpfen sowie
- gleichzeitig den Ausstoß klimarelevanter Emissionen aus Schweineställen verringern.

Dazu muss man bei Stallklimagegestaltung und Stallbau zumindest teilweise neue Wege gehen bzw. unter den verschärften Forderungen technische Systeme vervollkommen und an die neuen Anforderungen anpassen.

Es ist bekannt, dass hohe Luftraten bzw. Volumenströme auch hohe Emissionsmassenströme verursachen [14; 19; 26]. Gelingt es nun in Tierställen, geringere Volumenströme und damit auch Abluftvolumenströme zu fahren, bei gleichzeitiger Einhaltung der geforderten stallklimatischen Parameter entsprechend [1; 2], so sind auch geringere Emissionen aus diesen Tierställen zu erwarten.

Zum zweiten beeinflussen die Zulufttemperaturen die Stalltemperaturen in starkem Maße [29]. Deshalb ist die Senkung der Zulufttemperaturen aus gegenwärtiger Sicht ein weiterer Lösungsansatz, um in der warmen Jahreszeit die hohen Luftraten zu senken und damit gleichzeitig die Emissionsmassenströme zu verringern [27]. Zur Lösung der angesprochenen Fragen muss man also bei der Zulufttemperatur als wesentlicher Eingangs- und Einflussgröße ansetzen.

Unter diesem Blickwinkel wurde nach praxisrelevanten Lösungen gesucht, die eine Senkung hoher Zulufttemperaturen in der warmen Jahreszeit bewirken.

Wichtige praxisrelevante Systeme aus derzeitiger Sicht sind Erdwärmetauscher und Unterflur-Zuluftführung. Beim Erdwärmetauscher führt das Speichervermögen des Erdreichs zu einer Absenkung der Temperaturspitzen im Sommer und im Winter zur Reduzierung des Heizenergieeinsatzes [16; 19; 25]. Beim Unterflur-Zuluftsystem sind tendenziell ähnlich positive Auswirkungen wie beim Erdwärmetauscher zu erwarten, nur nicht in so ausgeprägter Form. Dabei ist die Unterflur-Zuluftführung als eine Variante des Erdwärmetauschers einzuordnen, denn hierbei wird ebenfalls das Spei-

chervermögen des Erdreichs genutzt, nur in geringerer Tiefe als beim „Klassischen Erdwärmetauscher“. Beide Systeme sind gegenwärtig international kaum und in Deutschland relativ wenig im Einsatz. Auch im Land Brandenburg finden diese Systeme bisher nur sehr vereinzelt Anwendung. Andererseits führt jedoch aus jetziger Sicht aus den verschiedenen genannten Gründen kein Weg an der Anwendung von effektiven, tiergerechteren und emissionsmindernden Stallklimasystemen in der Schweinehaltung vorbei. Es ist also zu erwarten, dass sich kühlere Abteilmperaturen im Sommer und verringerter Abluftvolumenstrom im Komplex in Richtung verbesserter Tiergerechtheit sowie Emissionsminderung auswirken.

Hervorzuheben ist weiterhin, dass für die dauerhafte Funktion beider Zuluftsysteme kein zusätzliches Verbrauchsmaterial wie Wasser oder Filtermaterial notwendig ist.

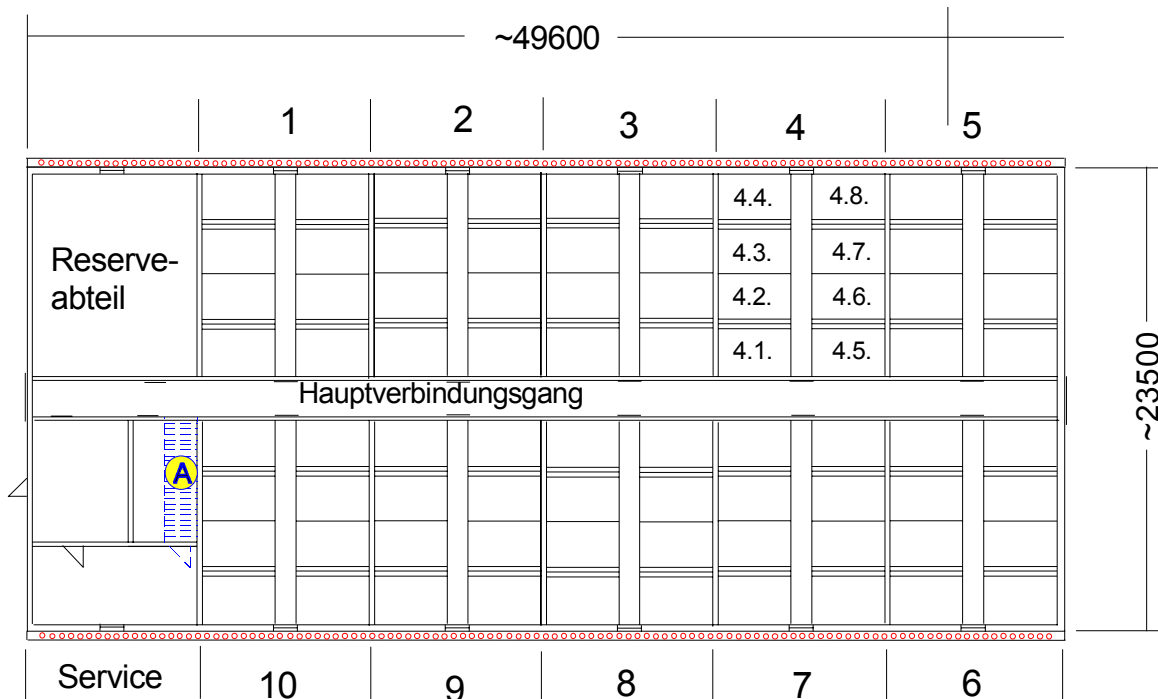
Für die Überprüfung der hier vorgestellten Hypothesen zur effektiven Verbesserung der Tiergerechtheit und gleichzeitigen Verringerung der Emissionen im Zusammenhang mit der Stallklimagegestaltung, insbesondere der Zuluftführung, wurden Messungen in entsprechend charakteristischen Schweineställen durchgeführt.

2. Messungen

2.1. Erdwärmetauscher

2.1.1. Stallsystem

Der Schweinestall mit Erdwärmetauscher wurde im Jahr 2000 neu errichtet und als Doppelkammstall konzipiert. Er hat eine Länge von 49,50 m und eine Breite von 23,60 m (Abb. 2). Beidseitig am 2,00 m breiten Zentralgang befinden sich jeweils fünf Stallabteile. Die im Rein-Raus-Prinzip bewirtschafteten Abteile sind so gestaltet, dass sich an jeder Seite des 1 m breiten Kontroll- und Treibeganges je vier Buchten in Quertrogaufstallung befinden. Die Futterversorgung erfolgt dreimal täglich über eine computergesteuerte Flüssigfütterung. Zusätzlich ist in jeder Bucht eine Zapfentränke installiert. In den 3,50 x 2,55 m großen mit Betonspaltenfußböden ausgelegten Buchten sind je 10 Tiere aufgestellt (pro Abteil 80 Tiere; Gesamtkapazität des Stalles 800 Plätze). Die lichte Abteilhöhe beträgt 2,80 m. Die Tiere werden mit 25 bis 30 kg eingestallt und verbleiben bis zum Ausstallen mit 100 bis 110 kg ohne zwischenzeitliche Umstallung in der jeweiligen Bucht. Jede Abteiltür ist mit einem Fenster ausgestattet.



- Ⓐ - Tür und Treppe zum Erdwärmetauscher-Zuluftkeller unter dem Hauptverbindungsgang
- ⋯ - Lufteintrittsöffnungen des Erdwärmetauschers an den beiden Stalllängsseiten

Abbildung 2: Vereinfachter Grundriss des Schweinestalles mit Erdwärmetauscher [29]

Auf diese Weise kann bereits vom Abteilgang aus ein beachtlicher Teil des Abteilgeschehens wahrgenommen werden, ohne die Abteile selbst zu betreten. Der Stall wird einstreulos auf Flüssigmistbasis betrieben. Die Entmistung erfolgt nach dem sogenannten Badewannenprinzip [29].

2.1.2. Lüftungssystem

Die Lüftung der Stallabteile erfolgt nach dem Unterdruckprinzip. Die prinzipielle Funktionsweise ist aus Abb. 3 zu erkennen. Die Frischluft strömt entlang der Außenwände in die Tauscherrohre. Diese sind zunächst senkrecht bis zur Tiefe von 2 m ins Erdreich geführt und dann weiter mit leichtem horizontalem Gefälle zur Stallmitte. Dort münden die Rohre direkt in den „Zuluftkeller“ unter dem Zentralgang. Die Tauscherrohre haben einen Durchmesser von 260 mm und einen Abstand von 450 mm (von Rohrmitte zu Rohrmitte). Unter dem Abteilgang befindet sich der mit Rosten abgedeckte Zuluftkanal, der mit dem „Zuluftkeller“ in Verbindung steht. Der Unterdruck im Abteil führt dazu, dass die Frischluft aus dem „Zuluftkeller“ durch den Zuluftkanal in

das Abteil strömt. Der Abteilquerschnitt zeigt, dass die unterflurig in das Abteil gelangte konditionierte Zuluft (blaue Pfeile) sich durch die Spalten des Abteilganges nach oben bewegt, seitlich über die vorderen Buchtentrennwände in den Tierbereich strömt und sich mit der verbrauchten Luft (violette Pfeile) vermischt (Abb. 4). Bei Bedarf kann die Zuluft mit Hilfe je zweier an den Seiten der Unterflur-Abteil-Zuluftkanäle angeordneter warmwasserbetriebener Twin-Rohre erwärmt werden. Die Abluft ge-

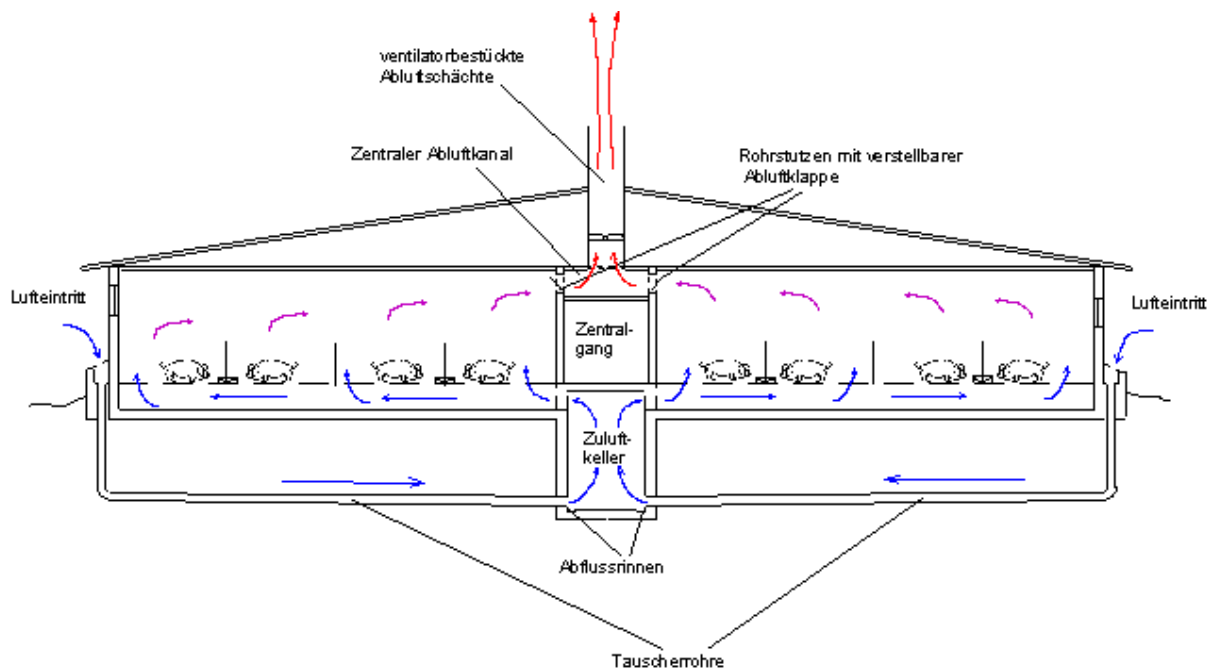


Abbildung 3: Schnittdarstellung zur Erläuterung des Funktionsprinzips der Lüftung im Schweinestall mit Erdwärmetauscher [18; 19]

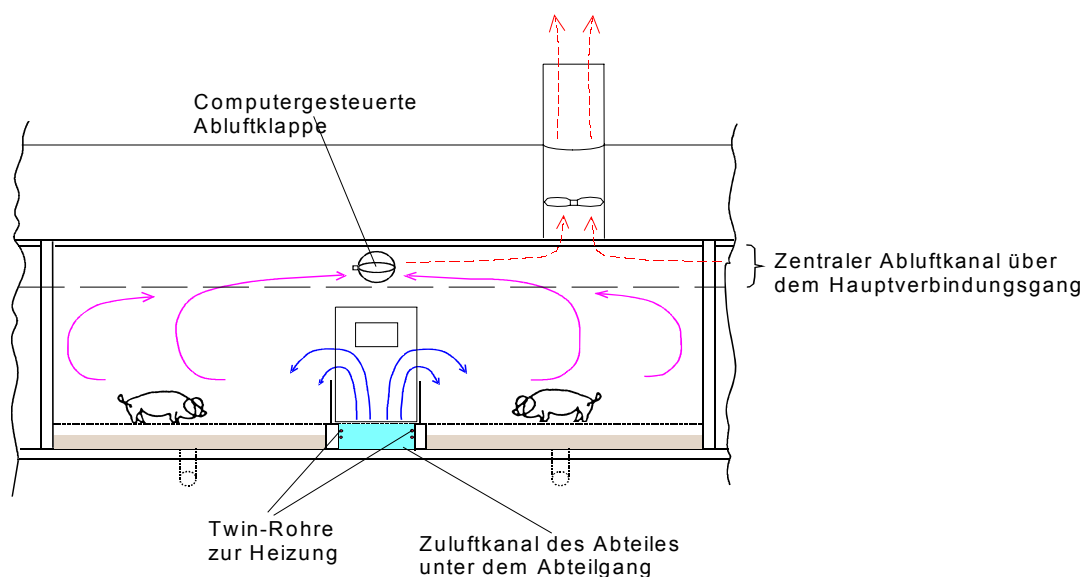


Abbildung 4: Charakteristische Luftführung in einem Abteil eines Zucht- oder Maststalles mit Erdwärmetauscher [19]

langt über einen Rohrstutzen, der mit einer Regelklappe zur Luftratensteuerung versehen ist, in den Abluftkanal. Dieser ist über dem Zentralgang angeordnet [18; 29]. Mit vier gleichmäßig in Stallängsrichtung verteilten Fortluftschächten, die jeweils mit einem Ventilator bestückt sind, wird die Fortluft über First ausgeblasen (Abb. 3, 4). Der Durchmesser der über der jeweiligen Abteiltür befindlichen Abluftklappe beträgt 70 cm. Für die Aufnahme eventuell anfallender Flüssigkeit/Wasser befindet sich an jeder Seite am Fußboden des Zuluftkellers, direkt unter den Rohrenden des Erdwärmetauschers eine Rinne (Abb. 3).

2.1.3. Messungen Erdwärmetauscher

Die Untersuchungen wurden in zwei Messperioden durchgeführt: Sommerperiode vom 03.-30.08.2004 und Winterperiode vom 02.02.-01.03.2005. In jedem Messdurchgang wurden dabei die Werte für zwei Stallabteile erfasst. Die „Messabteile“ waren so gewählt, dass ein großer Lebendmassebereich abgedeckt wurde (ein Abteil im unteren Lebendmassebereich: 35-70 kg je Tier und ein zweites im oberen: 70-110 kg je Tier). Die klimatischen Randbedingungen wurden durch Temperatur-/Feuchte-Datenlogger aufgezeichnet. Diesbezüglich wurden folgende Messorte für beide Stallabteile gewählt:

- Zuluft am Eintritt der Tauscherrohre;
- Zuluft am Ende der Tauscherrohre (Eintritt Zuluftkeller);
- Zuluft am Eintritt in den Zuluftkanal unter dem Abteilgang;
- Stalllufttemperatur in vier Buchten oberhalb der Tiere, jeweils rechts und links des Abteilganges – zentralgangseitig und außenwandig;
- Abluftöffnung im Stall [19].

