

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Abteilung Tierische Erzeugung

Am Park 3, 04886 Köllitsch

Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>

Bearbeiter: Dr. Eckhard Meyer; Dr. Manfred Weber

E-Mail: eckhard.meyer@smul.sachsen.de

Tel.: 034222 46-154 Fax: 034222 46-109

Vergleich verschiedener Systeme zur Bereitstellung ausreichender Fußbodentemperaturen in Ferkelaufzucht und Schweinemast

1 Einleitung und Fragestellung

Die Wärmebereitstellung beeinflusst Leistung und Gesundheit der Schweine und verursacht zunehmende Energiekosten. Entscheidend sind ausreichende Fußbodentemperaturen insbesondere beim Einstellen in die Ferkelaufzucht oder Schweinemast. Das Standardverfahren besteht in der Verbrennung von Gas im Abteil, vor allem weil die Investitionskosten für die einfachen Gaskanonen relativ gering sind. In Mastställen in denen nur zeitlich begrenzt zusätzliche Wärme erforderlich ist überwiegen die Kostenvorteile dieser Technologie. Nachteilig ist aber die mit der Gasverbrennung verbundene zusätzliche Wasserdampfbildung und die ungünstige Wärmeverteilung (Raumheizung) mit hohen Temperaturen an der Stalldecke und niedrigen Temperaturen am Boden. Gas- oder Dunkelstrahler, die Wärme in Richtung Fußboden lenken verbinden Eigenschaften von Raum- und Zonenheizsystemen und schaffen in systembedingten Grenzen ein Mikroklima. Bei Zonenheizsystemen sollen die Raumtemperaturen im Vergleich zu den Raumheizungen abgesenkt werden können, so dass mehr gelüftet werden kann. Dieser mögliche Effekt wird allerdings häufig überschätzt. Bessere Gestaltungsmöglichkeiten im Hinblick auf das Stallklima ergeben sich in diesem Zusammenhang durch eine "Abdeckung" des Kleinklimas. ‚Fista oder Wastra‘ Platten werden dazu mit Warmwasser betrieben was für die Betriebskosten positiv ist. Der Nachteil dieser Systeme liegt wiederum darin, dass die mögliche Strahlungsenergieabgabe über die Platten begrenzt ist so dass man ohne eine zusätzliche Raumheizung (‚Twin- oder Spiraflexrohre‘) oft nicht auskommt. Insbesondere für das Aufheizen der Ställe bei der Neubelegung werden hierfür die mit Gas betriebenen Systeme allein oder in Kombination eingesetzt. Einen Sonderfall stellen die Fußbodenheizungen dar, die bislang häufig nicht mit dem Klimacomputer korrespondierten.

Gesteuert und bewertet werden die verschiedenen Systeme in der Regel aufgrund der Raumtemperaturen, die letztendlich nur eine Mischkalkulation zwischen hohen Temperaturen an der Stalldecke und niedrigen am Stallfußboden darstellen. Je nach Verfahren der Wärmebereitstellung ist für das Aufheizen folglich eine beträchtliche Zeitdauer erforderlich. Zum Zeitpunkt des Einstellens sollten Spaltenbodentemperaturen von mindestens 20 °C erreicht werden. In der Haltungspraxis werden diese Temperaturen bei kurzen Servicezeiten häufig nicht realisiert, so dass im Herbst und Winter deutlich mehr Ferkel reklamiert werden (STEFFENS, 2004). Die Fußbodentemperatur schließlich stellt sich ein in Abhängigkeit von den Materialeigenschaften des Fußbodenelementes (Guss, Kunststoff oder Beton), der Vorheiztechnik (Raumheizung oder Zonenheizung) und nicht zuletzt in Abhängigkeit von den möglichen Wärmeverlusten des Stalles.

Im Rahmen einer gemeinsamen Untersuchung der LfULG Köllitsch und der LLG Iden sollte die Entwicklung der Fußbodentemperaturen im Vergleich zur Raumtemperatur unter Berücksichtigung unterschiedlich aufwändiger Systeme der Wärmebereitstellung sowie Messmethoden dargestellt werden.

2 Messverfahren und Messpunkte

Zur Bewertung der Systeme wurde die zeitliche Entwicklung der Luftfeuchte (%), Temperaturhöhe und Temperaturverteilung (°C) in der Schweinemast (LLG Iden) sowie in der Ferkelaufzucht (Praxisbetrieb Sachsen) im Rahmen von zwei Versuchsreihen dargestellt. Dazu werden die Vorheizperioden eines Schweinemastabteils in Iden (Sachsen-Anhalt, 21. - 23.02.06, Heizung mit Gaskanone) und eines Ferkelaufzuchtabteils in Zwethau (Sachsen, 01. - 02.03.06, Heizung mit Dunkelstrahlern) parallel mit vier verschiedenen Infrarotthermometern sowie einer Wärmebildkamera untersucht. Damit sollte ein Vergleich der Vorheiztechnologien mit den dafür in Frage kommenden unterschiedlich aufwändigen Messverfahren kombiniert werden.

Tabelle 1 Vergleich der eingesetzten Messverfahren

Technik	Typ	Hersteller	Messbereich (cm) (Durchmesser)	Kosten
Wärmebildkamera	IR Flexcam T	Goratec	ca. 100 cm (im Versuch)	19.000 €
Infrarotthermometer 1	830-T2	Testo	3 cm	200 €
Infrarotthermometer 2	Minitemp MT	Raytek GmbH	5 cm	85 €
Infrarotthermometer 3	T 805	Testo	15 cm	50 €
Infrarotthermometer 4	Miniflash II	TFA Dostmann GmbH	15 cm	30 €

In der Reihenfolge der Tabelle sind die verwendeten Infrarotmesssonden von links nach rechts dargestellt.



