



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Einsatz einer Kühldecke aus wasser- durchflossenen Wärmeleitprofilen zur Zuluftkühlung im Sauenstall



LfL-Information

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Redaktion: Institut für Tierhaltung und Tierschutz
Prof.-Dürrwaechter-Platz 2, 85586 Poing / Grub
E-Mail: Tierhaltung@LfL.bayern.de
Tel.: 089/99141-371

1. Auflage Februar / 2006

Schutzgebühr: 5,00 €

Druck: lerchl-druck, 85354 Freising

© LfL



**Einsatz einer Kühldecke mit wasser-
durchflossenen Wärmeleitprofilen zur
Zuluftkühlung in einem Sauenstall**

Dr. Christina Jais, Franz Freiberger

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung	9
1 Einleitung und Zielsetzung.....	10
2 Stand des Wissens.....	11
3 Material und Methoden.....	13
3.1 Beschreibung des Kühlsystems	13
3.2 Datenerhebung.....	17
3.2.1 Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit, Leistungsdaten des Kühlsystems	17
3.2.2 Investitions- und Betriebskosten	17
4 Ergebnisse	18
4.1 Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit, Kühlwirkung	18
4.2 Investitions- und Betriebskosten	20
4.3 Beurteilung der Kühldecke.....	21
4.4 Ausblick und weitere Messungen.....	21
Literaturverzeichnis	22

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Lage der Kühldecke und Weg der Zuluft in die Stallabteile (Schnitt).....	13
Abb. 2: Lage der Kühldecke (Draufsicht).....	14
Abb. 3: Nordseitiger Lufteintritt in den Zentralgang des Stalles	14
Abb. 4: Parallel angeordnete Wärmeleitprofile im Zentralgang, links noch zu sehen: 6 Wasser führende Kupferrohre, kurz vor dem Aufpressen der Profile	15
Abb. 5: Kühldecke und unterhalb liegende Zuluftöffnungen (Pfeil) in die Stallabteile	15
Abb. 6: Glatte Oberfläche der Wärmeleitprofile.....	15
Abb. 7: Schemazeichnung der Kühldecke mit Steuerung, Wasserzufuhr und Wasserableitung.....	16
Abb. 8: Handregelung zur Steuerung der Vorlauftemperatur des Kühlwassers durch Einmischen von Rücklaufwasser in den Vorlauf.....	17
Abb. 9: Lufttemperaturen an einem Tag ohne Kühlung.....	18
Abb. 10: Lufttemperaturen bei Einsatz der Kühldecke ab 11 Uhr vormittags.....	19
Abb. 11: Lufttemperaturen bei Einsatz der Kühldecke über 24 Stunden	19

Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Aufgenommene Wärmemenge und Vorlauftemperatur der Kühldecke sowie ihre Wirkung auf Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit an ausgewählten Tagen	20
Tab. 2: Investitionskosten von Kühldecke und Brunnen	20
Tab. 3: Betriebskosten der Kühldecke je 12 Stunden Einsatz (2003-2005)	21

Einsatz einer Kühldecke mit wasserdurchflossenen Wärmeleitprofilen zur Zuluftkühlung in einem Sauenstall

Institut für Tierhaltung und Tierschutz
Christina Jais, Franz Freiberger

Zusammenfassung

In einem 140er Sauenstall wurde von 2003-2005 die Wirkung einer Kühldecke vor allem auf die Temperatur der Stallluft gemessen. Die Kühldecke befindet sich im Zentralgang des massiven, zwangsbelüfteten Stalles, von wo aus die Zuluft über Porenkanäle in die Stallabteile gelangt. Die Kühldecke ist 30 m lang, 1,8 m breit und besteht aus insgesamt 390 m wasserdurchflossenen Wärmeleitprofilen.

An heißen Sommertagen mit Temperaturen von über 30 °C wurde die Lufttemperatur durch die Kühldecke um 4-5 Kelvin gesenkt. Die Kühldecke nahm bis zu 64 kWh je Meter Profillänge Energie aus der Luft auf.

Bei Investitionskosten von etwa 12000 € lief das System störungs- und wartungsfrei. Kosten für Kühlwasser entstanden wegen der Entnahme aus eigenen Brunnen nicht. Für den laufenden Betrieb der Kühldecke fielen Stromkosten von etwa 1,90 € je 12 Stunden Einsatz an.

1 Einleitung und Zielsetzung

Hohe Lufttemperaturen stellen für Schweine in Stallungen eine große Belastung dar. Negative Auswirkungen auf Wohlbefinden, Verhalten und Produktionsleistung sind die Folge.

Obwohl etliche technische Verfahren zur (Zu-) Luftkühlung zur Verfügung stehen, hat sich bisher kein Standardverfahren etablieren können. Die überwiegende Zahl der Schweinestallungen wird ohne technische Kühlung errichtet. Hinderungsgründe sind die zum Teil sehr hohen Investitionskosten, mangelnde Funktionssicherheit, ein erheblicher Wartungsaufwand und zu geringe Erfahrung im Hinblick auf die Kühlwirkung.