Die Bestimmung des Luftvolumenstromes der „Messabteile“ erfolgte unter dem Gesichtspunkt, verschiedene Messverfahren miteinander zu vergleichen, nach drei unterschiedlichen Methoden:

- Messung der Luftgeschwindigkeit mit einem Flügelrad im Abluftkanal(Kurzzeitmessungen) durch „Abfahren“ des Querschnittes bzw. Verlaufsmessung in der Mitte des Abluftkanales.
- CO₂-Bilanzmethode [8] (Verlaufsmessung möglich);
- Tracergasmessung unter Verwendung von SF₆ als Tracergas [9] (kontinuierliche Tracergasdosierung-Verlaufsmessung).

Hinweise zur Messgenauigkeit: Die Messgenauigkeit aller drei Verfahren hängt von den jeweiligen Randbedingungen ab und muss deshalb für jeden Fall gesondert betrachtet werden. Anhaltswerte für Messfehler sind in [4] zu finden. Mit dem Flügelrad erreicht man Messfehler unter 10 % nur bei sehr günstigen strömungstechnischen Bedingungen. Diese sind in Praxisanlagen meist nicht vorhanden. Bei der CO₂-Bilanzmethode besteht das Problem darin, dass man den CO₂-Ausstoß der Quellen nicht genau genug kennt. So ist die CO₂-Abgabe der Tiere nur als Tagesmittelwert angegeben. Die zeitlichen Schwankungen beispielsweise durch unterschiedliche Tieraktivität sind nicht genau genug bekannt. Weitere Unsicherheiten ergeben sich bei der Heizung mit direkter Verbrennung im Stallraum. Auch die CO₂-Abgabe aus den Exkrementen ist bisher noch nicht ausreichend untersucht. So ist unter günstigen Bedingungen mit einem Fehler von 20 % zu rechnen. Nach Ansicht der Autoren kann dieser Fehler durchaus Werte von 50 % insbesondere im Sommerfall annehmen, wenn die Konzentrationsdifferenzen zwischen Stallluft und Außenluft sehr gering sind. Günstiger sieht es bei der SF₆-Bilanzmethode aus. Der zudosierte SF₆-Strom kann sehr genau bestimmt werden. Problematischer ist die gleichmäßige Verteilung des SF₆ in der Stallluft. Fehler unter 10 % sind erreichbar. Der Verlauf der CO₂-, NH₃- und SF₆-Konzentrationen wurde mit einem Multigasmonitor in beiden untersuchten Stallabteilen ermittelt. Als Messorte für die Konzentrationen wurden die vier genannten Temperaturmessstellen oberhalb der Buchten und die Abluftöffnung gewählt.

Der Emissionsmassenstrom eines Gases ergibt sich als Produkt aus dem Volumenstrom und der parallel dazu gemessenen Konzentration des Gases. Deshalb wirken sich Fehler in der Volumenstrommessung direkt auf den ermittelten Emissionsmassenstrom aus. Da sich sowohl der Volumenstrom als auch die Konzentration ständig ändern, variiert der Emissionsmassenstrom ebenfalls. Damit man eine Aussage über die jährliche Ammoniakemission bei der Schweinehaltung treffen kann, ist nach eigenen Erfahrungen über längere Zeitabschnitte (beispielsweise je einen Monat in der kalten und in der warmen Jahreszeit) der Emissionsmassenstrom zu bestimmen und zu integrieren. Claes et al. [11] erreichen am Beispiel von Schweineställen bei 8 bzw. 12 zufällig ausgewählten Messtagen in einem Jahr bei der Berechnung der Ammoniakemissionen Fehler von 10,9 % (8 Messtage) bzw. 6,7 % (12 Messtage). Diese guten Ergebnisse können durch eigene Messungen nicht bestätigt werden.

2.2. Unterflur-Zuluftführung

2.2.1. Stallsystem

Der Schweinemaststall mit Unterflur-Zuluftführung wurde 1998 als Doppelkammstall neu gebaut und ist seit dieser Zeit ständig in Betrieb. Er weist eine Länge von 55,6 m und eine Breite von 23,5 m auf. Beidseitig am 1,4 m breiten Zentralgang befinden sich die Stallabteile (Abb. 5). Auf der einen Seite befinden sich 4 Abteile mit je 2 x 4 Buchten und 1 Abteil mit 2 x 2 x 4 Buchten sowie das Büro mit Servicebereich. Auf der anderen Seite des Zentralgangs sind 3 große Abteile mit je 2 x 2 x 4 Buchten sowie 2 Krankenabteile angeordnet. Zentralgang, Abteilgänge und 2/3 der jeweiligen Buchtenfläche sind mit Betonspaltenböden ausgelegt. Das restliche Drittel der Buchtenfläche ist planbefestigt und mit Warmwasser-Fußbodenheizung ausgestattet. In jeder Bucht befinden sich 10 bis 13 Mastschweine. Für die Futtermittellieferung befindet sich zwischen je 2 Buchten 1 Rohrbreiautomat mit 2 Tränkenippeln. Die Stallkapazität liegt bei insgesamt 1200 Mastplätzen. Alle Abteile wurden in den Messzeit-

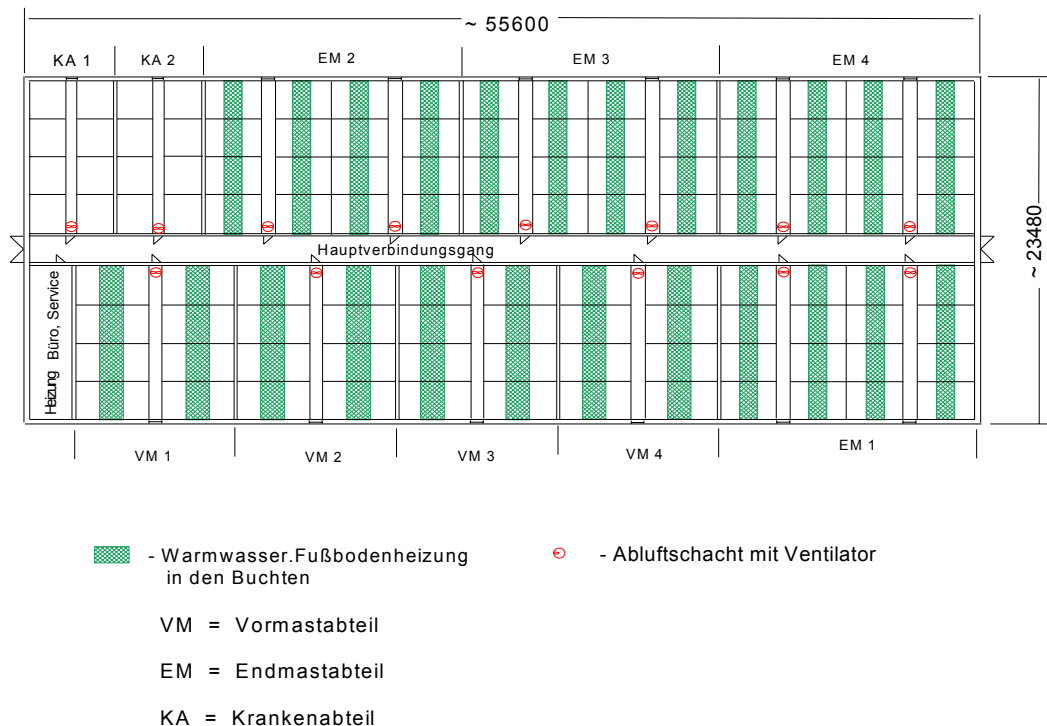


Abb. 5 : Charakteristischer vereinfachter Grundriss des Schweinestalles mit Unterflur-Zuluftführung [27]

räumen nach dem Prinzip der Einphasenmast bewirtschaftet, d.h. ohne zwischenzeitliches Umstallen [21]. Jede Abteiltür weist in Augenhöhe ein Fenster auf, so dass das Abteilgeschehen vom Hauptverbindungsgang aus zu beobachten ist. Der Stall wird ohne Einstreu auf Flüssigmistbasis betrieben. Zur Entmistung dient das sogenannte Badewannensystem.

2.2.2. Lüftungssystem

Die Zuluftführung ist im Sommer- und Winterbetrieb unterschiedlich (Abbildung 6). Im Sommerbetrieb wird die Frischluft durch die offenen Stallgiebeltüren angesaugt und gelangt anschließend durch den Spaltenboden des Zentralganges in den Unterflurbereich. Von dort zweigen Unterflur-Zuluftkanäle in die Stallabteile ab. Diese sind mit Betonspaltenböden abgedeckt (die Spalten haben die Funktion der Zuluftöffnung) und sind gleichzeitig Abteilgang.

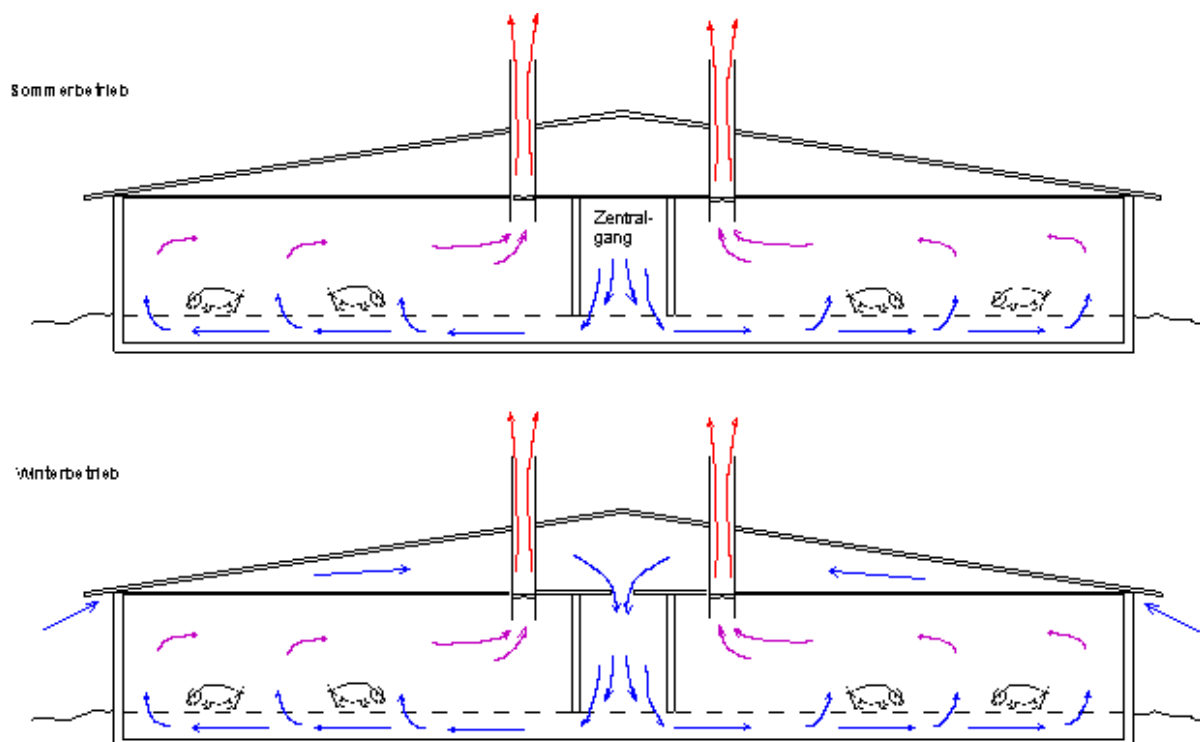


Abbildung 6 : Schnittdarstellung zur Erläuterung des Funktionsprinzips der Lüftung im Schweinestall mit Unterflur-Zuluftführung [27]

Aus dem Abteilquerschnitt ist erkennbar, dass die Zuluft aus dem jeweiligen Unterflur-Abteilgang zunächst nach oben und dann seitlich über die Buchtenabsperungen strömt und so in den Tierbereich gelangt (Abb. 7). Dort vermischt sich die Zuluft mit der Abteilluft und wird entsprechend der Raumströmung über einen senkrechten Ab-

lufschacht nach oben in den Außenbereich geführt. In diesem Zusammenhang ist an dieser Stelle zu vermerken, dass über dem Eingangsbereich jedes Abteilganges sich ein ventilatorbestückter senkrechter Abluftschach befindet. Auf diese Weise haben die Endmastabteile, mit je 2 x 2 x 4 Buchten, 2 Abteilgänge = 2 Abluftschächte und die Vormastabteile, mit je 2 x 4 Buchten, 1 Abteilgang = 1 Abluftschacht. Die Abluftschächte sind mit Ventilator und Messventilator ausgerüstet.

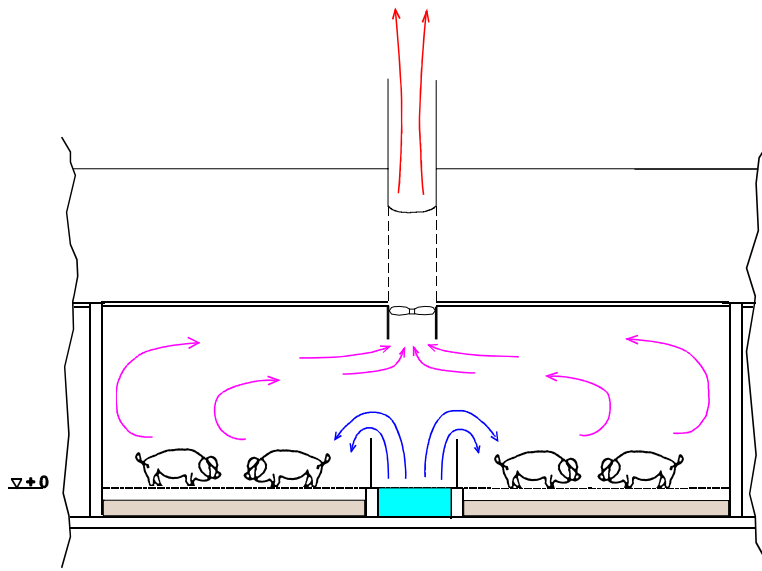


Abbildung 7: Charakteristische Luftführung in einem Abteil eines Zucht- oder Maststalles mit Unterflur-Zuluftsysteem [27]

Im Winterbetrieb wird bei geschlossenen Giebeltüren die Frischluft aus dem Traufbereich der Stallseitenwände zunächst in den Dachraum gesaugt (Abb. 6). Sie gelangt dann mit Hilfe von Pendelklappen von oben in den Zentralgang und von dort durch den Spaltenboden in den Unterflur-Zentralgang sowie anschließend in die Unterflur-Abteilgänge. Der weitere Weg der Luft ist dann wie im Sommerbetrieb: Vermischen mit der Abteilluft, Absaugen der Abluft über einen ventilatorbestückten Abluftschacht [27].

2.2.3. Messungen Unterflur-Zuluftführung

Die Untersuchungen erfolgten in der Sommerperiode vom 25.07. – 16.08.2006 und in der Winterperiode vom 23.01. – 13.02.2007. Vom gesamten Stall wurden zwei unterschiedlich große Abteile (im Sommer und im Winter jeweils die gleichen Abteile) mit Mastschweinen unterschiedlichen Alters ausgewählt. Die klimatechnischen Daten wurden mit Hilfe von Temperatur-/Feuchte-Datenloggern aufgezeichnet. Die Messorte waren:

- Außen (im Traufenbereich der Nordseite des Stalles),
- Zuluft Eintritt Oberkante Spaltenboden des Abteilganges,
- verschiedene Stellen oberhalb der Buchten (außer Reichweite der Tiere) und
- im Winter zusätzlich die Frischluft nach dem Eintritt aus den Dachraum in den zentralen Verbindungsgang.

Der Volumenstrom wurde nach den folgenden drei Methoden bestimmt:

- Messung der Luftgeschwindigkeit im Ansaugquerschnitt des Abluftschachtes durch „Abfahren“ des Querschnittes (Kurzzeitmessung)
- CO₂-Bilanzmethode [18] (Verlaufsmessung möglich)
- Handaufzeichnung der Ventilatorleistung (Prozent der Maximalluftfrate – an der Klimasteuerung angezeigt) drei bis fünf mal am Tag durch das Stallpersonal. Ermittlung des Volumenstroms aus der Kennlinie des Messventilators.

Der Verlauf der CO₂- und NH₃-Konzentration wurde von einem Multigasmonitor registriert. Der Emissionsmassenstrom ist das Produkt aus dem Volumenstrom und der Gaskonzentration. Da beide Größen als Verlauf vorliegen kann auch der Emissionsmassenstrom als Verlauf dargestellt werden.