Abbildung 1 Verwendete Messtechnik

2.1 Wärmebildkamera

Thermografie ist die Sichtbarmachung und Messung der von einem Objekt abgestrahlten thermischen Energie mit Hilfe einer Kamera. Je höher die Temperatur eines Objekts ist, desto intensiver ist die von ihm abgegebene Infrarotstrahlung. Infrarotkameras erzeugen Bilder der unsichtbaren Infrarot- bzw. Wärmestrahlung und ermöglichen damit präzise berührungslose Temperaturmessungen. Die technischen Details der verwendeten Wärmebildkamera beschreibt die folgende Übersicht.

Übersicht Technische Einzelheiten

Detektor	Focal Plane Array (FPA), ungekühlter Mikrobolometer, 160 x 120 Detektoren
Spektralbereich	8 µm bis 12 µm
Temperaturbereich	0 bis 600 °C (andere Bereiche optional verfügbar)
Optik	Germanium 20 mm, F/0.8, Brennweite 0.15 m bis unendlich, anti-reflektierend beschichtetes Objektiv
Gesichtsfeld (FOV)	23°(H) x 17°(V)
Geometrische Auflösung (IFOV)	2,6 mrad
Optische Auflösung	385 : 1
Thermische Auflösung (NETD)	< 0.100 °C @ 30 °C
Genauigkeit	2 °C oder 2 % der Anzeige
Digitale Bildaufarbeitung	automatische Echtzeit-Bildaufarbeitung
Anzeige	320 x 240 px Farb-LCD
Bildspeicherung	128.0 MB CompactFlash ca. 1.200 Bilder
Unterstützte Dateiformate	radiometrisches JPEG-Bildformat, direkter Download von CompactFlash
Emmissionsfaktorkorrektur	Benutzerdefiniert. einstellbar von 0.1 bis 1.0 (in Schritten von 0,01)
Video Ausgang	wählbar NTSC/PAL
Batterielebensdauer	3 + Std. kontinuierlicher Betrieb
Betriebstemperatur	- 10 °C bis + 50 °C

Entscheidend für die Genauigkeit der mittels Wärmebildkamera erzeugten Daten ist die Herstellung von möglichst hoch aufgelösten Bildern. Der Emissionsfaktor für die Strahlung der untersuchten Oberflächen wurde mit 0,95 festgelegt. Um einen kontinuierlichen zeitlichen Verlauf darzustellen müssen exakt immer die gleichen Bildabschnitte ausgewertet werden. Das setzt voraus, dass die Photos aus gleicher Höhe und möglichst frontal aufgenommen werden. Als Abstand zur Spaltenbodenoberfläche wurde eine Höhe von 1,2 m eingehalten. In der Schweinemast wurden 105 Fotos, in der Ferkelaufzucht 45 Fotos vermessen. Die Fotos hatten eine Gesamtgröße von jeweils 76.000 Bildpunkten. Davon wurden jeweils 12.000 Punkte in Flächen vermessen.

2.2 Infrarotmesssonden

Die berührungslosen Infrarotthermometer basieren grundsätzlich auf dem gleichen Messprinzip der Wärmebildkamera. Der Unterschied besteht in der Menge der verarbeiteten Informationen. Es werden nicht alle Einzelpunkte angegeben, sondern nur die mittlere Temperatur im Messfeld.

Für alle Infrarotthermometer gelten folgende Bedienungshinweise:

- Die Linse muss sauber gehalten werden.
- Es darf nicht mit beschlagener Linse gemessen werden.
- Der Messbereich sollte von Störgrößen freigehalten werden.
- Bei Umgebungswechsel ist eine 15-minütige Adaptionsphase einzuhalten.

2.2.1 Test 830-T2

Das handliche Testo 830-T2 Infrarotthermometer besitzt zur Messfeldkontrolle 2 Laserpunkte, die den mit der 12 : 1 Optik abtastbaren Bereich angeben. Der Emissionsfaktor kann am Gerät eingestellt werden (0,2 bis 1,0). Für die im Weiteren beschriebenen Messungen wurde wie bei der Wärmebildkamera ein Faktor von 0,95 gewählt.

Weitere technische Daten sind den nächsten Tabellen zu entnehmen.

Technische Daten	
Gemeinsame Daten Testo 830-T1/-T2	
Infrarot-Temperaturmessung	
Messbereich	- 30 bis + 400 °C
Auflösung	0,5 °C
Genauigkeit	± 1,5 °C oder 1,5 % v. MW. (0,1 °C ... 400 °C) ± 2 °C oder 2 % v. MW. (- 30 °C ... 0 °C) der jeweils größere Wert gilt
Einsatztemperatur	- 20 °C ... + 50 °C
Lagertemperatur	- 40 °C ... + 70 °C
Batterie	9 V Block
Standzeit	15 h
Abmessungen	190 x 75 x 38 mm
Gewicht	200 g
Spezielle Daten Testo 830-T1	
Optik	10 : 1
Zusätzliche Daten Testo 830- T2	
Optik	12 : 1
Kontakt-Temperaturmessung (Typ K)	
Messbereich	- 50 °C ...+ 500 °C
Auflösung	0,1 °C
Genauigkeit	± (0,5 °C ± 0,5 % v. MW.)

2.2.2 Raytek MT 2

Auch das Raytek MT 2 besitzt einen Laserpunkt, der das Messfeld anzeigt. Es ist mit einer 8 : 1 Optik ausgestattet. Der Emissionsfaktor ist fest mit 0,95 eingestellt.

