# Verfahrensvergleich von Raum- und Zonenheizung bei der Ferkelaufzucht

**Wolfgang Büscher, Jens Kluge** und **Werner Frosch**
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrartechnik und Landeskultur, Halle

*Nach nun zweijährigen Untersuchungen können verschiedene lüftungs- und heizungstechnische Varianten für die Ferkelaufzucht umfassend bewertet werden. Nicht nur die Wirtschaftlichkeit der Varianten, auch das Liegeverhalten, die Raumluftqualität und die Schadgasemissionen wurden berücksichtigt. Hinsichtlich der konsumierten Elektroenergie lagen die Einsparungen durch EC-Energiesparventilatoren im Durchschnitt bei über 50 %. Im Bezug auf die Heizenergie betrug die Einsparung bei den Varianten mit Gaskanonen ebenfalls über 50 % gegenüber der Warm-Wasser-Fußbodenheizung auf der Basis von Gasthermen. Die Fußbodenheizung bietet allerdings Vorteile im Liegeverhalten der jungen Ferkel und bei den Parametern der Luftqualität.*

**Schlüsselwörter**
Heizung, Stallklima, Lüftungstechnik

## Einleitung und Zielsetzung

Für Berater und bauinteressierte Landwirte besteht bei der Planung von Ferkelaufzuchtställen große Unsicherheit hinsichtlich der passenden Heizungstechnik und der tiergerechten Bodengestaltung. Um dieser Planungsunsicherheit zu begegnen und um belastbare Daten auf der Stallebene zu erhalten, wurde mit Unterstützung der AEL und sechs verschiedenen Lüftungs- und Heizungsunternehmen ein Langzeitversuch im Agrarunternehmen Barnstädt (Kreis Querfurt, Sachsen Anhalt) angelegt.
Ziel der nun abgeschlossenen Langzeituntersuchungen war der Vergleich verschiedener Heizungsverfahren in der Ferkelaufzucht sowie Abluftventilatoren im Hinblick auf den Konsum von Heiz- und Elektroenergie. Die Erfassung der tierischen Leistung und des Liegeverhaltens der Ferkel sollte eine umfassende Betrachtung gewährleisten.

## Material und Methode

In den Untersuchungen sollte ein energetischer Vergleich von Ferkelaufzuchtabteilen mit unterschiedlicher technischer Ausrüstung erfolgen. Dabei war nicht nur der Elektroenergieaufwand für die Prozesstechnik (insbesondere der Aufwand für den Luftwechsel) sondern auch der Heizenergieaufwand fester Bestandteil des Vergleichs. Da an die Erfassung beider Energieströme unterschiedliche messtechnische Anforderungen gestellt werden, sind getrennte Erfassungsmethoden notwendig.

**Ermittlung des Energieaufwandes für den Luftwechsel**
Der vom Steuergerät und den Ventilatoren eines Stallabteils benötigte Strom läßt sich elektrotechnisch problemlos über die üblichen Stromzähler ermitteln. Auch die Beleuchtung und andere abteilspezifische Schaltkreise sind so erfassbar. Lastspitzen sind für die Anschlussleistung der Anlage wichtig. Sie können über eine bewährte Technik zur Lastgangaufzeichnung an den ohnehin benötigten Stromzählern ermittelt werden.
Um eine Aussage über den spezifischen Energieverbrauch der Gesamtanlage [kWh / 1000 m³ geförderte Luft] machen zu können, ist darüber hinaus die kontinuierliche Erfassung des Luftvolumenstroms notwendig. Dies ist derzeit nur mit kalibrierten Messventilatoren möglich. Diese Sensoren bestehen aus einem zweiflügligen Ventilatorblatt, das den gesamten Kanalquerschnitt abdeckt. Die Drehfrequenz, die über berührungslose Näherungssensoren ermittelt wird, ist oberhalb der Trägheitsgrenze direkt proportional zur Höhe des Luftvolumenstroms [2].