3. Ergebnisse

3.1. Ergebnisse Erdwärmetauscher

3.1.1. Stallklima

Die wesentliche und gewollte Wirkung des Erdwärmetauschers im Schweinestall ist die Senkung der Zulufttemperatur in der warmen Jahreszeit. Dadurch sollen vor allem die im Tagesgang der Temperatur entstehenden hohen Temperaturspitzen abgebaut werden. Stallklimatische Probleme für die Tiere ergeben sich bei gleichzeitigem Auftreten hoher relativer Luftfeuchte in Verbindung mit Stalllufttemperaturen von über 28 °C. Außerdem stellen die großen Schwankungen von Temperatur und Luftfeuchte in den konventionellen Schweineställen eine weitere Belastung für die Tiere dar. Zu den Stalltemperaturen kann festgestellt werden, dass die erwarteten positiven Wirkungen des Erdwärmetauschers eingetreten sind [19]. Besonders deutlich wird dies in der Sommerperiode (Abb. 8). In der Abbildung sind aus Übersichtsgründen nur drei Lufttemperaturen dargestellt. Zwischen dem 04.08. und 14.08. traten

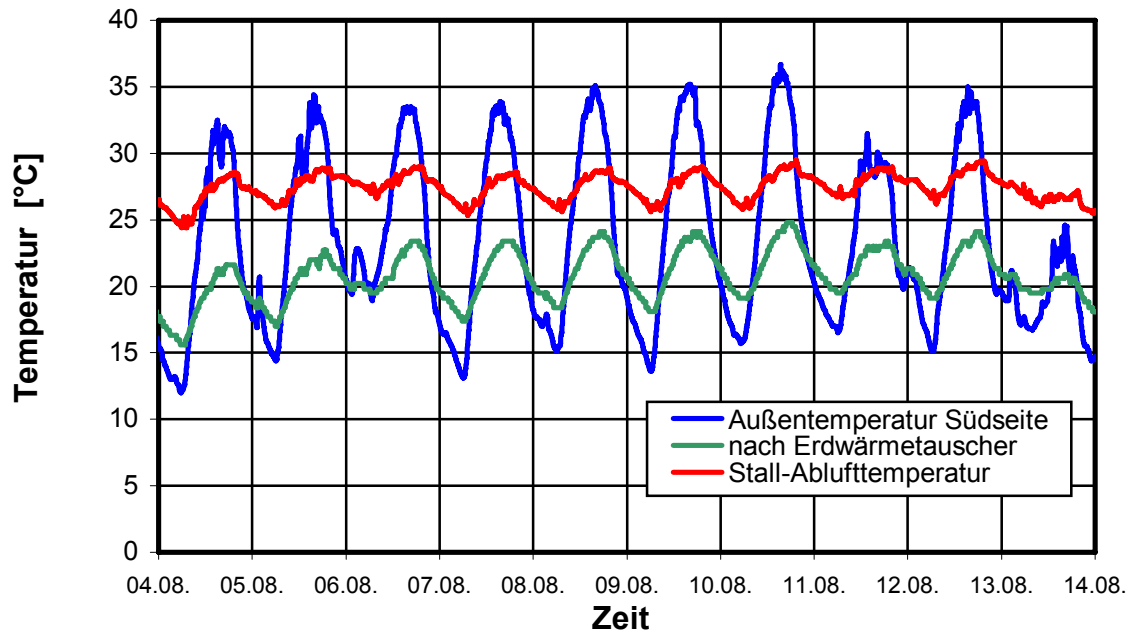


Abbildung 8 : Charakteristischer Verlauf der Außentemperatur, der Temperatur im Zuluftkeller (nach Erdwärmetauscher) und im Stall in einem ausgewählten Zeitabschnitt in der Sommerperiode (2004) [20; 30]

sehr hohe Tagesmaximalwerte auf. Der typische stark schwankende Tagesgang der Außentemperatur in der Sommerperiode ist sehr gut zu erkennen (Lufttemperatur im Eintrittsbereich des Erdwärmetauschers). Während im dargestellten Zeitraum die Außentemperaturen zwischen 12°C und 36°C lagen, konnten die Abteiltemperaturen zwischen 26°C und 29°C gehalten werden. So schwankte beispielsweise die Außentemperatur am 09.08. zwischen 14°C und 35°C, also um 21 K an einem Tag, während sich im Stall die Temperaturen nur zwischen 26°C und 28°C bewegten, also nur um 2 K. Es ist weiterhin festzustellen, dass bereits nach Luftaustritt aus den Tauscherrohren im Zuluftkeller der Tagesgang der Lufttemperatur stark gedämpft war und gleichzeitig die maximalen Zulufttemperaturen bis zu 11 K unter den Maximalwerten der Außentemperatur lagen (vgl. Abb. 8, grüne + blaue Linie). Demzufolge waren auch die Stalllufttemperaturen bis zu 7 K unter der maximalen Außenlufttemperatur des Tages, so am 10.08. mit 36°C zu 29°C (vgl. Abb. 8, blaue + rote Linie). Ein Anheben der rel. Luftfeuchte, beispielsweise durch Luftbefeuchtung, auf ca. 90 % rel. Luftfeuchte bei 29°C, hätte sicher sehr negative Einflüsse auf das Wohlbefinden der Tiere und nachfolgende Auswirkungen. Die Stallluft könnte in diesem Falle kaum noch Feuchtigkeit aus dem Atem der Tiere aufnehmen.

Während bei den Messungen an den warmen Sommertagen die rel. Außenluftfeuchte zwischen 20 und 95 % lag, also in einer Bandbreite von 75 % schwankte, betrug die rel. Luftfeuchte im Stall zwischen 45 und 75 %, schwankte also nur um 30 % (Abb. 9). Gleichzeitig ist charakteristisch, dass an den besonders warmen Tagen

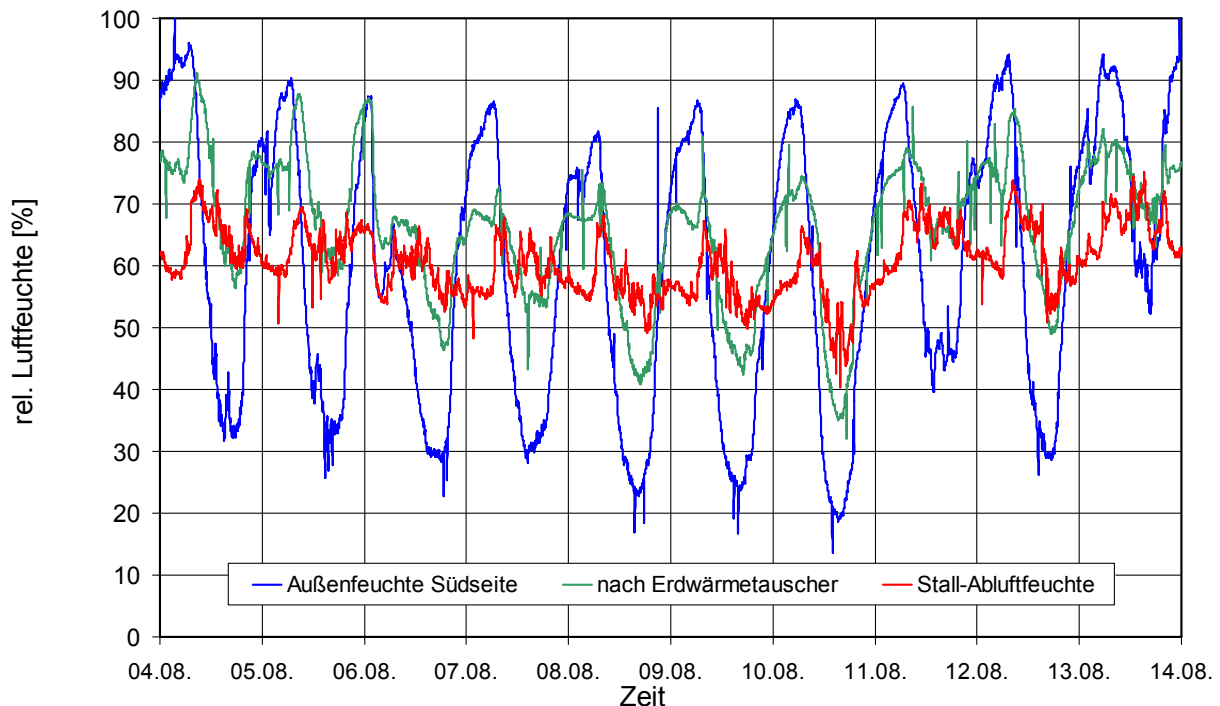


Abbildung 9 : Charakteristischer Verlauf der relativen Luftfeuchte außerhalb des Stalles, im Zuluftkeller (nach Erdwärmetauscher) und im Stall in einem ausgewählten Zeitabschnitt der Sommerperiode 2004 [20; 30]

zum Zeitpunkt des Tagesmaximalwertes der Außentemperatur die rel. Luftfeuchte im Stall in der Regel Werte zwischen 45 und 60 % annimmt – so beispielsweise am 10.08. bei 36 °C Außentemperatur und 29°C Stalltemperatur eine rel. Luftfeuchte im Stall von 45 % (Abb. 9 und 10). Die sich günstig auf das Tierbefinden auswirkende rel. geringe Luftfeuchte zu den Zeitabschnitten der Maximaltemperaturen des Tages in den Stallabteilen ist folgendermaßen zu erklären. Die konditionierte Zuluft kommt in den Stall und wird erwärmt. Dadurch steigt das Feuchteaufnahmevermögen der Luft und ihre rel. Luftfeuchte sinkt demzufolge gleichzeitig. Da die Schweine zur eigenen Wärmeregulation die Abgabe von Feuchtigkeit über die Atemluft praktizieren, wirkt sich dieser Effekt der abgesenkten rel. Luftfeuchte im Stallabteil für sie positiv aus, neben der niedrigeren Zulufttemperatur. Im Winter schwankten die Außentemperaturen während des Messzeitraumes zwischen -11 und +10°C, während im Stall

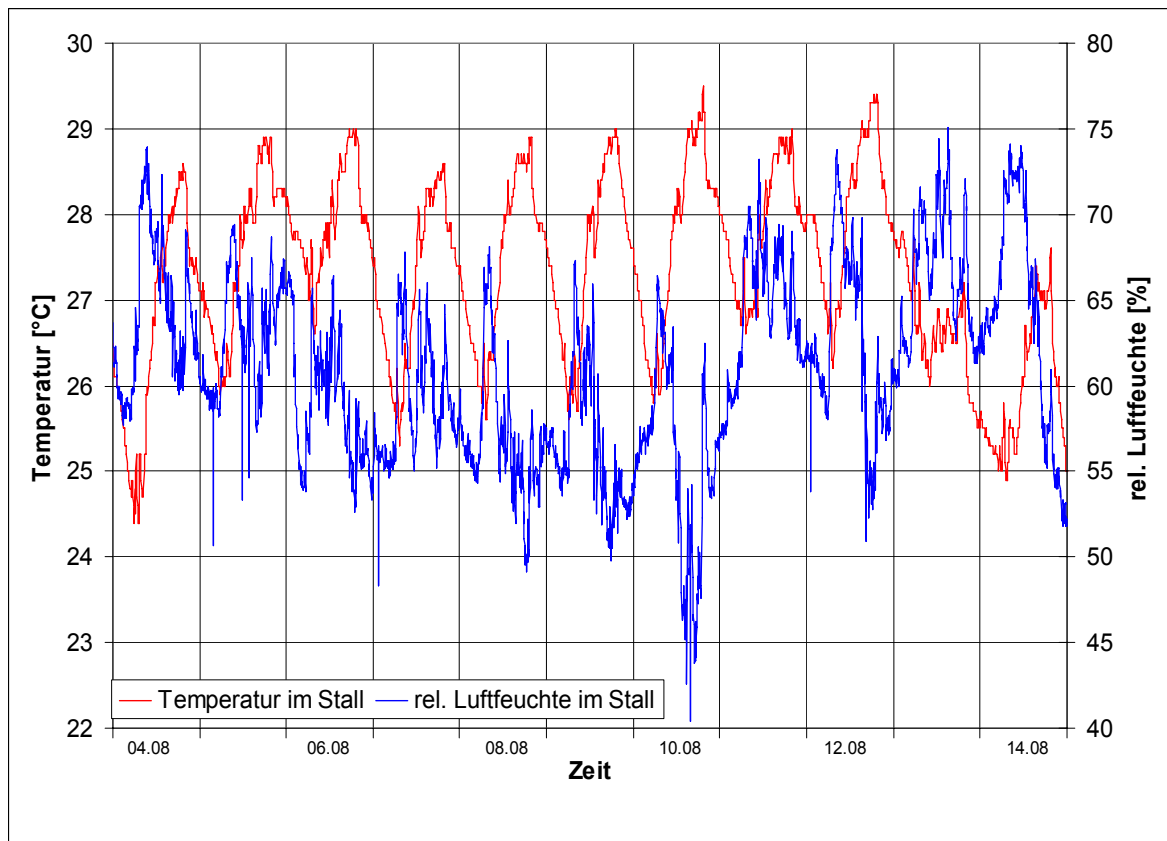


Abbildung 10 : Charakteristisches Beispiel für den Verlauf von Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Stall mit Erdwärmetauscher in der warmen Jahreszeit

zwischen 17 und 21 °C herrschten (Abb. 11). Es ist erkennbar, dass bei Außentemperaturen von -12°C die Zuluft auf immerhin $+1^{\circ}\text{C}$, also um 13 K angewärmt wurde. Bei Außentemperaturen von 0°C wurde die Zuluft immerhin noch um 4 K angewärmt. Man kann also feststellen, dass bei Außentemperaturen von bis zu 5°C ein Anwärmen der Zuluft erfolgte, also ein Aufheizeffekt in der Wintermessperiode zu verzeichnen war.

Die relative Luftfeuchte lag in der Wintermessperiode außen zwischen 48 und 100 % und im Stall zwischen 45 und 85 %. Der Glättungseffekt der Luftfeuchte im Stall durch den Erdwärmetauscher tritt also auch bei kühlen Temperaturen im Winter auf. Durch das Anwärmen der Zuluft auf dem Wege von außen durch die Tauscherrohre in den Zuluftkeller, sinkt bereits die rel. Luftfeuchte (vgl. Abb. 12, blaue + grüne Linie). Auf dem Weg in das Stallabteil wird die Zuluft weiter erwärmt und im Abteil mit der verbrauchten Luft vermischt (vgl. Abb. 11, grüne + rote Linie). Auf diese Weise ist der Verlauf der rel. Luftfeuchte im Stallabteil weiter geglättet (vgl. Abb. 12, grüne + rote Linie).