Technische Daten:	
Temperaturbereich:	- 18 bis 275 °C
Optische Auflösung:	8 : 1
Ansprechzeit:	500 ms (95 %)
Emissionsgrad:	fest eingestellt auf 0,95
Genauigkeit:	± 2 %, oder ± 2 °C, der jeweils größere Wert gilt
Visiereinrichtung:	Einzellaser
Spannungsversorgung:	9 Volt Batterie oder NiCd Akku

2.2.3 Testo 805

Beim Testo 805 handelt es sich um ein sehr kleines (80 mm) Infrarotthermometer, das mit einer 1 : 1 Optik ausgestattet ist, d. h. der Messfleckdurchmesser entspricht dem Abstand des Thermometers von der zu messenden Fläche. Weitere technischen Details sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Lagertemperatur	- 20 ... + 65 °C
Betriebstemperatur	0 ... + 50 °C
Batterietyp	3 V-Knopfzelle (CR 2032)
Standzeit	40 h (typisch)
Gewicht	28 g
Abmessung	80 x 31 x 19 mm
Gehäusematerial	ABS

Fühlertyp Infrarot	
Messbereich	- 25 ... + 250 °C
Genauigkeit	± 3 °C (- 25 ... - 21 °C) ± 2 °C (- 20 ... - 2.1 °C) ± 1 °C (- 2 ... + 40 °C) ± 1.5 °C (+ 40.1 ... + 150 °C) ± 2 % v. Mw. (+ 150.1 ... + 250 °C)
Auflösung	0.1 °C (- 9.9 ... + 199.9 °C) 1 °C (restl. Messbereich)

2.2.4 TFA-Mini-Flash

Auch das TFA-Mini-Flash ist in den Abmaßen sehr handlich (6 x 3 cm). Mit der 1 : 1 Optik besitzt der Messfleckdurchmesser die gleiche Größe wie beim Testo 805.

Technische Daten

Messbereich	- 33 °C bis + 220 °C (27 °F bis 428 °F)
Genauigkeit	± 1,5 °C von 0 °C bis 50 °C, sonst ± 2, 0 °C oder 2 % (der größere Wert gilt)
Reproduzierbarkeit	± 1,0 °C oder 1 %
Anzeigeauflösung	0,1 °C / 0,1 °F
Ansprechzeit	ca. 0,5 sec
Arbeitstemperatur	0 °C bis 50 °C
Emissionsgrad	0,95 fest
Optische Auflösung	1 : 1
Spannungsversorgung	1 x Knopfzelle CR2032
Gehäuse	Kunststoff
Abmessungen	68 x 37 x 18 mm
Gewicht	25 g

3 Praktische Untersuchungen

3.1 Untersuchungen in der Schweinemast (Iden)

Im Abstand von 0 m, 8 m und 16 m wurden drei Fußbodenabschnitte auf dem Betonspaltenboden festgelegt und zeitgleich untersucht. Zur Darstellung der Raumtemperatur wurden zwei Rohfasertapeten an den Messpunkten 2 und 3 unter den Rieselkanal geklebt. So wurde eine Oberfläche geschaffen über die die Schichtung der Raumtemperatur dargestellt werden kann. Ohne diese Hilfsmaßnahme ist die Messung der Lufttemperatur mithilfe einer Wärmebildkamera nicht möglich. Parallel wurde ein Temperaturlogger in drei verschiedenen Höhen eingerichtet, mit denen die Wärmebilder abgeglichen wurden.

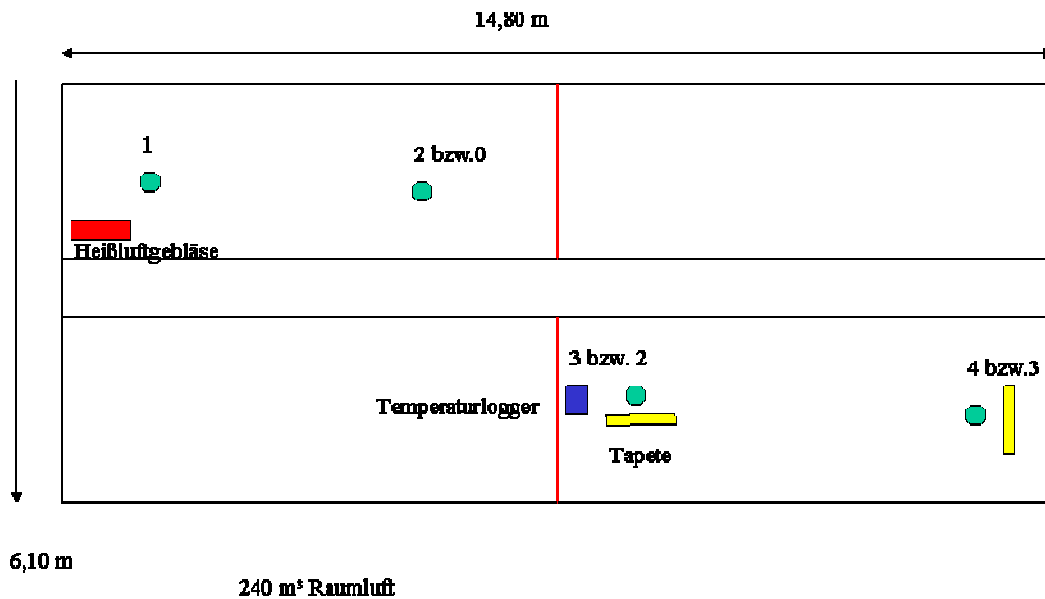


Abbildung 2 Messung der Einstalltemperaturen in Iden

Bei der Darstellung der Raumtemperatur wurden drei Bereiche (unten, mitten und oben) definiert, zusammen ausgelesen und verrechnet. Bei den Fußbodenabschnitten wurden Schlitze und Betonbalken getrennt gemessen und gemeinsam verrechnet.