**Ermittlung des Heizenergieaufwandes**
Der Wärmebedarf eines Raumes, der durch Heizung abzudecken ist, ergibt sich kalkulatorisch aus dem Wärmedefizit bei einer Wärmehaushaltsberechnung (Wärmebilanz). Dieser Planungsschritt ist notwendig, um die tierschutzrechtlich geforderten Mindesttemperaturen für die Ferkelaufzucht einzuhalten [8]. Dabei wird die von den Tieren erzeugte (sensible) Wärme den Verlustgrößen gegenüber gestellt. Wärmeverluste sind die Transmissionswärmeverluste durch raumumschließende Bauteile und die Lüftungswärmeverluste durch den zur Abfuhr der Raumlasten notwendigen Luftaustausch nach DIN 18 910 (Gleichung 1) [4].

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

Die Wärmeverluste durch die raumumschließenden Bauteile werden nach Gleichung 2 berechnet.

$$\dot{Q}_{Bauteil} = Fläche_{Tiere} \cdot k\text{-}Wert_{Bauteil} \cdot (\upsilon_{Innenseite} - \upsilon_{Außenseite}) \quad (2)$$

Dabei beschreibt der k-Wert (Gleichung 3) den Wärmestrom durch einen Quadratmeter Wand je Kelvin Temperaturunterschied in [W / m² * K] vom hohen zum niedrigen Temperaturniveau.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \cdot\cdot + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad (3)$$

mit:
$\alpha_i$ = Wärmeübergangskoeffizient innen = 5
$\alpha_a$ = Wärmeübergangskoeffizient außen = 25

Die Wärmeverluste durch die raumumschließenden Bauteile lassen sich kalkulatorisch unter Berücksichtigung der Temperaturdifferenz ($L_{Innen}$ - $L_{Außen}$) ermitteln. Auch die Wärmverluste durch den Luftwechsel werden planerisch auf der Basis der DIN 18 910 ermittelt. Für einen Verfahrensvergleich unter Praxisbedingungen müssen die Lüftungswärmeverluste der Abteile jedoch kontinuierlich erfasst werden. Die Luftvolumenströme werden mit Hilfe der oben beschriebenen Messventilatoren erfasst, die Differenz der Wärmeinhalte von Abluft und Zuluft durch Temperatur und Luftfeuchtemessung in beiden Luftströmen.
Da ein Stall systemtheoretisch nur unter Berücksichtigung der im Futter und im

Tierkörper gebundenen Energie ein energetisches Bilanzgleichgewicht aufweist, müssen zur Erfassung des tatsächlichen Heizenergieaufwandes direkte kalorimetrische Messungen an den Heizungssystemen bei Einhaltung der gewünschten Raumtemperatur erfolgen. Hierzu sind bei Warm-Wassersystemen "Wärmemengenzähler", bei Gasheizungen "Gasvolumen-Zähler" notwendig. Diese wurden an den installierten Heizungssystemen installiert und wöchentlich abgelesen.

**Liegeverhalten und Luftqualität**

Im zweiten Versuchsabschnitt (Winter 1999/2000) erfolgten zusätzlich Messungen zum Liegeverhalten der Ferkel sowie zur Luftqualität in den verschiedenen Stallabteilen und der von ihnen ausgehenden Umweltbelastung.

Das Liegeverhalten der Ferkel wurde in zwei Abteilen mit und ohne Fußbodenheizung mit Hilfe von stationär installierten Videokameras parallel erfasst. Die Aufzeichnungen wurden mit Hilfe einer Software für ethologische Untersuchungen ("Observer") ausgewertet. Dauer und Häufigkeit der Verhaltensmerkmale "Liegen" und "nicht Liegen" gingen in den Verhaltensvergleich ein.

Die Luftqualität und das Emissionsverhalten der Vergleichsvarianten wurde mit Hilfe einer bewährten Gasanalytik (Brüel und Kjaer Multigasmonitor; Messstellenumschalter, Messventilator in den runden Abluftkaminen) ermittelt. Darüber hinaus wurden auch Messungen zur Staubkonzentration, zur Geruchskonzentration und zur Homogenität der Klimafaktoren im Raum durchgeführt.