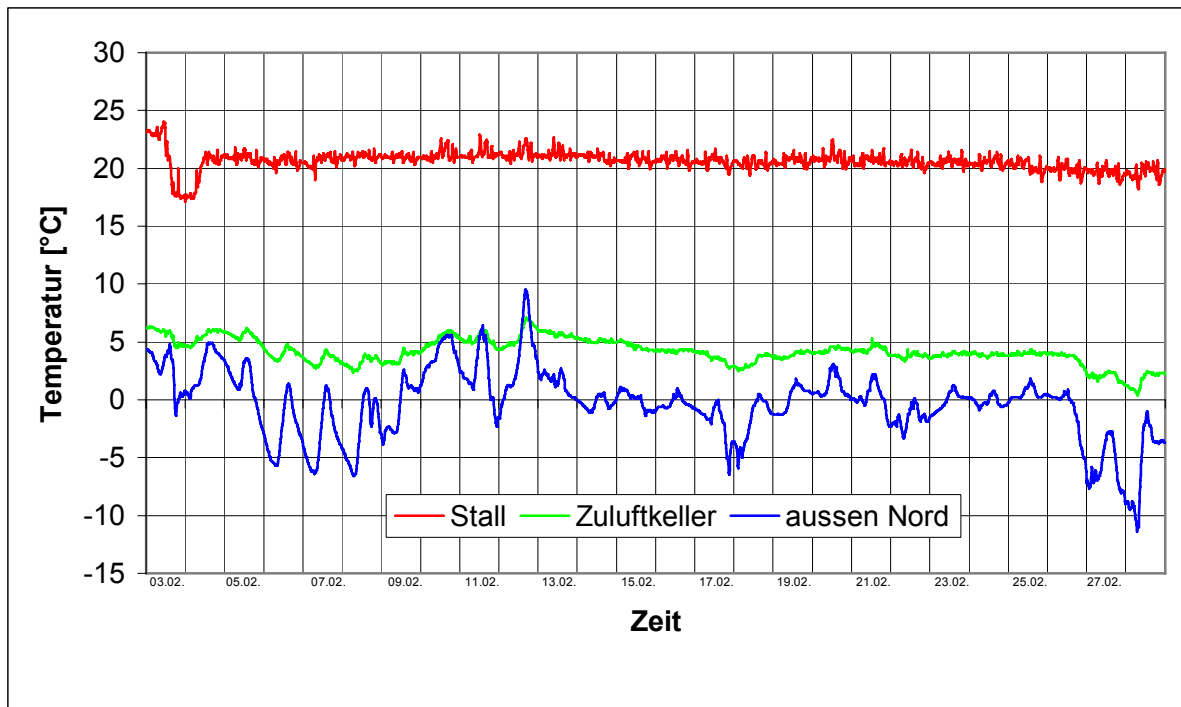


Abbildung 11 : Charakteristischer Verlauf der Außentemperatur, der Temperatur im Zuluftkeller (nach Erdwärmetauscher) und im Stall in einem ausgewählten Zeitabschnitt in der Winterperiode (2004/05)

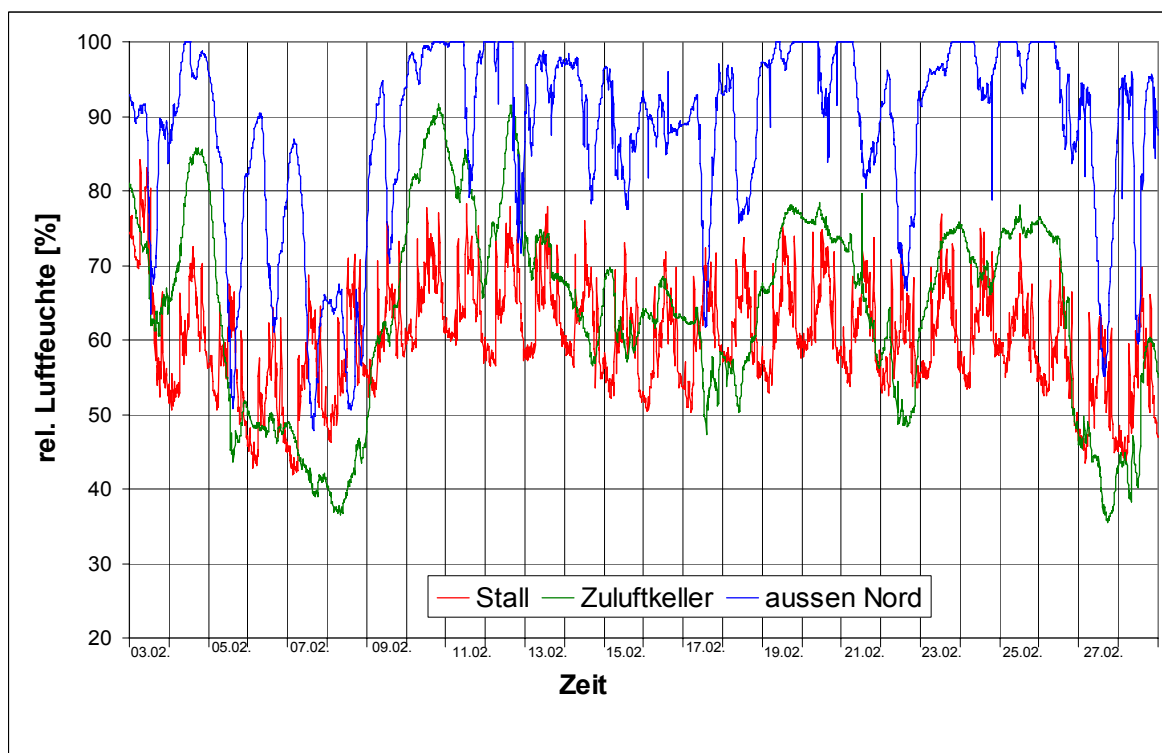


Abbildung 12 : Charakteristischer Verlauf der relativen Luftfeuchte außerhalb des Stalles, im Zuluftkeller (nach Erdwärmetauscher) und im Stall in einem ausgewählte Zeitabschnitt in der Winterperiode (2004/05)

3.1.2. Emissionen von Ammoniak

Betrachtet man die Emissionen aus der Tierhaltung, so spielen aus derzeitiger Sicht die Emissionen von Ammoniak die wichtigste Rolle und werden nachfolgend schwerpunktmäßig betrachtet [14].

Die charakteristischen Verläufe der Ammoniakkonzentration, des Ammoniak-Emissionsstromes und des Luftvolumenstromes zeigen in der Sommermessperiode starke Tagesschwankungen (Abb. 13). Auffallend bei Ammoniak-Konzentration und Ammoniak-Emissionsstrom sind mehrere Tagesspitzen, im Messzeitraum in der

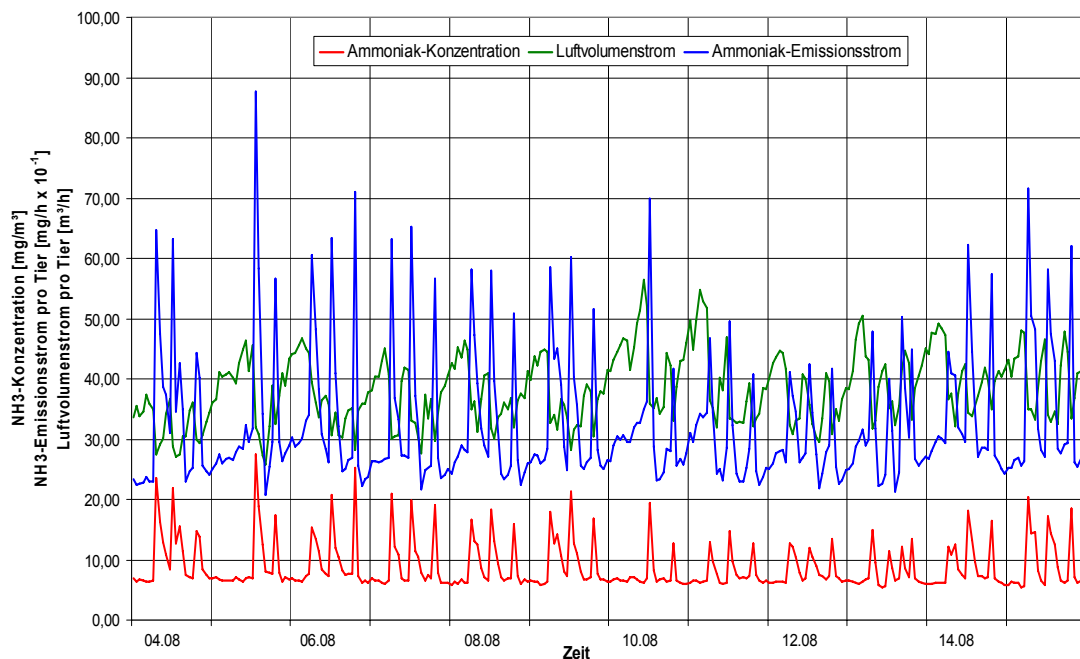


Abbildung 13: Typische Verläufe der Ammoniakkonzentration, des Luftvolumenstromes und des Ammoniak-Emissionsstromes in der Sommerperiode 2004 (mittleres Tiergewicht 50 kg) [19]

Regel 3 markante Konzentrationsspitzen pro Tag. Dabei liegen ca. 99% der Werte zur Ammoniakkonzentration unter 10 mg/m³. Vergrößert man das Diagramm weiter, so ist erkennbar, dass diese Konzentrationsspitzen offensichtlich mit den 3 täglichen Fütterungszeiten im Zusammenhang stehen (Abb. 14). Im vorliegenden Beispiel liegen die Werte der Tagesspitzen kurzzeitig zwischen 22 und 27 mg/m³. Hervorgehoben wurden diese Konzentrationsspitzen offensichtlich durch die erhöhten Tieraktivitäten während der Fütterung. Es konnte im Rahmen der in der Messperiode absolvierten Kontrollbesuche beobachtet werden, dass im Bereich der Fütterungszeiten in den Gruppenbuchten und damit in den Stallabteilen mehr Unruhe als sonst herrschte. Dies deckt sich mit der Erkenntnis, dass durch erhöhte Tieraktivitäten auch erhöhte Partikelemissionen auftreten [22].

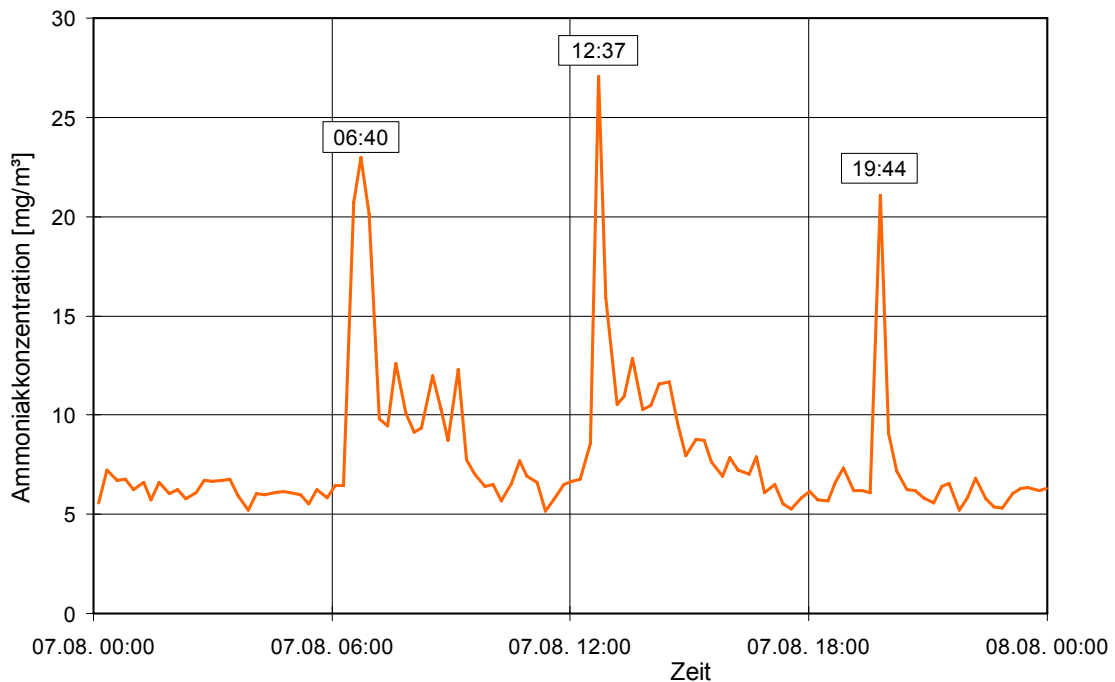


Abbildung 14: Typischer Tagesverlauf der Ammoniakkonzentration in der Abluftöffnung eines Stallabteiles, Sommer 2004, Erdwärmetauscher [19]

Deutlich sind beim Volumenstrom die Tagesschwankungen zu erkennen. Die Emissionsmassenströme veränderten sich in noch stärkerem Maße, da im Tagesverlauf die drei „Fütterungsspitzen“ auftraten (vgl. Abb. 13, blaue Linie). Weiterhin ist erkennbar, dass zu den Zeiten der höchsten Ammoniak-Konzentration auch die höchsten Emissionsströme auftraten. Mit dieser Darstellung wird auch deutlich, dass Emissionsmassenströme nicht durch Kurzzeitmessungen bestimmt werden können sondern längere Messperioden (mindestens Wochen) erforderlich sind [19].

Die Spitzen des Abluftvolumenstromes in der Sommermessperiode lagen bei $4000 \text{ m}^3/\text{h}$, was bei 80 Tieren einen Luftdurchsatz von $50 \text{ m}^3/\text{Tier} \times \text{h}$ ausmachte. Dieser Luftvolumenstrom wurde jedoch nicht zum Zeitpunkt der Tageshöchsttemperatur gemessen, was auf weitere Reserven der Lüftung im Zusammenhang mit der Optimierung der Steuerung hindeutet. So lag beispielsweise die Tageshöchsttemperatur am 10.08. bei 36°C , die Zulufttemperatur aus dem Zuluftkeller zu diesem Zeitpunkt bei 24°C und die Abteiltemperatur bei 28°C , während sich der Abluftvolumenstrom bei $3000 \text{ m}^3/\text{h}$, $\sim 38 \text{ m}^3/\text{Tier} \times \text{h}$ bewegte. Ein Wert, der deutlich unter den Angaben der DIN 18910 liegt [2]. Andererseits ist dabei jedoch nicht zu vergessen, dass eine Erhöhung des Abluftdurchsatzes die Verweildauer und damit die Kühlzeit der Zuluft in den Tauscherrohren verringern würde. Das wiederum hätte eine Verringerung der Absenkung der Zulufttemperatur zur Folge.

In der Wintermessperiode schwankten die Messwerte im Tagesverlauf ebenfalls stark (Abb. 15). Die Ammoniakkonzentration und der Emissionsmassenstrom wiesen wieder die aus den Sommermessungen bekannten drei Tagesspitzen auf (vgl. Abb. 15, rote + blaue Linie). Die Luftrate wurde offensichtlich in den Morgenstunden mit tendenziell steigenden Temperaturen automatisch hochgefahren und nach einer bestimmten Zeit verringert (in der Regel zwischen 8:00 und 10:00, Abb. 15, grüne Kurve). Der Luftvolumenstrom pro Schwein lag, wie nicht anders zu erwarten, unter den Werten der Sommermessperiode. Auffallend ist, dass an den Tagesbereichen gleichbleibender Ammoniakkonzentration, jedoch steigendem Abluftvolumenstrom

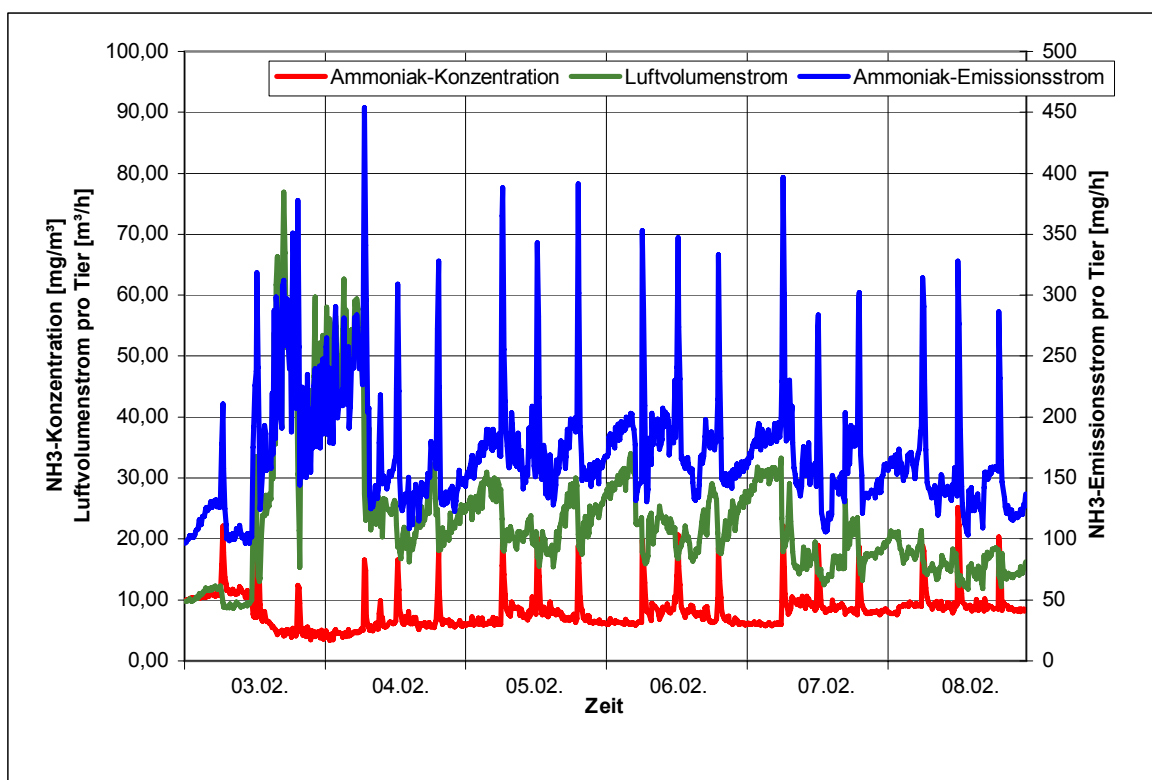


Abbildung 15 : Typische Verläufe der Ammoniakkonzentration, des Luftvolumenstromes und des Ammoniak-Emissionsmassenstromes in der Winterperiode 2004/05 (mittleres Tiergewicht 45 kg) bei Erdwärmetauscher

auch ein steigender Ammoniak-Emissionsstrom zu verzeichnen war (vgl. Abb. 15). Das macht deutlich, dass auch unter den vorhandenen Stallbedingungen höhere Abluftraten auch tendenziell höhere Emissionsströme bewirken.