Ergebnisse Schweinemast

Die getrennte Darstellung der Spaltenbodenbestandteile Betonkörper und Schlitze zwischen den Betonbalken zeigt erwartungsgemäß eine unterschiedliche Entwicklung der Temperaturen. Zum Zeitpunkt des Beginns der Vorheizperiode waren die Spaltenbodenschlitze und Betonbalken auf dem gleichen Temperaturniveau von knapp 8 °C (Außentemperatur 3 °C). Im Mittel der drei untersuchten Punkte im Stall entwickelte sich die Fußbodentemperatur auf dem Betonkörper langsam, nach 24 Stunden Vorheizperiode wurden die gewünschten mittleren Temperaturen von 20 - 22 °C nicht erreicht. Nach 19,5 h werden im Mittel über alle Geräte und alle Fußbodenpunkte nur 16,2 °C, nach 36 Stunden werden (ausschließlich bewertet mit den Infrarotmesssonden) 16,6 °C gemessen. Weitere 4 Stunden Anheizen (40 Stunden gesamt) erhöhte die Fußbodentemperatur nur um ein weiteres °C. Noch langsamer entwickelte sich die Temperatur zwischen den Schlitzen. Nach 24 Stunden betrug der Temperaturunterschied zwischen Schlitz und Betonkörper etwa 4 °C. Das ist auch für Messungen mit Infrarotthermometern von entscheidender Bedeutung, denn es werden je nach Optik (1:1 bis 12:1) und Messentfernung unterschiedliche Ausschnitte des Spaltenbodens und damit perforierte und nicht perforierte Bodenbereiche gemessen. Eine exakte Messung der zwischen den Schlitzen befindlichen Luft ist mit allen eingesetzten Verfahren physikalisch nicht genau möglich. Bei den gefundenen Werten handelt es sich vielmehr um eine Mischtemperatur zwischen den sich unter dem Spaltenboden befindlichen Gasen, sowie der Temperatur der Gülle. Bezogen auf den Betonkörper des Stallbodens ist es in dem untersuchten Stall unerheblich, ob sich der Messpunkt direkt unter dem Ablüfter oder an dem von der Wärmequelle (Außenwandbereich) entferntesten Messpunkt befindet (Abbildung 4).

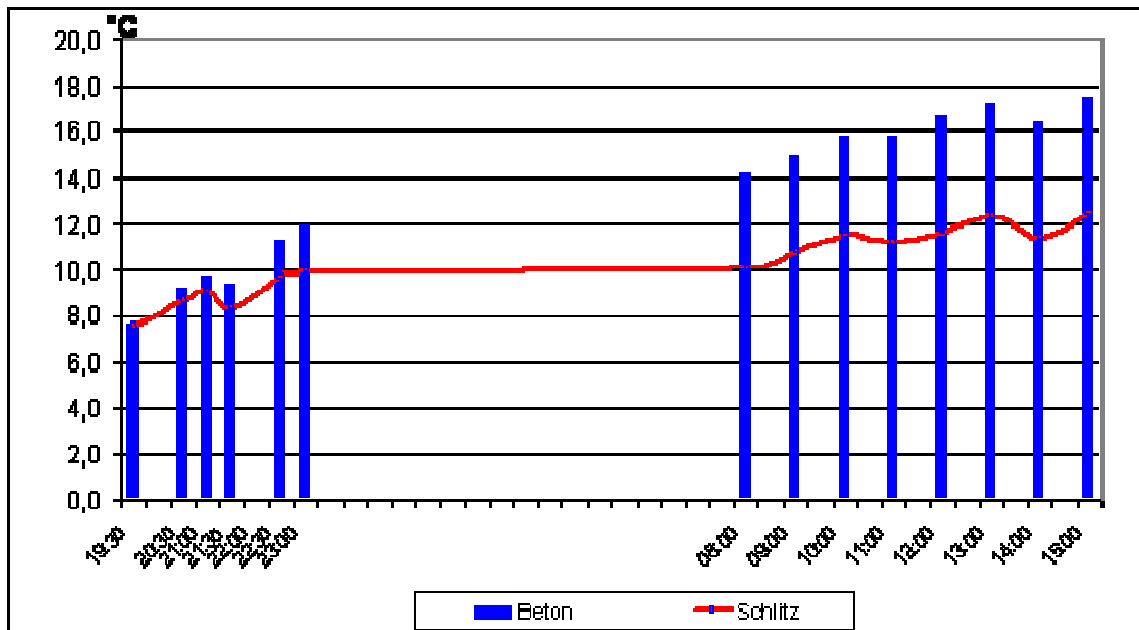


Abbildung 3 Entwicklung der Spaltenbodentemperaturen Betonkörper und Schlitz im Mittel und über verschiedene Entfernungen zur Heizquelle

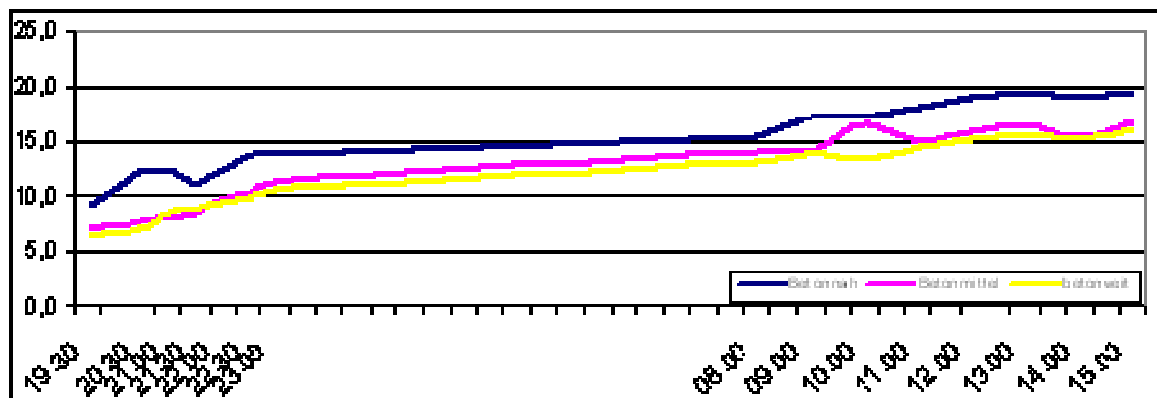


Abbildung 4 Bedeutung der Entfernung des Spaltenbodenelementes (0 m, 8 m, 16 m) von der Heizquelle

Bei dem Fußbodenabschnitt direkt unter der Heizquelle entwickelt sich die Temperatur des Betonkörpers deutlich zügiger. Der Grund für diese lokal unterschiedliche Entwicklung ist in der geringen Effizienz der Wärmeverteilung bei dem untersuchten Verfahren zu sehen. Eine genauere Darstellung des Luftstromes mit Hilfe eines Nebelgerätes zeigte, dass der von der Gaskanone ausgehende Luftstrom sich nicht im ganzen Abteil, sondern lediglich bis zur Mitte ausbreitete. Der hintere Teil des Abteils wurde nicht durchströmt, so dass aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit der Luft die Temperaturentwicklung besonders im Fußbodenbereich (Abbildung 4) deutlich langsamer ging.