**Varianten und Zeitplan**

Die Versuchsvarianten wurden mit den beteiligten Unternehmen nach den Gesichtspunkten "Untersuchungsbedarf" und "Energieeinsparungspotential" ausgewählt. **Tabelle 1** zeigt die Vergleichsvarianten der Untersuchungen. Nach drei Versuchsdurchgängen sollten für den zweiten Untersuchungsabschnitt die am günstigsten abgeschnittenen Verfahren weiter variiert werden, um energetische Vergleiche zwischen verschiedenen (oft als gleichwertig eingestuften) Produkten zu erhalten.

Tabelle 1: Beschreibung der Versuchsvarianten (Zuluft über Rieselkanäle)

| | |
|---|---|
| **Kontrolle 1**<br>Gaskanone<br>&<br>Axialventilator + Phasenanschnittsteuerung | **Variante 1**<br>Gaskanone<br>&<br>EC - Energiesparventilator +<br>Messventilator und Drosseleinrichtung |
| **Kontrolle 2**<br>Gaskanone<br>&<br>Axialventilator + Phasenanschnittsteuerung | **Variante 2**<br>Warmwasser Fußbodenheizung im Liegebereich + Delta Rohre zur Raumheizung<br>&<br>Axialventilator + Phasenanschnittsteuerung |
| **Kontrolle 3**<br>Gaskanone<br>&<br>Axialventilator + Phasenanschnittsteuerung | **Variante 3**<br>Warmwasser Fußbodenheizung im Liegebereich + Delta Rohre zur Raumheizung<br>&<br>EC - Energiesparventilator +<br>Messventilator und Drosseleinrichtung |

## Ergebnisse

Um realistische Planungsergebnisse zu erhalten, wurde die übliche ingenieurtechnische Vorgehensweise bei der Massen- und Energiebilanzierung angewendet. Damit der Stall auch unter extremen Bedingungen funktioniert, waren für den Sommer die höchste Belegungsdichte, für den Winter die geringste vorzusehen. Unter Winterbedingungen wurden die Wärmeströme der zu untersuchenden Kammabteile für 200 Aufzuchtferkel mit einer und zwei Außenwänden für den Untersuchungsstandort gemäß DIN 18 910 bilanziert. Es ergaben sich Wärmedefizite und somit ein Heizbedarf von 5,6 (Kammabteil mit zwei Außenwänden) bzw. 4,8 kW (Abteil mit nur einer Außenwand). **Tabelle 2** zeigt die Ergebnisse der Luftratenberechnung, wobei die 5 kg Tiere dem Winter zugeordnet sind. Bei der Luftvolumenstromberechnung (Massenbilanzierung) ergibt sich ein Regelverhältnis zwischen Sommer- und Winterluftrate von über 30 : 1. Diese Forderung für den minimalen und maximalen Luftvolumenstrom stellt höchste steuerungstechnische Anforderungen an die Anlage [6]. Die Einstellung der Versuchsanlage erwies sich in den Wintermonaten als nicht ganz unproblematisch. Die exakte Steuerung der Winterluftrate beeinflusste im praktischen Versuch die Lüftungswärmeverluste maßgeblich.

Nach der Bilanzierung der Wärmeströme nach DIN 18 910 [4] bestanden (wie üblich) auch in den untersuchten Ferkelaufzuchtabteilen trotz guter Wärmedämmung große Defizite. Für eine systematische Planung und Beratung sollte eine Übersicht erstellt werden, die unterscheidet, 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. Dabei soll zwischen Raumheizung (**Tabelle 3**) und Zonenheizung (**Tabelle 4**) unterschieden werden.