Die so gemessenen Emissionsmassenströme ermöglichen eine zuverlässige Ermittlung eines auf das gesamte Jahr bezogenen Emissionsfaktors (Tab. 1). Dabei wurden in dieser Tabelle die jährlichen Emissionen unter der Voraussetzung ganzjähriger Stallbelegung berechnet, also 365 Tage im Jahr. Über alle Werte gemittelt ergibt

sich ein Emissionsmassenstrom für Ammoniak von 2,72 kg/a und Tier. Dieser Wert liegt 25 % unter dem Emissionsfaktor der TA Luft von 3,64 kg/a und Tier. Zur Zeit

Tabelle 1: Gemessene Ammoniakemissionen eines Sauenaufzuchtstalles mit Erdwärmetauscher (gemittelt über die jeweilige Messperiode und auf ein Jahr hochgerechnet) [20]

Zeitraum	Lebendmasse je Tier kg	Ammoniakemission mg/h und Tier	Ammoniakemission kg/a und Tier
Sommer	42 bis 57	337	2,96
	82 bis 97	434	3,80
Winter	54 bis 72	181	1,58
	92 bis 110	291	2,55
Gesamtdurchschnitt		311	2,72

geht man bei Flüssigmistverfahren in der Schweinemast (mit Sauenaufzucht vergleichbar) von einem Ammoniakemissionsfaktor von 3,64 kg/a und Tier aus [1]. Durch Maßnahmen der Zuluftkühlung wird bisher eine Verringerung der spezifischen Emissionen in der Größenordnung von 10...20 % genannt [24; 26]. Teilweise werden noch größere Minderungen von Ammoniakemissionen bei Zuluftkühlung mit Hilfe eines Erdwärmetauschers ausgewiesen [5]. Die eigenen Messungen zeigen ebenfalls deutlich verringerte Emissionswerte im Vergleich zu den in der TA Luft genannten (Tab. 1). Dabei lagen die für den Sommerabschnitt gemittelten Ammoniakemissionen bei 3,38 kg/a und Tier und für den Winterabschnitt bei 2,07 kg/a und Tier. Daraus errechnet sich ein Durchschnittswert von 2,72 kg/a und Tier, der im Vergleich zur TA Luft bei 75 % liegt. Geht man von einer praktischen Belegung von 95 % aus, so ergibt sich ein Emissionswert von 2,58 kg/a und Tier, entsprechend 71 % zur TA Luft. Daraus ergibt sich je nach jährlicher Belegungsdauer von 95 bis 100 % eine Verringerung der Ammoniakemissionen um 25 bis 29 %, was 0,92 bis 1,06 kg/a und Tier ausmacht. Diese Ergebnisse zur Verringerung von Emissionen aus Schweineställen

sollten letztendlich auch bei entsprechenden gesetzlichen Regelungen Berücksichtigung finden.

3.1.3. Erfahrungen und wichtige Parameter

Bei Schweinestallneubauten hat sich gezeigt, dass es zweckmäßig ist, die Tauscherrohre unter dem Stallgebäude zu verlegen. Dagegen ist dies bei Umbaumaßnahmen schwierig. In diesen Fällen ist es zweckmäßig, seitlich einer Längsseite des Stalles in einem Abstand von 12-20 m einen Zuluft-Ansaugschacht vorzusehen. Auch bei dieser Rationalisierungsausführung wird die Frischluft in mindestens 2 m Tiefe in die Tauscherrohre des Ansaugschachtes gesaugt [27]. Insgesamt ergeben sich für Erdwärmetauscher folgende wichtige Parameter und Planungsgrößen [19; 27; 29]:

- Die Länge der Ansaugrohre sollte zwischen 12 und 20 m liegen.
- Die Einbautiefe beträgt zweckmäßigerweise 2 bis 2,5 m und die Rohre sollten in Richtung Ansaugkanal um 1 % geneigt sein.
- Mindesttiefe des Ansaugkanales (Zuluftkeller) unter dem Hauptverbindungs-gang beträgt 2,5 m und die Mindesttiefe des Ansaugkanales unter dem Abteil-gang 0,5 m besser 0,8 m. Die Breite des jeweiligen überspalteten Abteilgan-ges sollte zwischen 1 und 1,2 m liegen.
- Pro Stallabteil ist es zweckmäßig, etwa 80 bis 150 Mastplätze zu planen, bei einer Abteillänge von 12m, bis maximal 15 m.
- Wie die Erfahrungen von verschiedenen Betreibern zeigen, ist an warmen Ta-gen im Sommer eine Senkung der Zulufttemperatur um 4 bis 10 K realistisch [27].
- Hauptmerkmale des Erdwärmetauschers sind also eine deutliche Senkung der Zulufttemperaturspitzen im Sommer und eine deutliche Erhöhung der Zuluft-temperatur im Winter.
- Die gekühlte Luft sollte auf möglichst kurzem Wege in die Stallabteile gelan-gen. Lange Wege der gekühlten Zuluft in die Stallabteile bewirken eine Er-wärmung, womit letztendlich der Kühleffekt abnimmt bzw. auch ganz verloren gehen kann.
- Die Zuluftführung von unten durch die Schlitze der Abteilkontrollgangroste und Weiterführung der konditionierten Zuluft nach oben und anschließend seitlich über die geschlossenen vorderen Buchtentrennwände hat sich in der Praxis, insbesondere für die Sommermonate, bewährt.

3.1.4. Fazit zum Erdwärmetauscher

Der Erdwärmetauscher hat gegenüber der konventionellen Lüftung bei der Klimagesaltung in Schweineställen unbestrittene Vorteile, insbesondere an warmen Tagen. Dies ist am Beispiel des Verlaufs der Stalltemperaturen in der warmen Jahreszeit besonders leicht nachvollziehbar (Abb. 16).

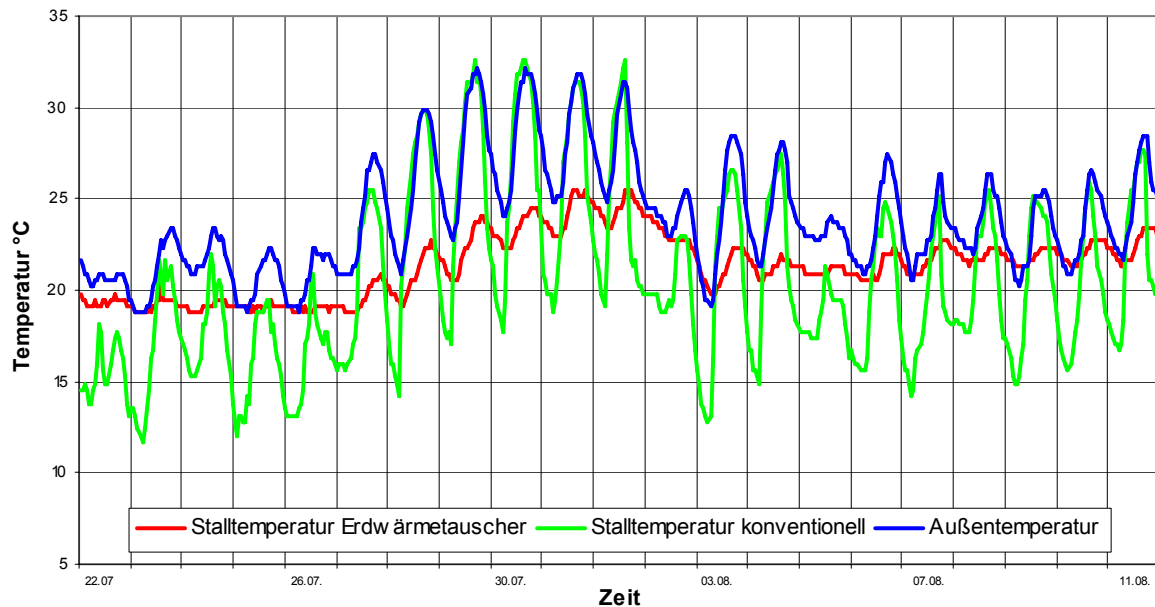


Abbildung 16 : Beispiel für den Verlauf der Außentemperatur sowie der Stalltemperaturen bei konventioneller Unterdrucklüftung und bei Erdwärmetauscher in der warmen Jahreszeit [28]

- Der Einsatz von Erdwärmetauschern wirkt sich in komplexer Weise positiv auf das Stallklima, die Tiergerechtigkeit, die Tierleistung und die Emissionsminderung aus.
- Ammoniakemissionen können um mindestens 25 % gegenüber konventionellen zwangsgelüfteten Ställen gesenkt werden – das entspricht einer absoluten Emissionsminderung von ca. 1 kg pro Jahr und Mastplatz.
- Die zusätzlichen finanziellen Aufwendungen für den Erdwärmetauscher werden bereits durch die Verhinderung hitzestressbedingter Leistungseinbußen während der Sommerperiode mindestens ausgeglichen.
- Interessant könnte auch die Nachrüstung vorhandener Schweineställe mit Kühleinrichtungen sein, die eine ähnliche Wirkung wie der Erdwärmetauscher haben, z.B. mit wasserdurchflossenen Leitprofilen o.ä.. Dazu liegen in Brandenburg derzeit noch keine Ställe/Erfahrungen vor.

- Die beschriebene Bauweise des Erdwärmetauschers, bei der die konditionierte Zuluft auf kurzem Wege in die Stallabteile geführt wird, ist weiter zu empfehlen. Kurze Wege der gekühlten Luft machen sich vor allem in der warmen Jahreszeit bezahlt, denn die Erwärmung der Zuluft, und damit die Senkung der Abteilterperatur, erfolgt auf diese Weise vor allem wie gewünscht im Stallabteil, nicht so sehr auf dem Weg dahin.

3.2. Ergebnisse Unterflur-Zuluftführung

3.2.1. Stallklima

Vom Prinzip her nutzt die Unterflur-Zuluftführung ebenfalls die Möglichkeiten des Erdreichs zur Kühlung der Frischluft (im Sommer) und zum Anwärmen (im Winter). Damit ist direkt betrachtet die Unterflur-Zuluftführung eine spezielle Variante des Erdwärmetauschers. Jedoch sind die Zuluftkanäle in diesem Falle nicht so tief ausgeführt wie beim klassischen Erdwärmetauscher, sondern erreichen die übliche Tiefe der Güllesammeleinrichtungen und sind damit einfacher in den standardmäßigen Stallunterbau zu integrieren. Die Unterflur-Zuluftführung hat also dementsprechend auch ähnliche Auswirkungen auf das Stallklima im Sommer wie der Erdwärmetauscher, allerdings in nicht so ausgeprägter Form [27]. Es ist ersichtlich, dass die Frischluft an den extrem warmen Tagen gegenüber der an der Stallnordseite gemessenen Außentemperatur kaum abgesenkt wurde (Abb. 17, blaue + grüne Linien). Zu beachten ist jedoch, dass die Außentemperatur an der Südseite (dort liegen die untersuchten Abteile) gerade zu den extrem warmen Tageszeiten spürbar über der an der Nordseite gemessenen Temperatur lag. Demzufolge kann man dem Lüftungssystem einen gewissen Kühleffekt bescheinigen. Der Übersichtlichkeit halber sind in diesem Diagramm nur die Tage mit den höchsten Temperaturspitzen ausgewählt (Abb. 17). Die Tagestemperaturschwankungen konnten von 20 K auf 8 K gesenkt werden. Die gemessenen höheren Temperaturen an den besonders warmen Tagesabschnitten am abgeschatteten Bereich der Südseite gegenüber denen der Stallnordseite zeigen, wie wichtig es ist, in der warmen Jahreszeit nicht von der Südseite her die Frischluft anzusaugen (Abb. 18). Es ist letztendlich versenkte Tierleistung und damit verschenktes Geld, wenn im Sommer von der Südseite her die Frischluft angesaugt wird. Eine weiter verbesserte Stallgestaltung unter Berücksichtigung

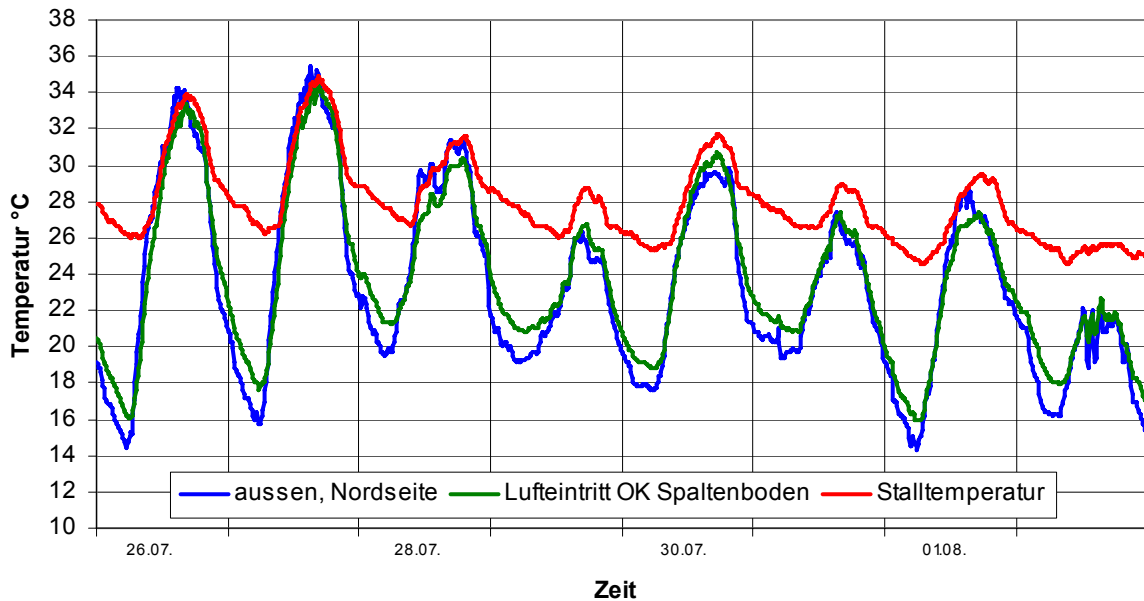


Abbildung 17: Charakteristischer Verlauf der Außentemperatur, der Temperatur beim Frischlufteintritt in das Stallabteil an der Oberkante des Spaltenfußbodens des Abteilganges und im Stallabteil in einem ausgewählten Zeitabschnitt der Sommerperiode 2006 (Unterflur Zuluffführung) [21]

dieses Tatbestandes ist u. a. auch ein Beitrag zu verbesserter Energieeffizienz und weniger Umweltbelastung. Die Zuluftansaugung bei Schweineställen von der Stall-südseite her im Sommer wirkt also offensichtlich in komplexer Weise negativ: Man tut

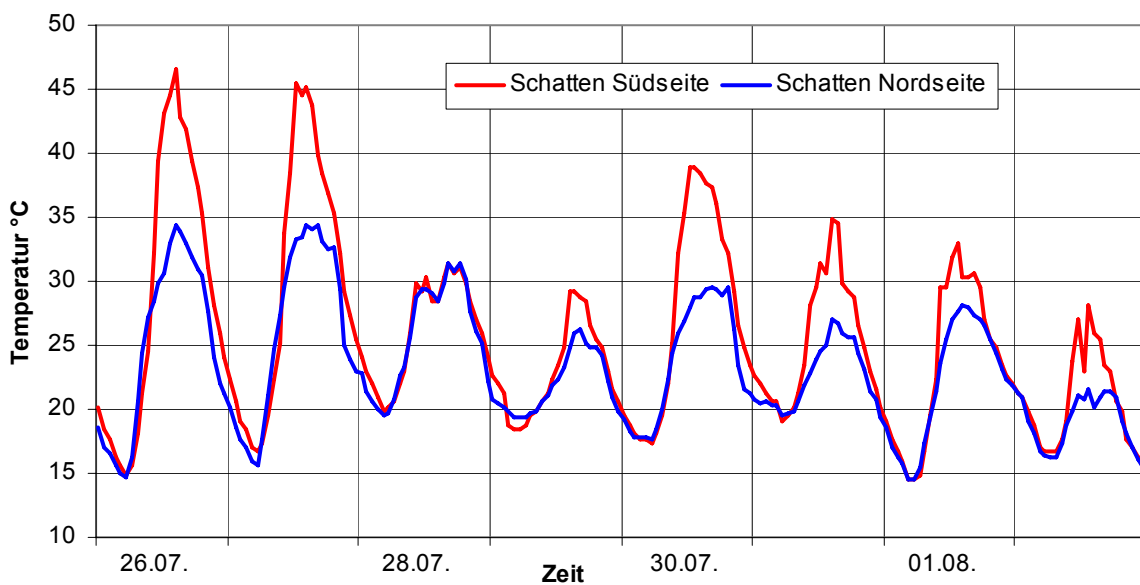


Abbildung 18: Vergleich der Außentemperaturen Stallsüdseite(Schatten) und Stallnordseite(Schatten) an extrem warmen Tagen [31]

damit a.) seinen Tieren, b.) der Umwelt und c.) seinem eigenen Geldbeutel nichts Gutes – eine Konstellation die bedenklich stimmen und deshalb bei zukünftigen Schweinestallplanungen verstärkt Beachtung finden sollte.