Der Luftstrom wurde durch den Ablüfter einerseits und durch die Rieselkanäle andererseits gebremst bzw. teilweise abgeführt. Aufgrund der Vorschriften der Berufsgenossenschaft müssen die Ablüfter auch beim Aufheizen mit Minimalluft rate betrieben werden.



Abbildung 5 Luftströmung

Um die Effizienz der Vorheizung zu verbessern müsste die Wärmeverteilung entweder über die Abluftführung (Unterflurabsaugung, WEBER, 2005) oder über eine Zusatzverteilung (Zusatzgebläse) realisiert werden. Zusätzlich spielen auch die Wärmeverluste eine Rolle. Die geringe Effizienz der verwendeten Vorheiztechnologie drückt sich auch in der Verteilung der Temperatur im Raum aus. Im Vergleich zur Fußbodentemperatur entwickelt sich die Raumtemperatur im Deckenbereich sehr schnell, im Fußbodenbereich naturgemäß jedoch deutlich langsamer.

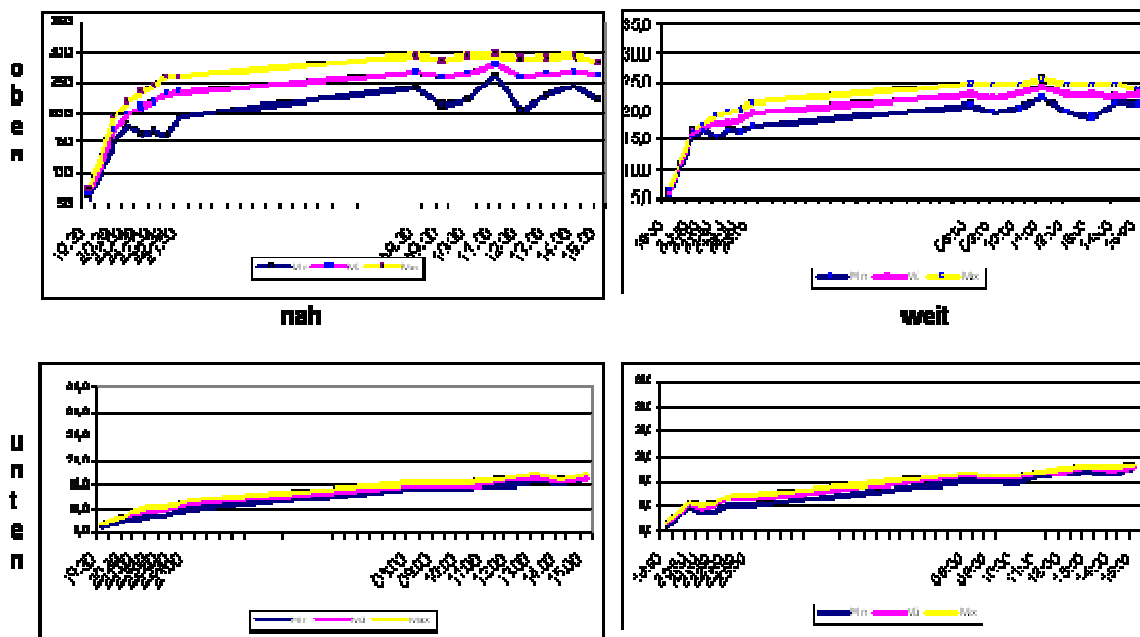


Abbildung 6 Entwicklung der Raumtemperatur °C bei unterschiedlichem Abstand zur Heizung

Die durchschnittliche Differenz zwischen der Raum- und Fußbodentemperatur betrug in 20 h genau 9,3 °C mit abnehmender Tendenz, nach über 24 Stunden betrug diese Differenz nur ein Grad weniger. Im oberen Drittel des mittels Wärmebildkamera dargestellten Untersuchungshorizontes werden 25 - 30 °C in Abhängigkeit vom Abstand zur Wärmequelle erreicht, im unteren Drittel des Beobachtungshorizontes werden in 20 Stunden weniger als 20 °C erreicht. Die sich einstellende Schichtung begrenzt die Effizienz des Verfahrens und wird durch Wärmeverluste über die Rieselkanäle verstärkt. Der Durchmesser der Lufttrittöffnungen ist vergleichsweise groß und die Luftgeschwindigkeit der mit dem Warmluftgebläse verwirbelten Luft ist hoch. Aufgrund der geringen Zuluftgeschwindigkeit

(Minimalluftfrate) ist der Widerstand gering und die erwärmte Luft entweicht zum Teil in den Rieselkanal. Dieser Zusammenhang konnte anhand der breiten Spanne zwischen den Min-Max-Werten im Deckenbereich dargestellt werden (Abb. 6 oben). Diese Spanne zeigt an, dass es zu einem Austausch von warmer gegen kalte Luft kommen muss, so dass sich eine größere Temperaturspanne als am Fußboden einstellt. Das konnte auch anhand der Lufterwärmung im Rieselkanal nachgewiesen werden. Diese erwärmte sich parallel zur Raum- und Fußbodentemperatur innerhalb von 20 Stunden von 6,7 °C auf 16 °C und blieb durchschnittlich 3 °C über der Fußbodentemperatur und 12 °C unter der Raumtemperatur. Grundsätzlich entstehen Wärmeverluste durch den Baukörper (Türen, Fenster, Wände, Güllekanal) sowie die Zu- und Abluftwege (Winddruck). Eine entsprechende Isolierung des Baukörpers (0,4 bis 0,5 Watt/m² K) und der Decke ist kein Luxus sondern unbedingt erforderlich. Für die Darstellung möglicher Verlustquellen von Wärme eignet sich die Wärmebildkamera. Auch für das untersuchte Abteil konnten die Unterschiede in der Wärmeabstrahlung der Wände (Fenster) in belegten, vorgeheizten und unbelegten Abteilen zum Verbinder hin dargestellt werden.