In vorliegender Untersuchung wurde der Einsatz von Wasser durchflossenen Wärmeleitprofilen im Zuluftweg eines Zuchtsauenstalles zur Kühlung der Stalllufttemperatur überprüft.

Durch begleitende Messungen und Dokumentationen sollten folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche technische Ausstattung und Gestaltung ist für den Einsatz des Systems im landwirtschaftlichen Betrieb nötig (z. B. Größe der Kühlfläche, Zusatzgeräte wie Wärmetauscher, Taupunktregelung, Zeitschaltuhr)?
- Welche Kühlleistung, -wirkung kann erreicht werden?
- Wie hoch sind Wartungs- und Reparaturaufwand?
- Welche Investitionskosten ergeben sich?
- Wie hoch sind die laufenden Betriebskosten?

Die Untersuchungen fanden im Rahmen des vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten geförderten Forschungsvorhaben „Verbundprojekt für artgerechte, umweltgerechte und wettbewerbsfähige Tierhaltungsverfahren“ auf einem der 34 bayerischen Pilotbetriebe statt.

Zu diesem Verbundprojekt liegen weitere Untersuchungen in Form von Heften der LfL-Schriftenreihe und LfL-Informationen sowie ein Dokumentationsband mit ausführlichen Betriebsbeschreibungen vor.

2 Stand des Wissens

Hohe Umgebungstemperaturen stellen für Schweine eine starke körperliche Belastung dar. Der „Grenzwert“ ist dabei abhängig vom Alter der Tiere und von ihrer Produktionsphase. Bei strohloser Haltung wird für säugende Sauen aufgrund ihrer durch die Milchbildung verursachten hohen Stoffwechselwärme eine Raumtemperatur von maximal 20 °C empfohlen - als Kompromiss mit den höheren Temperaturansprüchen der Saugferkel – wobei der Anspruch der Sauen deutlich niedriger liegt, im Deck- und Wartestall sollen auch bei strohloser Haltung 18-20 °C nicht überschritten werden. Gravierende Folgen überhöhter Temperaturen ergeben sich aus einer verringerten Futteraufnahme mit geringerer Milchleistung bei erhöhtem Abbau von Körpermasse der Sauen während der Säugezeit sowie aus einer reduzierten Fruchtbarkeit. Im Bereich des Tierverhaltens können vermehrte Unruhe und Aggressivität beobachtet werden. [2], [3], [6]

Die Belastung der Tiere durch hohe Umgebungstemperaturen wird verstärkt, wenn gleichzeitig die relative Luftfeuchtigkeit etwa 80 % überschreitet. Solch hohe Werte werden in zwangsgelüfteten Stallungen jedoch nur selten, in der Regel im Vorfeld von Gewittern erreicht. Der Wirkung der Luftfeuchtigkeit auf die Thermoregulation der Schweine kommt jedoch beim Einsatz von Kühlvorrichtungen auf Basis von Verdunstungskühlung Bedeutung zu.

Um hohen Lufttemperaturen im Aufenthaltsbereich der Schweine vorzubeugen, werden u. a. auch einige nicht technische Gegenmaßnahmen empfohlen: eine optimale Ausführung und regelmäßige Wartung der Lüftungsanlage, eine gute Wärmedämmung von Gebäude und Dach, die Beschattung der Gebäude durch Eingrünung von Stallanlagen, der Einsatz von Jalousien an Fenstern, die Platzierung besonders sensibler Bereiche (Deckzentrum, Abferkelabteile) an der Nord-Ost-Seite der Gebäude. Damit soll die Erhitzung der Luft im Stall reduziert werden. Obwohl die Maßnahmen wirksam sind, stoßen sie bei hohen Außentemperaturen an Grenzen, da über die Lüftungsanlage Luft in den Stall gelangt, deren Temperatur den für Schweine tolerierbaren Bereich überschreitet. Da auch das Ansaugen der Zuluft von der schattigeren Nordseite in Hitzeperioden nicht ausreicht, stellt sich die Frage nach technischen Möglichkeiten zur aktiven Kühlung der Stallluft bzw. der Zuluft [4].

Erdwärmetauscher mildern die Temperaturschwankungen der Zuluft aufgrund der ausgleichenden Wirkungen des Erdreichs. Zusätzlich zur kühlenden Wirkung bei hohen Lufttemperaturen wärmen sie kalte Zuluft im Winter und in kalten Herbst- und Frühjahrsnächten an. Sie funktionieren sicher und wartungsfrei. Ihr Einbau verursacht jedoch aufgrund der erheblichen Erdbewegungen einen beachtlichen baulichen Mehraufwand. In einer neueren Anlage in einem Maststall wurden 5-10 Kelvin Temperaturverringering im Sommer bei Investitionskosten von etwa 25 € je Mastplatz erreicht [7]. Erfolgt die Luftansaugung oberflächennah im Erdreich, reduzieren sich die Investitionskosten, jedoch auch der Kühleffekt auf 2-3 Kelvin [4].