Die Außen-Luftfeuchte schwankte zwischen 20 und 100 %, also um 80 %, und im Stall zwischen 30 und 80 %, also um 50 % (Abb. 19). Die maximalen Tagesschwankungen lagen außen zwischen 30 % und 100 % und im Stall zwischen 30 und 75 %.

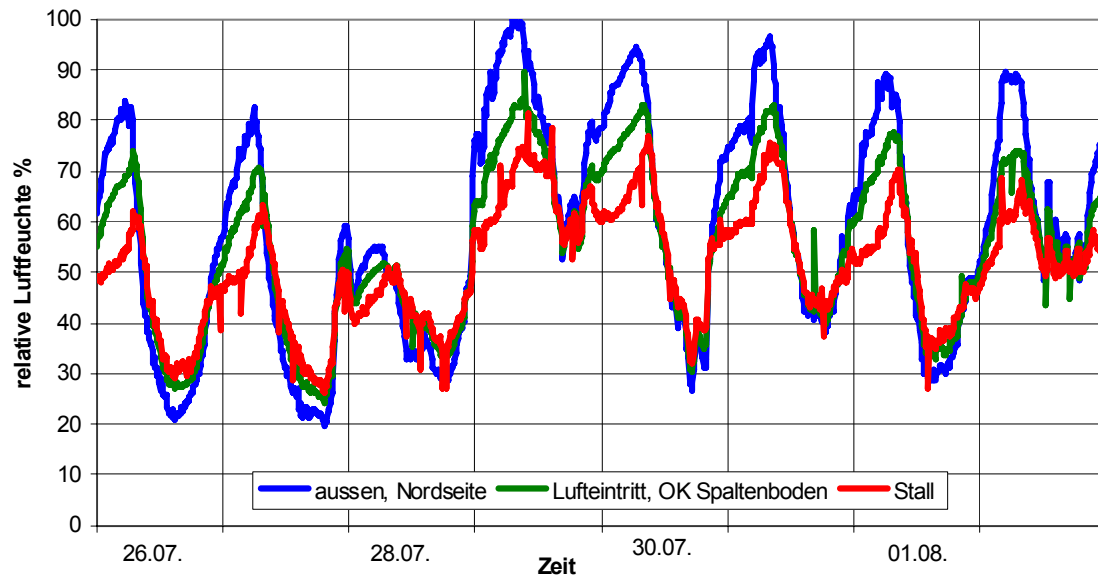


Abbildung 19: Charakteristischer Verlauf der relativen Luftfeuchte außerhalb des Stalles, beim Frischlufteintritt in das Stallabteil an der Oberkante des Spaltenfußbodens des Abteilganges und im Stallabteil in einem ausgewählten Zeitabschnitt der Sommerperiode 2006 (Unterflur-Zuluftführung) [31].

Auch hier konnte die Schwankungsbreite spürbar verringert werden. Vergleicht man den Verlauf der Stalltemperatur mit dem Verlauf der Stall-Luftfeuchte, so ist festzustellen, dass in den Zeitbereichen der höchsten Tagestemperaturen die niedrigsten rel. Luftfeuchten herrschen (Abb. 20). So herrschte am 27.07. kurzzeitig eine Stalltemperatur von 34,5 °C, bei einer relativen Luftfeuchte von 28 %. Im Winter wurde die Stalltemperatur nahezu konstant gehalten, während die Außentemperatur zwischen -11 °C und +7,5 °C schwankte (Abb. 21). Gleichzeitig ist festzustellen, dass bei einer Außentemperatur von -11°C eine Lufteintrittstemperatur an der Oberkante des Spaltenbodens im Abteilgang von immerhin -1 °C gemessen wurde, was eine Lufteerwärmung von 10 K bedeutet (vgl. Abb. 21, blaue + grüne Verlaufslinien vom 25.01 zum 26.01 und vom 10.02 zum 11.02.).

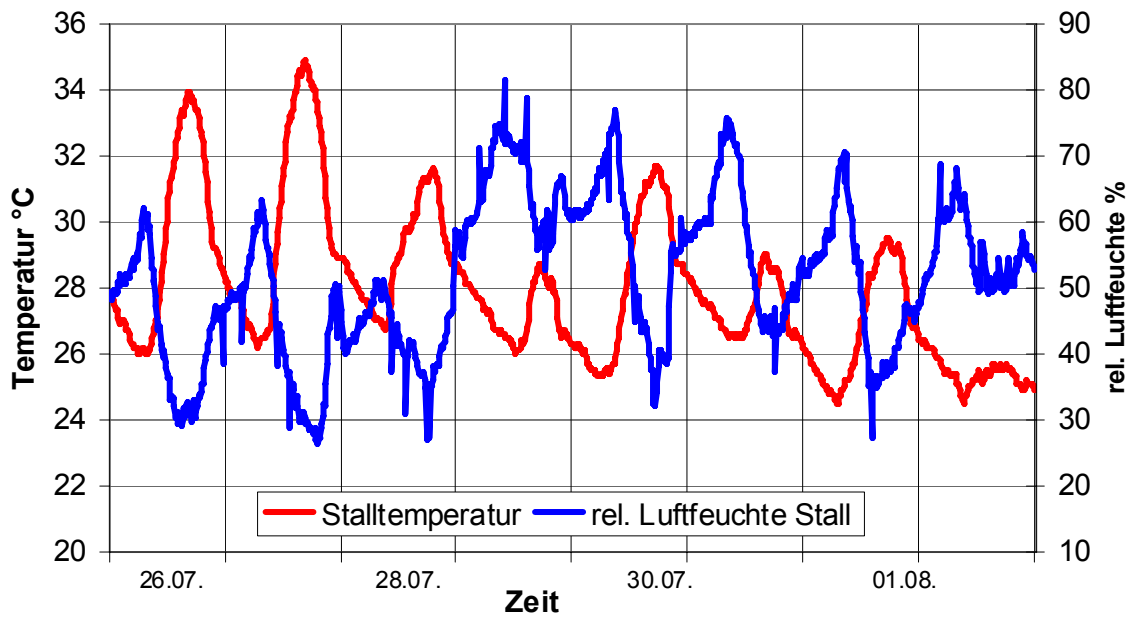


Abbildung 20 : Charakteristisches Beispiel für den Verlauf von Temperatur und rel. Luftfeuchte in einem Stall mit Unterflur-Zuluffführung in der warmen Jahreszeit

Bei Außentemperaturen von +8 °C wurde immerhin noch eine Erwärmung der Frischluft auf 10 °C, also um 2 K gemessen (vgl. Abb. 21, grüne + blaue Verlaufslinien vom 02.02. zum 03.02). Positiv wirkt sich die Erwärmung der Frischluft um bis zu 10 K auf die Zusatzheizung aus, d.h. auf den Energieverbrauch.

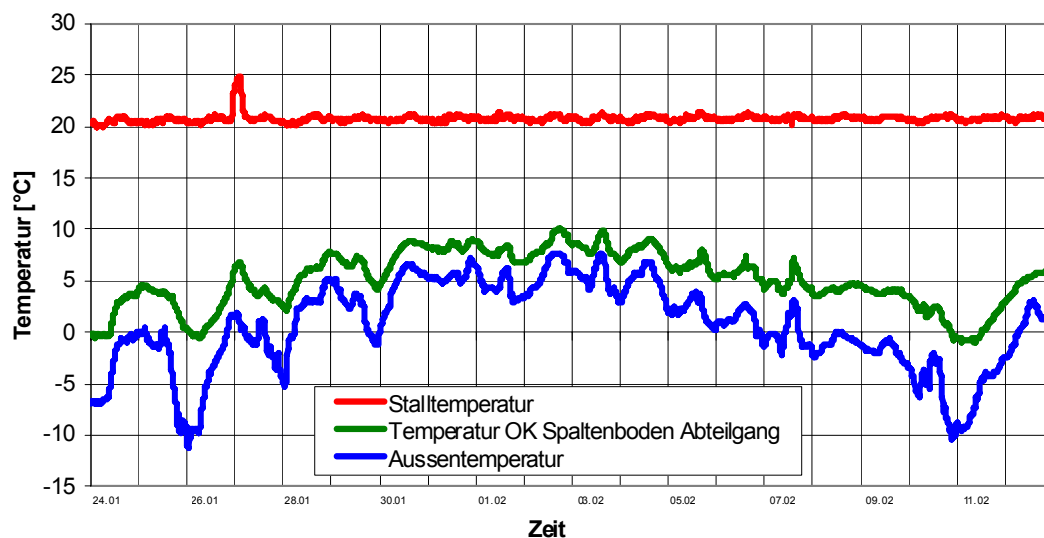


Abbildung 21: Charakteristischer Verlauf der Außentemperatur, der Temperatur bei Lufteintritt in das Stallabteil (OK Spaltenfußboden) und im Stallabteil in einem ausgewählten Zeitabschnitt der Winterperiode 2006/07 (Unterflur-Zulufführung)

In der kalten Jahreszeit lag die relative Luftfeuchte im Außenbereich zwischen 60 % und 100% (Abb. 22, blaue Linie). Durch Frischluftanwärmung wurde die Luftfeuchte bis zum Eintritt an der Oberkante Spaltenfußboden tendenziell etwas verringert, im

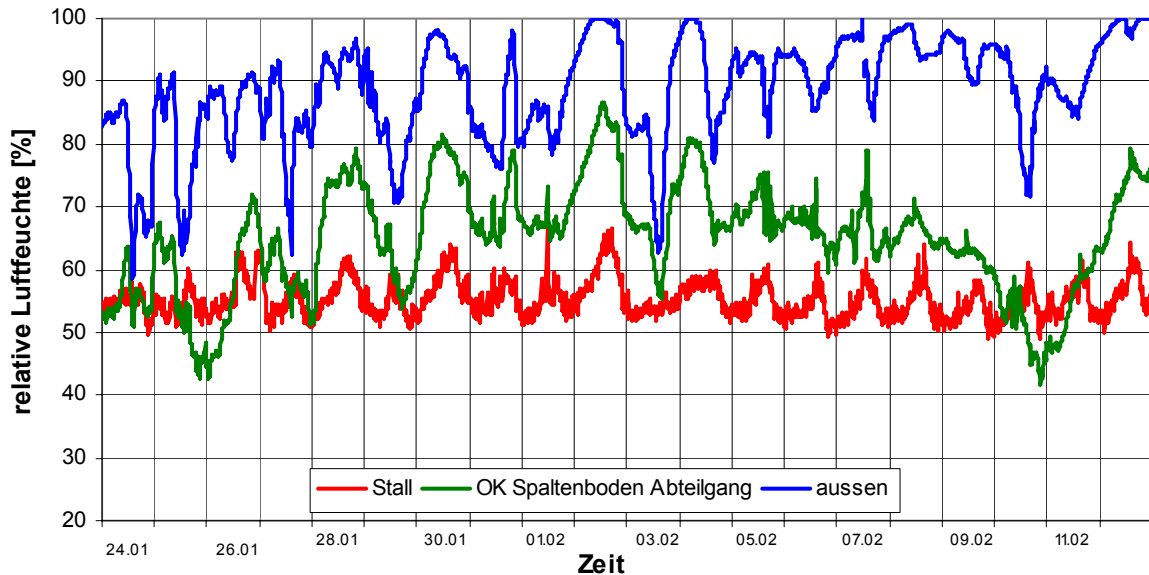


Abbildung 22: Charakteristischer Verlauf der relativen Luftfeuchte außerhalb des Stalles, beim Frischlufteintritt in den Stallbereich an der Oberkante des Spaltenfußbodens des Abteilganges und im Stall in einem ausgewählten Zeitabschnitt der Winterperiode 2006/07 (Unterflur-Zuluftführung)

Schnitt um ca. 20% (vgl. Abb. 22, grüne Linie). Im Stall war in dieser Zeitspanne eine relative Luftfeuchte von 50 bis 65% zu verzeichnen (vgl. Abb. 22, rote Linie). Die erheblichen Tagesschwankungen der rel. Luftfeuchte im Stall wurden also auch in der kalten Jahreszeit spürbar vermindert.

3.2.2. Emissionen von Ammoniak

In der Sommermessperiode schwankte die Ammoniak-Konzentration im Stall zwischen 5 und 10 mg/m³ und lag damit im vorgegebenen Bereich (Abb. 23, rote Linie). Der Ammoniak-Emissionsstrom war starken Schwankungen zwischen 200 und 500 mg pro Tier und Stunde unterworfen, die deutlich überwiegende Zeit aber im Bereich zwischen 200 und 300 mg pro Tier und Stunde (Abb. 23, blaue Linie). Der auf das Tier bezogene spezifische Abluftvolumenstrom bewegte sich zwischen minimal 30 und Spitzen von 75 m³ pro Tier und Stunde. Auffallend ist, dass der Luftvolumenstrom mit steigender Außentemperatur hochgefahren wurde, i. d. R. bis zum frühen

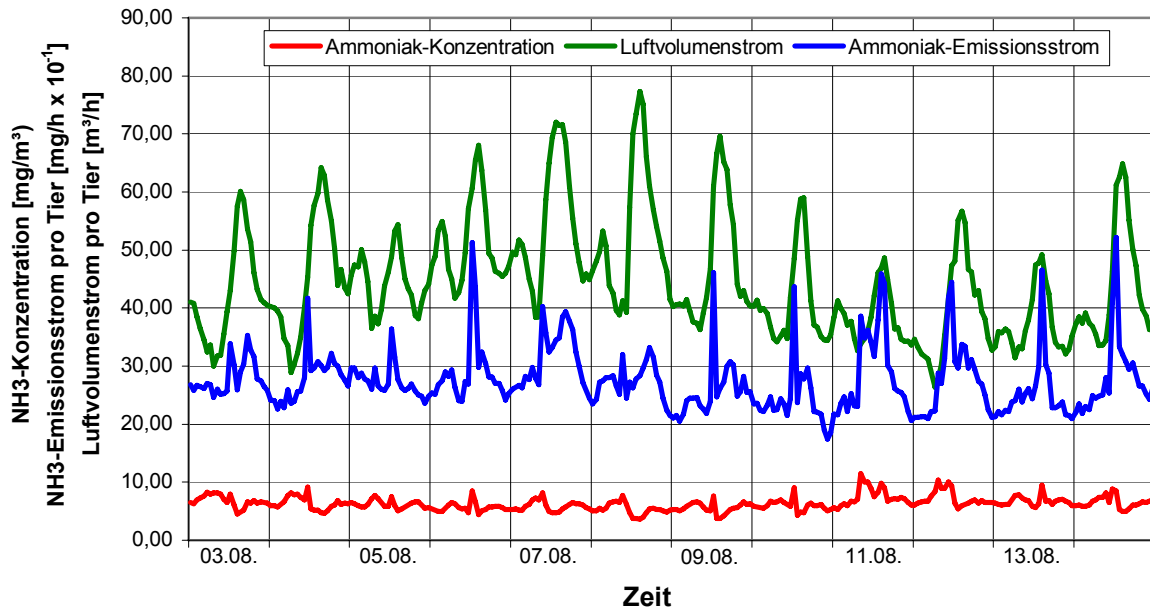


Abbildung 23: Typische Verläufe der Ammoniakkonzentration, des Luftvolumenstromes und des Ammoniak-Emissionsstromes in der Sommerperiode 2006 (mittleres Tiergewicht 87 kg) bei Unterflur-Zuluftführung