3.2 Untersuchungen in der Ferkelaufzucht

Die Untersuchungen zur Ferkelaufzucht wurden in einem spezialisierten Schweinemastbetrieb analog zur Versuchsanstellung in Iden durchgeführt. In der ersten nur 14 Tage dauernden Phase der Ferkelaufzucht werden die Ferkel mit durchschnittlich 7 - 8 kg Gewicht und einem Alter von 28 Tagen in Gruppenbuchten zu 80 Tieren eingestallt. Die Wärmebereitstellung erfolgt in Form einer Dunkelstrahlerheizung, die eine Entwicklung im Industrieanlagenbau darstellt. Der Dunkelstrahler besteht aus einem im Deckenbereich verlegten Rohr. An den Enden dieses Rohres wird Gas verbrannt und von der Mitte des Rohres nach draußen geführt. Dabei wird das Rohr erwärmt und die Energie über infrarote Strahlung (Wärme) abgeführt. Diese entsteht letztendlich erst, wenn sie auf einen festen Körper trifft. Dadurch kann eine Erwärmung bestimmter Fußbodenbereiche mit hoher Effizienz erfolgen. So entsteht ein Zonenheizsystem mit allerdings relativ geringen Temperaturunterschieden zwischen einem beheizten Liegebereich und einem weniger beheizten Restbereich. Die Messpunkte wurden vornehmlich im Liegebereich (schlitzreduzierten Spaltenboden mit 10 % Schlitzanteil) wie in Abbildung 7 angelegt.

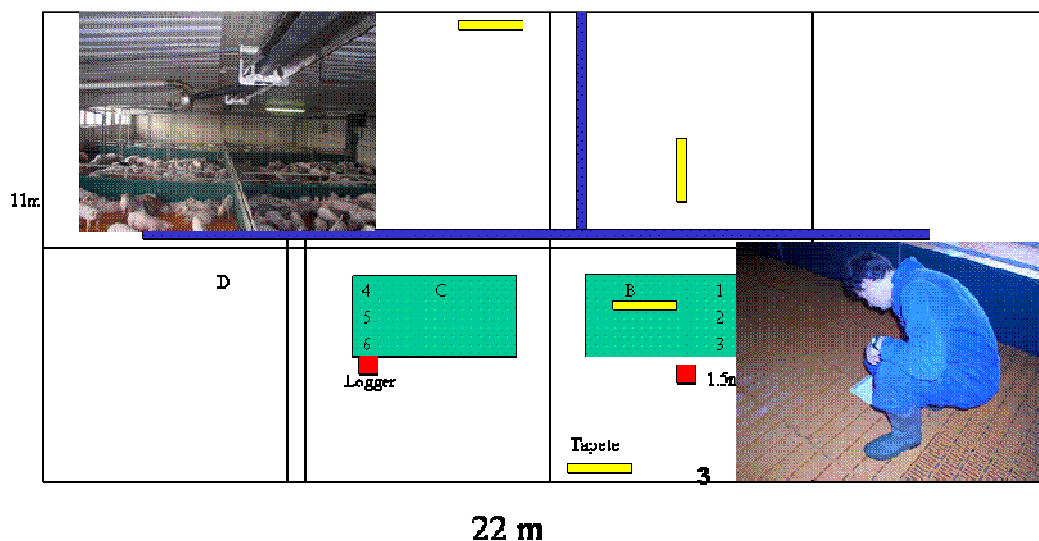


Abbildung 7 Versuchsanstellung und Messpunkte in der Ferkelaufzucht

Aufgrund der hohen Effizienz und Geschwindigkeit der Wärmebereitstellung erfolgte eine Messung im Abstand von 30 Minuten nur über 3 Stunden. Es zeigte sich bereits nach kurzer Zeit, dass die gewünschten Temperaturen schnell erreicht werden können. Mit Hilfe der Wärmebilder konnte eine Zonierung der Temperatur auf der Liegefläche, dargestellt werden. Diese erfolgte zunächst im Strahlungskegel von innen nach außen, durch das Arbeitsprinzip (Verbrennung am Rand, Abgas über die Mitte) auch von vorne nach hinten. Vom Rand zur Mitte des Dunkelstrahlers fällt die Temperatur von über 300 °C auf etwa 100 °C ab.

Ergebnisse Ferkelaufzucht

Durch das Arbeitsprinzip des Dunkelstrahlers wird nicht primär die Raumluft, sondern direkt der Fußboden erwärmt, der wiederum die Wärme an die Umgebungsluft abgibt. Die Raumtemperatur läuft also der Fußbodentemperatur hinterher, bei der Gaskanone ist es umgekehrt. Die Anschlussleistung des Dunkelstrahlers ist jedoch deutlich höher als die der Gaskanone. Bereits nach etwa 2 Stunden Vorheizzeit werden die Fußbodentemperaturen im Liegebereich von über 30 °C im Mittel über alle verwendeten Messmethoden erreicht. Nach 3 Stunden Vorheizzeit erreicht die Temperatur des nicht schlitzreduzierten Spaltenbodens an dem kühlpsten Punkt des gesamten Fußbodens eine Temperatur von 20 °C. Dieser Wert kann als untere Schwelle für eine ausreichende Vorheizung gesehen werden. Auch der Dunkelstrahler wird über die Raumtemperatur gesteuert, ab etwa 3 Stunden Vorheizzeit wird nicht mehr kontinuierlich, sondern nur noch in Intervallen geheizt. Am nächsten Morgen (9:00 Uhr) wurde eine Spaltenbodentemperatur am kühlpsten Punkt von 23 °C festgestellt. Bei beiden untersuchten Verfahren in der Schweinemast und Ferkelaufzucht erhöhte sich die Raumtemperatur nach zwei Stunden um etwa 12 °C. Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsprinzipien der verwendeten Technologien, aber auch aufgrund der unterschiedlichen Wärmeabsorptionskräfte der verschiedenen Fußbodenelemente Beton und Kunststoff erhöht sich in diesen ersten zwei Stunden die Fußbodentemperatur des Betonspaltenbodens (Schweinemast) lediglich um 2,2 °C, die Temperatur des Kunststoffspaltenbodens (Ferkelaufzucht) im Liegebereich um 18 °C. Mit Hilfe des Dunkelstrahlers erwärmt sich der verwendete Fußboden also mehr als 8-mal so schnell wie der Betonfußboden in der Schweinemast.