Für die ökonomische Bewertung der untersuchten Heizungssysteme mussten die Anschaffungs- und Betriebskosten gleichermaßen berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollten für die in den Untersuchungen einbezogene Warm-Wasser-Fußbodenheizung, folgende Argumente überprüft werden:

- 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 Pro-Argument.
- Durch die Strukturierung der Bucht kann die (Komfort-)Wärme im Liegebereich angeboten werden. Die Raumtemperatur kann gesenkt werden; 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 abgefahren werden.

**Elektro- und Heizenergiekosten**

Es ergaben sich bei den Ferkeln keine statistisch absicherbaren Leistungsunterschiede zwischen den untersuchten Vari-

Tabelle 2: Sommer- und Winterluftrate des Abteils für das Planungsbeispiel

| Planungsbedingungen | m³/h je Tiere | m³/h je Abteil | Regelverhältnis |
|---|---|---|---|
| ***Sommer:***<br>30 kg Ferkel | 62 | 12 400 | 31 |
| ***Winter:***<br>5 kg Ferkel | 2 | 400 | 1 |

Tabelle 3: Raum-Heizungsvarianten in Schweineställen

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

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

Tabelle 4: Zonen-Heizungsvarianten in Schweineställen

| Energiequelle | Heizöl (Brenner)<br>Erdgas (Brenner)<br>Flüssiggas (Brenner)<br>Abwärme (z.B. BHKW[1]) | Strom | Strom<br>- Infrarotstrahler<br>Flüssiggas<br>- Gasstrahler |
|---|---|---|---|
| Transport und Verteilungsmedium | **Warm-Wasser**<br>→ Fußboden | **Strom**<br>→ Fußboden | **Strahlung** |
| Vorrangiges Prinzip | **Konduktion** (Wärmeleitung) | | **Radiation**<br>(Wärmestrahlung) |

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

anten. Die wichtigsten ökonomischen Kenngrößen im Verfahrensvergleich sind daher die Kosten für die Anschaffung und den Betrieb von Lüftung und Heizung je aufgezogenem Ferkel. Nach der Methode der Periodenkosten wurden die Winter-, Übergangs- und Sommerdurchgänge für die Kostenkalkulation zeitlich gewichtet. Die Ergebnisse des ersten Untersuchungsabschnittes konnten hinsichtlich des Energiekonsums durch veränderte Einstellungen im zweiten Abschnitt weiter verbessert werden.

Die Kostenkalkulationen zeigen, dass über alle Varianten die Energie mit über 50% an den gesamten Spezialkosten für Lüftung und Heizung beteiligt ist. Die Fußbodenheizung ist mit erheblich höheren Investitionen belastet, was sich bei den Gesamtkosten je Ferkel sehr nachteilig bemerkbar macht. Die Raumheizung (Gaskanone) hatte im Vergleich zur Kunststoff-Fußbodenheizung unter den o.g. Versuchsbedingungen einen unerwartet hohen Heizkostenvorteil von über 1,- DM je aufgezogenem Ferkel (**Tabelle 5**). Die eingesetzten EC-Energiesparventilatoren benötigten lediglich 50 % des Energieaufwandes im Vergleich zu Standard-Axialventilatoren. Der Amortisationszeitraum liegt je nach Strompreis zwischen drei und fünf Jahren (**Tabelle 6**).

**Verhalten und Luftqualität**

Die Verhaltensbeobachtungen zeigten ebenfalls ein unerwartetes Ergebnis. Es besteht über die gesamte Aufzuchtperiode kein signifikanter Unterschied in der Dauer und Häufigkeit des Liegens zwischen der Fußbodenheizung und der Raumheizung bei dem untersuchten Kunststoffboden. Lediglich in den ersten Tagen nach der Einstallung lagen die Ferkel auf der geschlossenen Liegefläche mit Wärmeangebot etwas häufiger (**Tabelle 7**). Die Vermutung, dass hierdurch der Umstallungsstress für die Tiere geringer ist, kann weder durch höhere Zuwachsleistungen, durch verbesserte Futterverwertung noch durch verminderte Tierverluste belegt werden. Wenn die mit warmem Wasser durchströmten Heizelemente abgeschaltet wurden, kam es zur Verschmutzung dieser Flächen mit dem Effekt, dass auch die Ferkel stärker verschmutzt waren. Diese Erscheinung konnte durch Erhebungen in Ställen mit vergleichbaren Fußbodenheizungen bestätigt werden.