Nachmittag und sich dann wieder absenkte (Abb. 23, grüne Verlaufslinie). Daraus ist u. a. ersichtlich, dass die Lüfterleistung und damit der Abluftvolumenstrom in Abhängigkeit von der Abteiltemperatur gesteuert wurde, letztendlich also von der Außentemperatur. Trotz der durch die Unterfluransaugung erfolgten Kühlung der Zuluft musste bei ansteigender Außentemperatur auch der Luftvolumenstrom zur Sicherung einer günstigen Abteiltemperatur erhöht werden. Gleichzeitig ist zu bemerken, dass für die Einhaltung der Stalltemperaturen nach DIN 18910-1 nicht die maximale Sommerluftrate gefahren werden musste. Von Zeit zu Zeit stellt sich immer wieder die Frage, welche Stellgröße hat den größeren Einfluss auf die Tiere und sollte somit den Abluftvolumenstrom dominieren, die Schadgaskonzentration im Stall oder die Stalltemperaturen. Oder ist auch eine zweckmäßige Kombination zwischen beiden möglich. Bisher hat man sich als Stellgröße für die Stalltemperatur entschieden. Interessant ist hier, dass die höchsten Emissionsmassenströme zu den Tagesbereichen der höchsten Abluftvolumenströme zu verzeichnen waren (vgl. Abb. 23, jeweils blaue + grüne Verlaufslinie). Die höchsten Ammoniak-Konzentrationen wurden mehrheitlich jeweils am Tage festgestellt, wo die Tiere tendenziell aktiver als in der Nacht waren (vgl. Abb. 23, rote Verlaufslinie). Die Spitze des täglichen Abluftvolumenstromes wurde an den jeweiligen Nachmittagsstunden erreicht (vgl. Abb. 23, grüne Verlaufslinie).

nie). Auf diese Weise wurden zu den Zeiten der höchsten Tagestemperaturen auch die höchsten Abluftvolumenströme gefahren. Es ist weiterhin festzustellen, dass besonders hohe Emissionsmassenströme in den Zeitbereichen des täglichen maximalen Abluftstromes und/oder zu Zeiten einer besonders hohen Ammoniak-Konzentration ermittelt wurden. Abluftvolumenstrom und Ammoniak-Konzentration im Stall haben dementsprechend auch in diesem Schweinestall großen Einfluss auf den Emissionsmassestrom.

In der Wintermessperiode lag die Ammoniak-Konzentration der Stallluft in der Regel zwischen 10 und 15 mg/m³ (Abb. 24, rote Verlaufslinie). Damit war sie also tendenziell höher als in der Sommermessperiode. Der Abluftvolumenstrom schwankte zwischen 20 und 30 m³ pro Tier und Stunde, war also deutlich niedriger als im Sommer. Auch waren die ausgeprägten hohen Abluftvolumenspitzen zu den Zeitabschnitten der Tageshöchsttemperaturen nicht zu verzeichnen (Abb. 24, grüne Verlaufslinie). Der Emissionsmassestrom bewegte sich zwischen 250 und 380 mg pro Tier und Stunde und lag damit über dem der Sommermessungen (Abb. 24, blaue Verlaufslinie). Dies resultiert offensichtlich aus der höheren Ammoniak-Konzentration im Stallabteil. Weiterhin traten rel. hohe Ammoniak-Konzentrationen bei niedriger Luftrate auf und ein Anstieg der Luftrate hatte einen Abfall der Konzentration zur Folge (vgl.

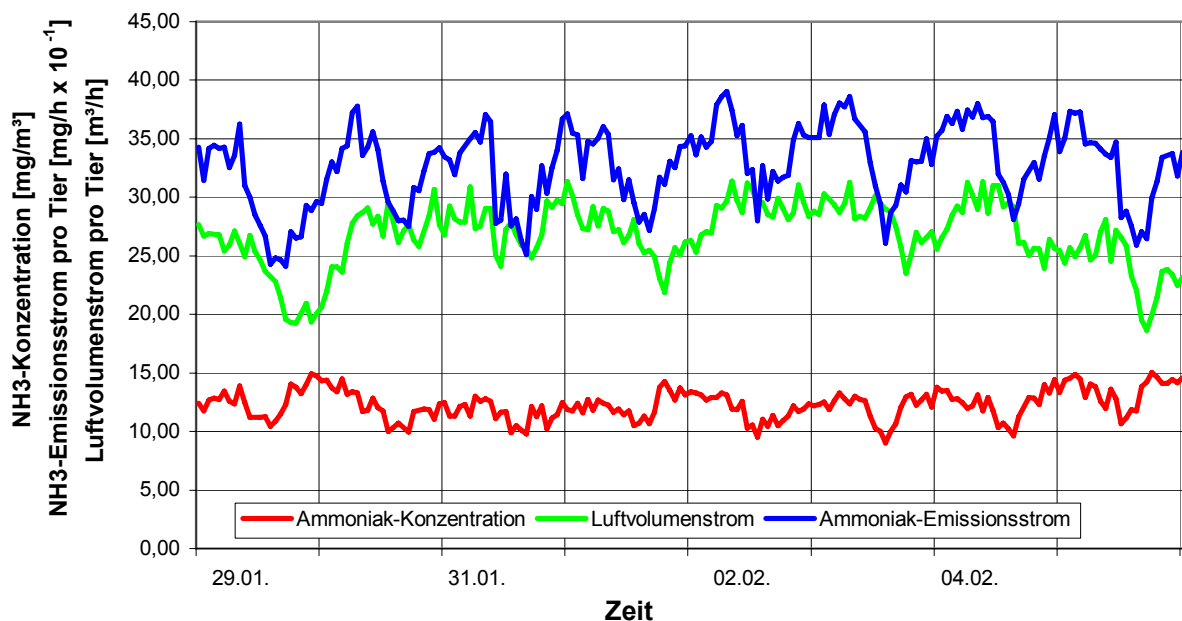


Abbildung 24: Typische Verläufe der Ammoniakkonzentration, des Luftvolumenstromes und des Ammoniakmassestromes in der Winterperiode 2006/07 bei Unterflur-Zuluftführung (mittleres Tiergewicht 76 kg)

Abb. 24, grüne und rote Verlaufslinien). Daraus ist u. a. auch ersichtlich, wie wichtig ein schnelles und möglichst vollständiges Abführen der Exkreme aus dem Tierbereich für die Verringerung der Emissionen ist. Dies bedeutet letztendlich auch die „Herausnahme“ der Exkreme aus dem direkten „Luftbewegungs-Kontaktbereich“ des Stalles.

Der in Abb. 25 dargestellte Winterfall zeigt sehr schön, dass die Klimasteuerung gut funktioniert. Die Stalltemperatur wird nahezu konstant gehalten, obwohl die Außentemperatur zwischen -11 °C und $+7,5\text{ °C}$ schwankt. Weiterhin ist aus dieser Abbildung ersichtlich, dass dies insbesondere durch die Steuerung des Volumenstromes erreicht wird. Bei fallenden Außen- bzw. Zulufttemperaturen fällt auch der Luftvolumenstrom in adäquater Größenordnung und bei steigenden Außen- bzw. Zulufttemperaturen steigt der Luftvolumenstrom wieder entsprechend. Weiterhin ist an einem in der Wintermessperiode aufgetretenen Havariefall erkennbar, wie bei stark fallender Luftrate die Stalltemperatur auch stark ansteigt und nach Beseitigung der Havarie durch Erhöhung/Normalisierung des Luftvolumenstromes auch die Stalltemperatur auf die Normalwerte absinkt (vgl. Abb. 25, 26.01. zum 27.01, rote + braune Verlaufslinien).

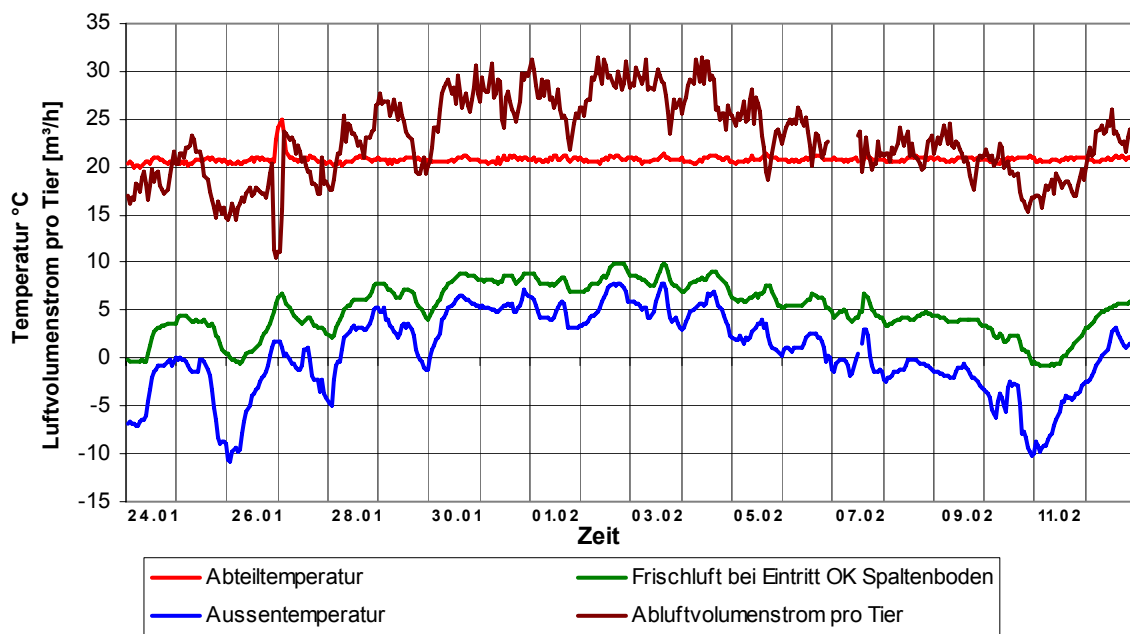


Abbildung 25: Typische Temperaturverläufe außen, im Stall und bei Zulufteintritt OK Spaltenboden sowie Verlauf des Abluftvolumenstromes in der Wintermessperiode beim Unterflur Zuluftsystem [21]

Die mittleren Emissionsmassenströme sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die jährlichen Emissionen wurden unter Berücksichtigung von 365-tägiger Stallbelegung errechnet. Über alle Werte gemittelt, ergibt sich ein Emissionsmassenstrom für Ammoniak von 2,68 kg pro Jahr und Tierplatz, deutlich unter dem Wert der TA Luft mit 3,64 kg pro Jahr und Tierplatz [1; 21].

Tabelle 2: Gemessene Ammoniakemissionen eines Schweinemaststalles mit Unterflur-Zuluftführung (gemittelt über die jeweilige Messperiode und auf ein Jahr hochgerechnet) [21].

Zeitraum	Lebendmasse je Tier kg	Ammoniakemission mg/h und Tier	Ammoniakemission Kg/a und Tier
Sommer	48 bis 69	299	2,62
	77 bis 97	286	2,51
Winter	70 bis 85	321	2,81
	79 bis 94	318	2,78
Gesamtdurchschnitt		306	2,68

3.2.3. Erfahrungen und wichtige Parameter

Insgesamt gesehen ergeben sich für die Unterflur-Zuluftführung in Schweineställen folgende wichtige Planungshinweise und Parameter [17; 27]:

- Der Hauptverbindungsgang des Stalles sollte eine Breite von wenigstens 1,5 m haben und die Abteilmgänge von 1,0 bis 1,2 m.
- Hauptverbindungsgang und Abteilmgang sind überspaltet auszuführen.
- Die Tiefe des überspalteten Ansaugkanales unter dem Hauptverbindungsgang beträgt wenigstens 0,5 m, besser 0,8 m.
- Auch die Tiefe des überspalteten Zuluftkanales unter dem jeweiligen Abteilmgang sollte mindestens 0,5 m, besser 0,8 m aufweisen.
- Für die Abteile sind nach bisherigen Erfahrungen zweckmäßigerweise 80 bis 200 Mastplätze zu planen, bei Abteillängen von 12 bis maximal 15 m.

- Für die Stallausführung mit Unterflur-Zuluftführung ist im Vergleich zu konventionellen Varianten der Unterdrucklüftung kein Mehraufwand je Mastplatz notwendig.
- Man geht davon aus, dass die Zuluftöffnungen zum Zentralgang/Hauptverbindungsgang sowie der Zentralgangquerschnitt je insgesamt die 1,5-fache Fläche der Summe aller Zuluftöffnungen aufweisen sollte.
- Ein weiterer Vorteil bei dieser Bauweise ist die Verringerung des Winddruckes auf die Luftströmung.

3.2.4. Fazit zur Unterflur-Zuluftführung

Die erwarteten Effekte durch die Unterflur-Zuluftführung sind eingetreten. Diese Zuluft-Variante bietet im Vergleich zur direkten Luftansaugung von außen den Vorteil, dass die Zuluft vor Eintritt in den direkten Stallbereich-Tierabteile „aufbereitet“ wird. So ist im Winter eine Anwärmung der Zuluft auf dem Wege in die Stallabteile zu verzeichnen. Im Sommer dagegen kann die sehr warme Außenluft im Zentralgang und Unterflur abkühlen – und gelangt so als gekühlte Zuluft in die Stallabteile.

- Nach bisherigen Erfahrungen/Messungen/Langzeitmessungen werden durch die Unterfluransaugung die hohen Tages-Außen-Temperaturspitzen im Sommer um 0,5 bis 2,0 °C gesenkt. Das wirkt sich bereits sehr positiv auf das Stallklima aus.
- Zu Zeiten der Tages-Außentemperaturspitzen liegen also bei diesem Verfahren die Stalltemperaturen in der Regel unter der Außentemperatur. In konventionell belüfteten Ställen dagegen liegen die Abteilterperaturen zu diesen charakteristischen Tageszeiten eher über den Außentemperaturen.
- Da kein bzw. kaum mehr finanzieller Aufwand im Vergleich mit konventionellen Ställen auftritt – ist der positive Temperatur- und Klimaeffekt – sozusagen kostenlos zu haben.
- Fußbodenheizung und Unterfluransaugung passen zusammen: Wie der Luftführung im Abteilquerschnitt entnehmbar ist (Abb. 7), passen Unterflur-Zuluftführung und Fußbodenheizung als komplexes System gut zusammen, ergänzen sich also sehr gut.

4. Zuluftkühlung und Tierleistung

In der Literatur sind in letzter Zeit zunehmend Ergebnisse zu finden, die auf positive Einflüsse der Zuluftkühlung und damit der Stallraumkühlung auf die Tierleistung hinweisen bzw., dass der Tierleistungsverlust in der warmen Jahreszeit durch Kühlung gemindert werden kann [3; 6; 7; 16]. So werden bei Abbau der Tagestemperaturspitzen in der extrem warmen Jahreszeit um 5 bis 7 K im Verhältnis zur Außentemperatur höhere Masttagszunahmen von 56 g/d und Tier angegeben [6]. Zu hohe Stalllufttemperaturen im Sommer wirken sich also offenbar negativ auf die Tierleistung aus. In diesem Zusammenhang wird vom Sinken der Tageszunahmen um 80 g und eine Verringerung Magerfleischanteiles um bis zu 1 % berichtet, wodurch ökonomisch betrachtet die hitzebedingten Leistungseinbußen im Sommerdurchgang etwa 3,00 € pro Mastschwein betragen. Dabei sind Totalausfälle und schlechtere Futtermittelnutzung noch nicht berücksichtigt [15]. Weiterhin wird bei hohen Stalltemperaturen auf eine verringerte Futteraufnahme und die damit im Zusammenhang stehenden negativen Folgen verwiesen [3; 16]. Im vorliegenden für die Messungen genutzten Stall mit Erdwärmetauscher wurde vom Betreiber auf einen besseren Gesundheitszustand der Tiere sowie keinerlei Leistungseinbrüche in den kritischen Sommermonaten hingewiesen [29]. Der Maststall mit Unterflur-Zuluftführung wird seit über 9 Jahren betrieben und weist gute Ergebnisse auf, so mittlere Tageszunahmen von über 710 g/Tier, eine Futtermittelnutzung von kleiner als 1 : 3 und mittlere Tierverluste von ca. 1,5 %. Auch aus dem Opti-Klimastall, der ebenfalls das Erdreich als Energieträger-Medium nutzt und ähnliche Effekte aufweist wie die Unterflur-Zuluftführung, ist ein positiver Einfluss auf die Tierleistungen bekannt [16].