Ein gleichzeitig mit gemessener Gussrost, der im Liegebereich auf dem Spaltenboden aufgelegt wurde hatte zu allen untersuchten Zeitpunkten die gleiche Oberflächentemperatur wie der Kunststoff. Die durchschnittliche Differenz zwischen Kunststoff und Gusseisen betrug 0,4 °C. Die mehrfachen Unterschiede in der Masse und im spezifischen Gewicht zwischen Gusseisen und Kunststoff spielen im Dunkelstrahlerkegel also keine Rolle, denn die spezifischen Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit wurden durch das Auflegen auf den Kunststoffspaltenboden ausgeschaltet.

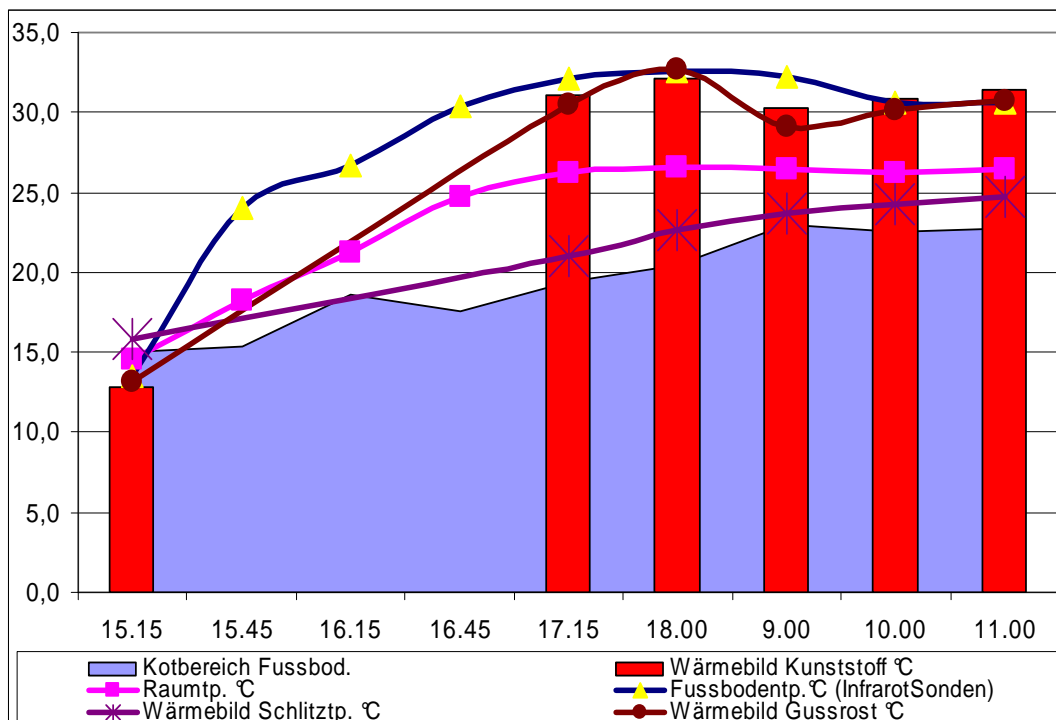


Abbildung 8 Temperaturentwicklung

Die mit Hilfe der Wärmebildkamera dargestellte Temperatur zwischen den Schlitzen entsprach in Etwa den Werten wie in der Schweinemast. Bei vergleichbarem Güllestand (ca. 20 cm unterhalb des Spaltenbodens) wie in der Schweinemast betrug die festgestellte durchschnittliche Differenz zwischen Schlitzen und Kunststoff mit abnehmender Tendenz 7,9 °C und damit etwas mehr als doppelt soviel wie in der Schweinemast. Dieser Unterschied ist dem höheren Temperaturniveau geschuldet und damit zu begründen, dass sich feste Körper stärker temperaturabhängig erwärmen als die Luft. Wärmeverluste im Deckenbereich wie bei der Schweinemast konnten bei der Rieselerdecke in der Ferkel-

aufzucht nicht nachgewiesen werden. Die Strömungsgeschwindigkeit der erst am Fußboden erwärmten Luft ist geringer und die möglichen Austrittsöffnungen in der Rieseldecke ebenfalls. Dazu kommt, dass die Rieseldecke im Gegensatz zum Rieselkanal isoliert ist und somit einen größeren Widerstand gegen die aufsteigende Luft bietet.

4 Gerätevergleich der verwendeten Messmethoden

Die mit den unterschiedlich technisch aufwändigen Infrarotmesssonden festgestellten Temperaturen wurden mit den Ergebnissen der Wärmebildauswertung verglichen. Mit 76.000 Pixel je ausgelesenem Bild bietet das Ergebnis der Wärmebildkamera die meisten Informationen über das untersuchte Objekt. Gleichzeitig sind aber auch die möglichen Fehlerquellen durch die anspruchsvollere Bilderstellung und die noch anspruchsvollere Auswertung der Wärmebilder größer. In Abhängigkeit vom untersuchten Temperaturniveau wurde eine gute Übereinstimmung zwischen den z. T. sehr preiswerten Infrarotmesssonden (Tab. 1) und den Ergebnissen der Wärmebilder gefunden. Im Mittel über alle Messpunkte und Messzeitpunkte waren die aus den Wärmebildern ausgelesenen Temperaturen auf Betonspaltenböden 0,7 °C höher als das Mittel der Infrarotmesssonden. Im Mittel über alle Messpunkte und Messzeitpunkte waren die aus den Wärmebildern ausgelesenen Temperaturen auf Kunststoffspaltenböden 0,7 °C niedriger als das Mittel der Messergebnisse der Infrarotmesssonden.