Die Luftqualität war bei Warm-Wasser-Fußbodenheizungen gegenüber den Varianten mit direkter Gasverbrennung im Raum wesentlich besser. Wie erwartet überstiegen gelegentlich die $CO_2$-Konzentrationen die Grenzwerte der Schweinehaltungsverordnung [8] von 3000 ppm sehr deutlich. Die Freisetzung von Methan aus dem Flüssigmist und der Ausstoß über die Abluftkamine waren beim Einsatz von Gaskanonen unerwartet höher (**Bild 1**). Die Ursachen für dieses Ergebnis müssen noch weiter untersucht werden.

## Konsequenzen für Beratung und Praxis

Um eine bedarfsgerechte Heizungsanlage zu planen, ist die Bilanzierung der Wärmeströme nach wie vor unerlässlich. Die in der Literatur verwendeten Planungswerte für die zu installierende Heizleistungen je Ferkelplatz (200 W) sind oft weit überzogen. Bei gut wärmegedämmten Kammabteilen reichten in den eigenen Untersuchungen 40 W je Ferkelplatz aus. Es wird allgemein empfohlen, beim Kauf von Heizanlagen und bei Beratungen anlässlich wärmetechnischer Probleme folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Wie kann man die thermophysiologischen Anforderungen der Ferkel gewährleisten?
- Welche Technik passt schlüssig in das energetische Betriebskonzept (Gas, Öl, Elektroenergie)?
- Welches System verursacht dabei die geringsten Vollkosten (fixe + variable Kosten!) ?

**Empfehlungen zum sparsamen Umgang mit Elektroenergie**

Um Elektroenergie zu sparen, ist es gleichermaßen sinnvoll, hohe Strömungswiderstände zu vermeiden wie auch auf die Wirkungsgrade der eingesetzten Steuergeräte und Ventilatoren zu achten [1, 7]. In der öffentlichen “Kosten-Diskussion” ste-

Tabelle 5: Ökonomische Ergebnisse eines zweijährigen Verfahrensvergleiches mit unterschiedlicher Heizungs- und Lüftungsausführung
(Rahmenparameter: kWh thermisch: 0,07 DM, elektrisch: 0,28 DM)

| | **Variante 1** | **Variante 2** |
|---|---|---|
| Heizungsbeschreibung | Gaskanone als Raumheizung (Flüssiggas) | Delta Rohre als Raumheizung + Warm-Wasser-Kunststoff-Fußbodenheizung (Flüssiggas + Therme) |
| Heizenergiekonsum | 4,2 kWh/Ferkel | 22 kWh/Ferkel |
| Lüftungsbeschreibung | Rieselkanal-Lochplatten + Oberflurabsaugung mit EC-Energiesparventilatoren | Rieselkanal-Lochplatten + Oberflurabsaugung mit Standard-Axialventilatoren |
| Elektroenergiekonsum | 0,9 kWh/Ferkel | 2,5 kWh/Ferkel |
| **Vollkosten je Ferkel** | **1,40 DM /Ferkel** | **3,76 DM /Ferkel** |

Tabelle 6: Rechenbeispiel zur Amortisation des Energiesparventilators (Preise nach Angaben des Herstellers Ziehl-Abegg)

| | Einheit | Standard Axialven. 50 cm / 230 Volt | | Energiesparventilator 50 cm / 230 Volt | |
|---|---|---|---|---|---|
| Anschaffungspreis incl. Steuerung und Motorschutz | DM | 1350,- | | 1860,- | |
| Annuität bei 5% Zinsen und 10 Jahren Nutzung | DM | 175,- | | 241,- | |
| Stromkonsum bei ø 60% Auslastung | kWh | 2630 | | 1314 | |
| Strompreis je kWh | DM | 0, 28 | 0,14 | 0,28 | 0,14 |
| Stromkosten pro Jahr | DM | 736,- | 368,- | 368,- | 184 |
| Jährliche Gesamtkosten | DM | 911,- | 543,- | 609,- | 425,- |
| Kostenunterschied | DM | → | | - 305,- | |
| | | | → | | - 118,- |