5. Ökonomische Abschätzung

Der Mehraufwand pro Tierplatz beträgt in dem für die Messungen genutzten Stall mit Erdwärmetauscher nach Angaben des Betreibers und des Stallplaners 25 € pro Tierplatz [12]. Allerdings wurden in diesem Fall zwei fast identische Schweineställe mit insgesamt 1800 Mastplätzen an einem Standort gebaut, so dass sich hier der Mengeneffekt entsprechend preislich positiv auswirkt. Von Tiedemann werden bezogen auf einen Kammstall mit 400 Mastplätzen je nach Ansaugvariante 26 € bzw. 37 € Mehraufwand pro Mastplatz für den Erdwärmetauscher angegeben [25]. In einem Beispiel aus Süddeutschland mit 480 Mastplätzen wird über einen zusätzlichen finanziellen Aufwand von 64 € pro Mastplatz berichtet [5]. In der Schweinehaltung ist

insgesamt die Tendenz zu Ställen mit mindestens 1000 Mastplätzen festzustellen. Bezogen auf diese Tierplatzanzahl kann ein mittlerer zusätzlicher finanzieller Aufwand für den Erdwärmetauscher von 40 € pro Mastplatz für die Aufwandseinordnung angesetzt werden. Bei einer hier niedrig angesetzten Nutzungsdauer von mindestens 30 Jahren ergeben sich bei 7 % jährlichem finanziellem Aufwand (Zinsen, Tilgung etc.) jährliche Kosten von 2,80 € pro Mastplatz [19]. Vergleicht man diese finanziellen Aufwendungen mit den genannten Minderleistungen von 3 € pro Mastplatz und Jahr [15], so ist festzustellen, dass der Erdwärmetauscher offensichtlich bereits durch die positiven Leistungseinflüsse auf die Tiere mindestens kostenneutral ist bzw. sogar mit positiven Effekten gerechnet werden kann. So wird von JEß beim Opti-Klima-Stall mit Erdwärmetauscher durch Futterkostensparnis im Sommer von 1,12 €/a und mittlere Heizkostensparnis von 2,38 €/a bei einem zusätzlichen Aufwand von 20 €/Platz und daraus resultierenden Kosten von 1,5 €/a ein jährlicher Überschuss von 2 € pro Platz genannt [16].

Bei der Variante Unterflur-Zuluftführung treten keine zusätzlichen finanziellen Aufwendungen gegenüber „konventionellen“ Ställen mit Verdrängungslüftung auf [17; 27]. Der in Grenzen zu haltende Mehraufwand beim Stallunterbau wird in diesem Falle durch Einsparungen im „oberen Bereich“ der sonst üblichen standardmäßigen Zuluftführung im Prinzip ausgeglichen.

Bei dieser Betrachtung ist zu beachten, dass einerseits höhere Energiekosten durch erhöhte Strömungswiderstände und andererseits eine Reduzierung der Energiekosten durch geringere Luftraten sowie Heizkosteneinsparungen durch die angewärmte Zuluft im Winter nicht berücksichtigt sind. Zu einer genaueren ökonomischen Bewertung wären weiterführende Betrachtungen und Energieverbrauchsmessungen notwendig.

Die so wichtige Verringerung der Emissionen durch die Anwendung des Erdwärmetauschers ist dabei bisher noch keiner ökonomischen Wertung unterzogen worden.

Alle hier aufgeführten Einschätzungen zur wirtschaftlichen Einordnung kommen zu dem Ergebnis, dass der Erdwärmetauscher in der Schweinehaltung mindestens kostenneutral ist, ja sogar positive Ergebnisse zu erwarten sind, welche im Einzelfall entsprechend der jeweiligen speziellen Bedingungen natürlich unterschiedlich hoch sein dürften.

Wenn man vor hat einen Schweinestall mit Erdwärmetauscher zu bauen, ist es notwendig dies unbedingt bereits bei der Stallplanung entsprechend zu berücksichtigen,

um so die je nach Erdwärmetauschervariante eventuell auftretenden Mehraufwendungen in Grenzen zu halten. Ein späterer Umbau auf einen Stall mit einer Variante Erdwärmetauscher ist zu den o. a. Aufwendungen nicht zu machen und würde dann im Nachhinein richtig Geld kosten.

6. Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse

- Hohe Temperaturen in den Schweineställen über längere Zeiträume beeinflussen die Tierleistungen negativ (sog. Sommerloch) [3; 15].
- Die vorliegenden Erfahrungen unter Beachtung der angegebenen Parameter zeigen, dass Erdwärmetauscher bzw. Unterfluransaugung brauchbare Mittel - zum Abbau von Temperaturspitzen in Schweineställen unserer Region und - damit zur weiteren Verbesserung der Tierleistungen/Effektivität sein können.
- Unter den genannten Aspekten sollten im Zusammenhang mit dem Schweinestallbau die Anwendung von Erdwärmetauscher bzw. Unterfluransaugung als Möglichkeiten zur Verbesserung des Stallklimas und gleichzeitig zur Verringerung des Abluftvolumens und damit der Umweltbelastung stärkere Beachtung finden.
- Entsprechend der vorliegenden Ergebnisse ist der Einsatz einer effektiven Zuluftkühlung für Schweineställe als ein Beitrag zur Verringerung der spezifischen klimarelevanten Emissionen pro Erzeugniseinheit und gleichzeitiger Verbesserung des Wohlbefindens der Tiere zu sehen.
- Während man bei konventionellen Lüftungsverfahren entsprechend TA-Luft bei hohen Außentemperaturen im Stall von 2 bis 3 K höheren Temperaturen ausgeht, liegen die Stalltemperaturen in diesen extremen Tagesabschnitten bei beiden untersuchten Zuluft-Varianten, sowohl Erdwärmetauscher als auch Unterflur-Zuluftsystem, unter den Außentemperaturen. Durch die Zuluft erfolgt in diesen Fällen also eine Senkung der Abteiltemperatur, im Gegensatz zu den sonst üblichen Lüftungsverfahren. Es wird also hierbei an extrem warmen Tagen eine neue Qualität - nicht Erhöhung sondern Senkung der Stalltemperatur durch die Zuluft - erreicht.
- Eine Erhöhung der Tieraktivitäten-Tierbewegungen im Stall erhöht die Emissionen. Die sprichwörtliche „Ruhe im Stall“ ist aus umweltgestalterischer Sicht in der tierhalterischen Praxis also durchaus vorteilhaft.

- Ein Vergleich mit anderen Maßnahmen zur Emissionsminderung in der Schweinehaltung zeigt, dass Erdwärmetauscher und Unterflur-Zuluftsystem Vorteile bringen und demzufolge breiter genutzt werden sollten (Tab. 3).

Tabelle 3: Einordnung von Erdwärmetauscher und Unterflur-Zuluftführung in die wichtigen Maßnahmen zur Emissionsminderung in der Schweinehaltung [13; 20; 21]

Maßnahmen	Minderungspotenzial t Ammoniak/a	Kosten € pro kg Ammoniak- minderung	Kontrollierbarkeit
Außenklimastall /DLG2002/	400	5,1	gut
Proteinangepasste Fütterung/DLG2002/	Abschätzung nicht möglich ¹⁾	1,3	schlecht
Güllelagerabdeckung /DLG2002/	9.500	0,8	gut
Lagerkapazitäts- Erweiterung/DLG2002/	3.300	8,2	gut
Verbesserte Ausbring- technik/DLG2002/	4.400	7,2	mittel
Sofortige Einarbeitung /DLG2002	4.700	< 2,6	schlecht
Erdwärmetauscher	~5.000	mindestens kostenneutral	gut
Unterflur-Zuluftführung	~5.000	mindestens kostenneutral	gut

¹⁾Ergebnisse aus der Befragung in den Modellregionen ließen keine genaue Abschätzung zu, da die Interpretation von „N-angepasste Fütterung“ sehr unterschiedlich war

7. Fazit

- Der Einsatz von Erdwärmetauscher bzw. Unterflur-Zuluftführung wirkt sich in komplexer Weise positiv auf das Stallklima, die Tiergerechtheit, die Tierleistung und die Emissionsminderung aus.
- Die Ammoniakemissionen können um mindestens 25 % gegenüber konventionellen zwangsgelüfteten Ställen gesenkt werden – das entspricht einer absoluten Emissionsminderung von ca. 1 kg pro Tierplatz und Jahr.
- Die zusätzlichen finanziellen Aufwendungen für den klassischen Erdwärmetauscher werden durch Verhinderung hitzestressbedingter Leistungseinbußen während der Sommerperiode mindestens ausgeglichen.
- Bei der Unterflur-Zuluftführung als einer speziellen Variante des Erdwärmetauschers entstehen gegenüber Ställen mit konventioneller Lüftung keine finanziellen Mehraufwendungen, so dass sich die Verringerung von Leistungseinbußen der Tiere sofort im positiven monetären Ergebnis niederschlägt.
- Eine weitere Seite, die ebenfalls im Sinne der verringerten Umweltbelastung eingeordnet werden kann, ist der beachtliche Anwärmeeffekt der Zuluft in der kalten Jahreszeit, wodurch letztendlich Heizenergie eingespart werden kann.
- Die Anwendung von Erdwärmetauscher und Unterflur-Zuluftführung in der Sauenaufzucht und Schweinemast ist somit in Bezug auf die Aspekte Tiergerechtheit, Tierleistung und Umweltschutz sowie monetärem Ergebnis positiv zu bewerten.

8. Literatur:

- [1] Anonymus: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft, Berlin, BUMR, 24.07.2002
- [2] Anonymus: DIN 18910-1(2004); Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe, Beuth-Verlag, Berlin
- [3] Anonymus: Hitze schlägt Sauen auf den Magen, top agrar, Münster(2005)7, S. S16 - S19
- [4] Autorenkollektiv: Messmethoden für Ammoniakemissionen, KTBL-Schrift 401, 2001
- [5] Beck, J. u. a.: Auswirkungen eiweißreduzierter Multiphasenfütterung und eines in einem einstreulosen Kammstall, Betrieb Hügler,(Internet; Stuttgart, 04.07.2002)
- [6] Beyersdorfer, G. u. a. : Luftkühlung in der Schweinemast mit Hilfe der Absorptionskältetechnik, 7. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Braunschweig 01.-03.03.2005, Beitragsband, S. 67-72
- [7] Beyersdorfer, G.; Mußlick, M.: Kühlen mit Wärme, Neue Landwirtschaft, 46(2005) Heft 9, S. 79 – 82
- [8] Brunsch, R. und Hörnig, G.: Zur Variation der Emissionen aus der Broilermast, 6. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2003, 25.-27. März in Vechta, Proceedings p. 311-316
- [9] Brunsch, R. und H.-J. Müller: Emissionsfaktoren der Geflügelhaltung, Agrartechnische Forschung 11(2005) Heft 3
- [10] Büscher, W.: Die neue Stallbaunorm DIN 18910-1: Wärmeschutz geschlossener Ställe, Bauen für die Landwirtschaft(2004)2, S. 3-5
- [11] Claes, S., Vranken, E., Beckmans, D.: Wie viele Messtage sind für eine verlässliche Schätzung der Ammoniakemissionen aus Stallgebäuden notwendig?, 6. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2003, 25.-27. März in Vechta, Proceedings p. 228- 233
- [12] Dekker, H.: Informationsmaterial der Fa. Devrie Installationstechnik, Melle-Gerden, Angebot 001689, 18.08.2003
- [13] Döhler, H.; Dämmgen, U. : So verringern Sie Emissionen, DLG Mitteilungen, Frankfurt/M. 117(2002)5, S. 18 - 21
- [14] Döhler, H. et al.: Emissionen von Tierhaltungsanlagen und Möglichkeiten zur Emissionsminderung; BayLfU Fachtagung 10.07.2003, 23 S.; www.bayern.de/lfu/bestell/ta_luft_10_7_03/emissionen_3.pdf

- [15] Ellersiek, H.-H.: Abkühlung gefällig ?; top agrar, Münster(2005)5, S.16-19
- [16] Jeß, H.-J.: Ökonomischer Nutzen von Opti-Klimaställen mit Erdwärmetauscher, Vortrag 29.03.2007, Verband der Landwirtschaftskammern Berlin, FA Landw. Bauen
- [17] Kempkens, K.: Auf die Lüftung kommt es an; DGS-Spezial, August 1998, S. 18-23
- [18] Müller, H.-J., Stollberg, U., Venzlaff, F.-W.: Erdwärmetauscher in der Sauenaufzucht – eine Möglichkeit zur Verbesserung des Stallklimas und zur Emissionsminderung, Landtechnik; Münster(2005) Heft 4, S.212-213
- [19] Müller, H.-J., Stollberg, U., Venzlaff, F.-W.: Erdwärmetauscher in der Saueaufzucht, Agrartechnische Forschung 11(2005) Heft 4, S. 100 – 107
- [20] Müller, H.-J., Stollberg, U., Venzlaff, F.-W.: Dämpfung im Erdreich – Erdwärmetauscher können mehr als Ställe kühlen, Neue Landwirtschaft 46(2005) Heft 12, S. 61 – 64
- [21] Müller, H.-J.; Venzlaff, F.-W.: Untersuchung einer Unterflur-Zuluftführung in der Schweinemast – Einfluss auf Stallklima und Ammoniakemission; Landtechnik; Münster(2007) Heft 4, S. 226–227
- [22] Nannen, Ch.; Büscher, W.: Einfluss der Tieraktivität auf Staubfreisetzung und Partikelemissionen, Landtechnik, Münster(2006)H.1, S. 36-37
- [23] Ratschow, J.-P. u. a. : Kühlung von Schweineställen, DLG-Merkblatt 332, Frankf./M. 10/2003
- [24] Snell, H., Van den Weghe, H.: Reduktion of Ammonia Emissions and Optimization of the Stable Air Temperature by using Earth-Tube Heat Exchangers, ASAE/CSAE-SCGR-Animal Meeting 18.-21.07.1999 Toronto, ASAE Paper No.994133
- [25] Tiedemann, H.: Erdwärmetauscher für Schweineställe, KTBL-Schrift 340, Darmstadt, 1991
- [26] Van den Weghe: Mit welchen technischen Entwicklungen kann gerechnet werden?, Ammoniak in der Umwelt, Gemeinsames Symposium, 10. bis. 12. Oktober 1990 in Braunschweig, KTBL-Schrift, S. 45.1-45.17
- [27] Venzlaff, F.-W.: Extreme Temperaturen der Zuluft vermeiden, Neue Landwirtschaft, Berlin 12(2001)12,
- [28] Venzlaff, F.-W. Vortrag 2002 Unterschiede zwischen Erdwärmetauscher und konventioneller Lüftung im Schweinestall, Bad Zwischenahn DLG-Arbeitskreis Schweinehaltung 06/2002

- [29] Venzlaff, F.-W.; Redel, H.; Cord-Kruse, B.;; Mit Erdwärmetauscher das Stallklima optimieren, dlz-Agrarmagazin, München (2003)11, S. 134 - 138
- [30] Venzlaff, F.-W.; Müller, H.-J.: Lüftung mit verbesserter Tiergerechtheit und verringerten Emissionen; DLG AK Haltungstechnik Schwein, Vortrag 05/2007, Boxberg
- [31] Venzlaff, F.-W., Müller, H.-J.: Untersuchungen zu Stallklima und Ammoniak-Emissionen bei Erdwärmetauscher und Unterflur-Zuluftführung, Förderkreis Stallklima, Vortrag, 11.09.2007, Boxberg

**Ministerium für Ländliche Entwicklung,
Umwelt und Verbraucherschutz
des Landes Brandenburg**

Referat Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Heinrich-Mann-Allee 103

14473 Potsdam

Telefon: 0331/866-7017

Fax: 0331/866-7018

www.mluv.brandenburg.de

pressestelle@mluv.brandenburg.de

**Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft
und Flurneuordnung**

Am Halbleiterwerk 1

15236 Frankfurt (Oder)

E-Mail: poststelle@lvf.brandenburg.de

Internet: www.mluv.brandenburg.de/info/lvf