Tabelle 2 Vergleich der Messgeräte bei unterschiedlicher Entfernung zur Wärmequelle

	Messpunkt in der Nähe der Wärmequelle	Wärmebild Spaltenboden Beton bzw. Kunststoff + Schlitze gewichtet °C	Differenz zum Wärmebild 830-T2 (Testo) °C	Differenz zum Wärmebild Minitemp MT (Raytek GmbH) °C	Differenz zum Wärmebild T 805 (Testo) °C	Differenz zum Wärmebild Miniflash II (TFA Dostmann GmbH) °C	Differenz zum Wärmebild alle Thermometer °C
Betonspaltenboden (14 % Schlitzanteil)	nah (0 m)	15,0	2,6	1,8	1,2	0,9	1,6
	mittel (4 m)	12,1	1,2	0,5	- 0,2	- 0,5	0,3
	weit (8 m)	11,4	- 0,8	0,7	0,0	1,0	0,2
	Mittel über alle Messpunkte	12,8	1,0	1,0	0,3	0,5	0,7
Kunstst.spaltenboden (10 % Schlitzanteil)	nah innen	30,8	0,3	- 0,5	0,1	0,6	0,1
	nah außen	26,8	0,7	0,1	0,7	0,7	0,5
	weit innen	27,9	- 2,0	- 2,4	- 2,4	- 2,1	- 2,2
	weit außen	24,4	- 0,7	- 1,5	- 2,1	- 1,1	- 1,4
	Mittel über alle Messpunkte	27,5	- 0,4	- 1,1	- 0,9	- 0,5	- 0,7

Gleichzeitig scheint der Abstand zur Wärmequelle eine Rolle zu spielen. Während die Übereinstimmung der einzelnen Messgeräte zum Wärmebild beim Gasstrahler mit zunehmendem Abstand zur Wärmequelle besser wurde, wurden die ausgewiesenen Unterschiede unter dem Dunkelstrahler im Strahlungskegel größer. Auffällig war auch ein vergleichsweise großer Unterschied im Messergebnis des vergleichsweise teureren Testo Gerätes unmittelbar unter der Gaskanone in der Schweinemast. Auch führten mehrfach wiederholte Messungen häufig zu unterschiedlichen Werten. Eine Beziehung zwischen Kosten der Infrarotmesssonden und der Qualität der gelieferten Daten konnten nicht festgestellt werden. Gerade die mit 30 € und 50 € vergleichsweise preiswerten Geräte von Testo und TFA Dostmann GmbH brachten eine vergleichsweise gute Übereinstimmung mit den Wärmebildern. Trotzdem können die festgestellten Abweichungen, sofern sie auf Messfehlern beruhen für die Bewertung ausreichender Fußbodentemperaturen z.B. an der Grenze zu 20°C durchaus relevant sein.

5 Fazit und Kurzfassung

Mit Hilfe verschiedener Messgeräte (Wärmebildkamera, Infrarotmesssonden) wurde die Entwicklung der Fußbodentemperaturen innerhalb einer Vorheizperiode von 24 Stunden bei zwei unterschiedlichen Systemen der Wärmebereitstellung (Gaskanone, Dunkelstrahler) verglichen.

Die Entwicklung der Temperaturen hängt ab von der verwendeten Technik, der Wärmeverteilung, den möglichen Wärmeverlusten, sowie den Materialeigenschaften der Stalleinrichtung. Die Fußbodentem-

peratur stellt sich je nach Material (Beton sehr träge, Kunststoff schnell) und Kanaltiefe (d. h. Lufttemperatur im Güllekanal) ein. Zum Vorheizen von Fußböden sind Gaskanonen sehr uneffizient. Selbst nach 24 h werden in Iden die geforderten Fußbodentemperaturen nicht erreicht, weil die Wärme sehr schlecht transportiert wird und große Verlustquellen (Rieselkanal oder Ablüfter) vorhanden sind. Zwei Gaskanonen sind zum Anheizen von Schweinemastabteilen mindestens erforderlich, eine Alternative könnte die Weiterentwicklung der Luftverteilung oder die Unterflurabsaugung sein. Letztere hilft die erzeugte Warmluft effizienter an den Spaltenboden zu bringen (WEBER 2005). Dunkelstrahler arbeiten hinsichtlich der Fußbodentemperaturen sehr effektiv aber mit hohen Verbrennungstemperaturen. Auf 10 m fällt die Temperatur um 200 °C. Dadurch entsteht eine Schichtung (Abfall) der Temperatur in der Breite (3,8 °C) aber auch in der Länge (2,7 °C) des Strahlungskegels. Die mithilfe einer Wärmebildkamera darstellbaren Wärmeverluste waren bei den untersuchten Rieselkanälen in der Schweinemast größer als bei den Rieseldecken in der Ferkelaufzucht. Innerhalb der ersten zwei Beobachtungsstunden wurde der Kunststofffußboden unter dem Dunkelstrahler etwa 8-mal schneller aufgeheizt als der Betonfußboden unter der Gaskanone. Der festgestellte systematische Unterschied zwischen den Ergebnissen der Wärmebilder und den Infrarotmesssonden beträgt 0,7 °C. Eine Beziehung zwischen der Qualität der ermittelten Werte der Infrarotmessgeräte und dem vorgegebenen Preis kann nicht festgestellt werden. Auch preiswerte Geräte können für diese Zwecke verwendet werden.