Tabelle 7: Ausprägung des Verhaltensmerkmals "Liegen" bei vollperforiertem Boden (Kontrolle) und teilperforiertem Boden mit Warm-Wasser-Fußbodenheizung

| | Zeitanteil des Merkmals "Liegen" | |
|---|---|---|
| Bezugszeit: Tag nach der Aufstallung | Kontrolle (vollperforiert) | Variante (teilperforiert mit Heizelementen) |
| Aufstallungstag | 84 % | 80 % |
| 2. Tag nach der Aufstallung | 82 % | 83 % |
| 3. Tag nach der Aufstallung | 82 % | 85 % |

hen jedoch die Ventilatoren im Vordergrund [6]. Oft wird dabei auch über den Einsatz der neuen Etavent EC-Energiesparventilatoren kontrovers diskutiert. Auch hier haben die eigenen Langzeitmessungen deutliche Ergebnisse erbracht. Hinsichtlich der konsumierten Elektroenergie lagen die Einsparungen dieser EC-Energiesparventilatoren im Durchschnitt bei über 50 %. Berücksichtigt man die höheren Anschaffungskosten, ergibt sich lediglich ein Zeitraum von drei bis fünf Jahren, ab dem sich die Anschaffung wirtschaftlich rechnet! Kaum eine Anschaffung beim Kostenblock "Lüftung" ist derzeit so wirtschaftlich wie diese Ventilatorentechnik.

Der Unterschied im Energiekonsum liegt in der veränderten Antriebstechnik zum Standard-Axialventilator. **Bild 2** zeigt den Effekt graphisch. Bei Volllast ist die Leistungsaufnahme zwischen Standard- und Energiesparventilator bei gleichem Durchmesser in etwa gleich. Im abgeregelten Bereich, also unterhalb der Nennspannung, machen sich die Vorteile des Energiesparventilator deutlich bemerkbar.

**Empfehlungen zum sparsamen Umgang mit Heizenergie**

Bei allen Überlegungen zur Energieeinsparung darf nicht in Frage gestellt werden, dass die Heizungstechnik in der Lage sein muss, den Wärmebedarf der Ferkel abzudecken. Das Liegeverhalten der Ferkel ist der wichtigste Indikator für die richtige Temperatureinstellung. Durch Beobachtung des Liegeverhaltens können während der täglichen Stallarbeit der aktuelle Bedarf überprüft und Veränderungen am Regelgerät vorgenommen werden. Die **Bilder 3** und **4** verdeutlichen das Liegeverhalten bei zu niedriger Raumtemperatur (Bild 3) und passender Liegeflächentemperatur (Bild 4). **Bauchlage und entspannte Seitenlage signalisieren Wohlbefinden; bei Haufenlage besteht Handlungs- bzw. Heizbedarf.**

Aus den oben beschriebenen wärmetechnischen Zusammenhängen wird deutlich, dass Wärmeverluste nur durch folgende Möglichkeiten gesenkt werden können:

- Senkung des k-Wertes durch verbesserte Wärmedämmung (Wände, Stalldecke, Boden),
- Minimierung der Lüftungswärmeverluste durch exakte Einstellung der Mindestluftrate,
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft mit Hilfe von Wärmetauschern,
- Bereitstellung der Wärme lediglich im Liegebereich der Tiere.

Aus den vorgestellten Ergebnissen wird deutlich, dass nur Vollkostenrechnungen unter Berücksichtigung der Anschaffungs- und Betriebskosten die tatsächliche ökonomische Vorzüglichkeit von verschiedenen Handlungsalternativen spiegeln [3]. In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der zweijährigen Untersuchung in Form eines Vollkostenvergleiches in DM Spezialkosten für Lüftung und Heizung je aufgezogenem Ferkel bei der günstigsten und ungünstigsten Kombination zusammengefasst. Ein fairer Vergleich zwischen Handlungsalternativen ist nur dann zulässig, wenn die Energiequellen und die Energie-Bezugskosten (in DM je kWh) identisch sind. Bei vielen Gegenüberstellungen werden diesbezüglich oft grobe Fehler gemacht.

Allerdings zeigt dieser rein ökonomische Vergleich nicht die folgenden Vorteile der

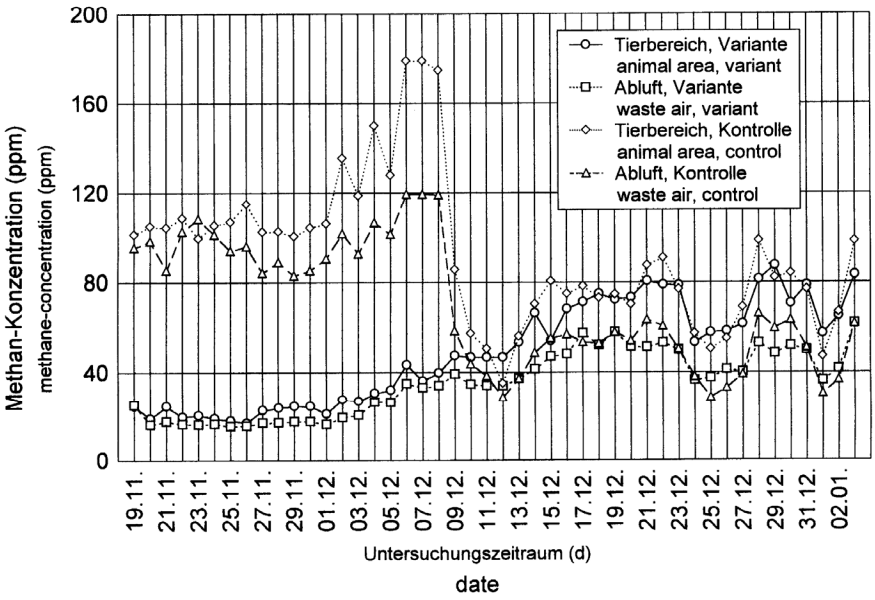



Bild 1: Vergleich der Methanfreisetzung aus dem Flüssigmist bei Verwendung von Gaskanonen (Kontrolle) und Warm-Wasser-Fußbodenheizung (Variante) in der Ferkelaufzucht in einem typischen Winterdurchgang (Winter 1999/2000)

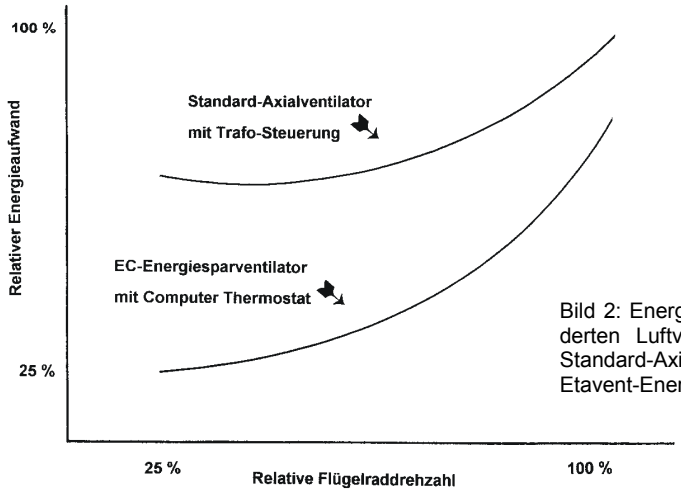



Bild 2: Energieaufwand für den geförderten Luftvolumenstrom bei einem Standard-Axialventilator und einem Etavent-Energiesparventilator



Bild 3: Liegeverhalten von jungen Aufzuchtferkeln (ca. 7 kg) bei Raumheizung mit zu geringer Innenraumtemperatur



Bild 4: Liegeverhalten von älteren Aufzuchtferkeln (ca. 15 kg) bei Fußbodenheizung mit passender Bodentemperatur

Variante 2:

- Durch die punktuelle Wärmebereitstellung können die Tiere in ihrem Liege- und Ausscheideverhalten positiv gelenkt werden.
- Die Luftqualität wird beim Einsatz von Warm-Wasser-Fußbodenheizungen nicht mit Verbrennungsprodukten (Kohlendioxid und Wasser) belastet.

Eine ökonomische Einordnung anderer Bodenheizungsverfahren kann derzeit nicht erfolgen, weil keine Betriebsmittelaufwendungen bekannt sind und eine Vergleichbarkeit mit Ferkelnestern im Abferkelabteil nur eingeschränkt gegeben ist [5]. Einen generellen Einsparungseffekt durch reduzierte Raumtemperaturen bei Fußbodenheizungen konnten die Untersuchungen nicht bestätigen. Dieser Effekt ist offensichtlich erst dann zu erwarten, wenn gleichzeitig die Konvektion und Abstrahlung der Heizflächen in den Raum durch Abdeckungen bzw. Einhausungen unterbunden werden.

## Literatur

[1 ] *Albrich, H.:* Ventilatoren. Lehrbuch der Klimatechnik, Band 3: Bauelemente, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 2. Auflage, 1983

[2] *Büscher, W.:* Experimentelle Untersuchungen zur Luftführung in Stallanlagen. Dissertation an der Universität Bonn als AEL-Bericht Nr. 15, Essen, 1992

[3] *Büscher, W.:* Produktentwicklungen im Bereich der Heiz- und Lüftungstechnik für Schweineställe. 3. Internationale VDI-MEG Tagung “Bau, Technik und Umwelt in der Nutztierhaltung., Weihenstephan, S. 21 - 26, 1999

[4] *DIN 18 910:* Wärmeschutz geschlossener Stallanlagen. Wärmedämmung und Lüftung, Planungs- und Berechnungsverfahren. Beuth Verlag, Berlin, 1992

[5] *Jungbluth, T.:* Wärmeversorgung des Ferkelliegebereiches in einstreulosen Abferkelbuchten nach thermophysiologischen und physikalischen Grundlagen des Wärmeaustausches. AEL-Bericht Nr. 5, Essen, 1980

[6] *Niethammer, F.:* Was ist beim Kauf von Stallüftern, Lüftungsanlagen und Zubehör zu beachten. DLG-Prüfberichte D/45, Groß-Umstadt, 1983

[7] *Recknagel, H.; E. Sprenger; E. R. Schramek*: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Oldenbourg-Verlag, München, 68. Auflage, 1997

[8] Verordnung zum Schutz von Schweinen bei Stallhaltung (Schweinehaltungsverordnung) 1994, Bundesgesetzblatt I, S. 312

**Autoren**

Prof. Dr. habil. Wolfgang Büscher
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Agrartechnik und Landeskultur
Ludwig-Wucherer-Str. 81
06108 Halle (Saale)
Tel.: +49/(0)345/55-22 751
Fax: +49/(0)345/55-27134
E-mail: Buescher@Landw.Uni-Halle.de

Dr. Werner Frosch
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Agrartechnik und Landeskultur
Ludwig-Wucherer-Str. 81
06108 Halle (Saale)
Tel.: +49/(0)345/55-22778
Fax: +49/(0)345/55-27134
Email: Frosch@Landw.Uni-Halle.de

Dipl.-Ing. agr. Jens Kluge
Agrarunternehmen Barnstädt
Dorfstraße
06268 Göhrendorf
Tel.: +49/(0)34771/72-130
Fax: +49/(0)34771/ 72-140