Luftkühlung durch Verdunstungskälte kann auf mehrere Arten erfolgen. In jedem Fall ist die Abnahme der Lufttemperatur abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit. Bei trockener Luft sinkt die Temperatur stärker als bei feuchter Luft [1].

Hochdruckanlagen sprühen im Tierbereich, im Zentralgang oder in den Zuluftkanälen der Stallabteile feinste Wassertropfen in die Luft. Die Wassertropfen werden unmittelbar von der Luft aufgenommen, führen also nicht zu einer Benässung von Stallboden, Aufstallung

oder Tieren. Durch die Verdunstung der feinen Wassertropfen sinkt, bei unverändertem Energiegehalt der Luft, die Stalllufttemperatur. In der Praxis werden so Temperaturverringerungen bis zu 4 Kelvin erreicht. Der Einsatz von Hochdruckanlagen ist teurer als die nachfolgend beschriebenen Verfahren mit mittlerem oder niedrigem Wasserdruck. Die Investitionskosten betragen für einen 200er Sauenstall etwa 2000-3000 € [5]. Im Betrieb können Probleme mit der Zusetzung von Düsenöffnungen durch Wasserverunreinigungen oder durch Staub auftreten [4].

Wird Wasser mit geringerem Druck versprüht, erfolgt die Verdunstung durch die höhere Tropfengröße langsamer und nicht vollständig. Boden, Aufstallung und Tiere werden benässt. Daraus kann eine großflächige Verschmutzung der Buchten resultieren. Sprühanlagen mit mittlerem oder geringerem Druck können nicht eingesetzt werden, wenn die relative Luftfeuchtigkeit 70 % überschreitet, da dann die Luft für die großen Wassertropfen kaum noch aufnahmefähig ist. Auch sie sind im Betrieb anfällig für die Verlegung der Düsen durch Staub u. ä.. „Schweineduschen“, die zu einer unmittelbaren Kühlung der Tierhaut führen, zählen in ihrer Wirkungsweise zu den Sprühanlagen mit geringerem Druck.

Das Prinzip der Verdunstungskälte nutzen auch offene Filterwände, die konstant mit Wasser berieselt werden (sog. Kühl-Pads). Sie werden unmittelbar am Eintrittsort der Zuluft in den Stall platziert. 5 Kelvin Temperaturabkühlung scheinen mit dieser Technik möglich. Für einen Stall mit 140-200 Zuchtsauen liegen die Investitionskosten bei etwa 2000-3000 € [8].

Die in der Rinderhaltung erfolgreiche Kühlung durch erhöhte Luftgeschwindigkeiten in ausgewählten Stallbereichen steht für die Schweinehaltung wegen der hohen Empfindlichkeit der Tiere gegen schnelle Luftbewegungen nicht zur Verfügung.

Wasser durchflossene Wärmeleitprofile zur Kühlung von Zu- bzw. Raumluft werden u. a. zur Klimatisierung von Büroräumen verwendet. Das Wasser zirkuliert in einer geschlossenen Ringleitung. Die Kontaktfläche zur Raumluft wird durch zwei „Flügel“ aus wärmeleitendem Material, die sich an die Ringleitung anschließen, vergrößert. Die Kühlleistung dieses Systems hängt ab von der Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft, von der Größe der Kontaktfläche und der Länge der Kontaktzeit. Die Wassertemperatur, die sich durch den Kontakt mit der wärmeren Raumluft entlang der Kühlstrecke erhöht, wird durch den Einsatz eines Wärmetauschers wieder auf den gewählten Ausgangswert gesenkt. Dieses Kühlprinzip wurde im Untersuchungsbetrieb entlang des Zentralgangs des Stalles in Form einer Kühldecke umgesetzt [9].

3 Material und Methoden

Die Messungen wurden in einem neu gebauten Zuchtsauenstall (ca.140 Sauen) durchgeführt. Der Betrieb wurde 2003 als einer von 34 bayerischen Pilotbetrieben für artgerechte Tierhaltung vom Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten ausgezeichnet. Eine genaue Beschreibung von Bauweise, Tierhaltung und Kosten liefert eine Dokumentationschrift der LfL, die alle 34 Pilotbetriebe umfasst. Beim Versuchsstall handelt es sich um ein Massivgebäude in Ziegelbauweise mit Zwangslüftung. Der Eintritt der Zuluft in den Zentralgang des Gebäudes erfolgt an der nordseitig gelegenen Giebelseite des Stalles. Die Abteile für säugende Sauen, Deckzentrum und Wartestall gehen kammförmig vom gemeinsamen Zentralgang aus. Die Aufzucht der abgesetzten Ferkel findet nicht in diesem Stall statt.

3.1 Beschreibung des Kühlsystems

Die am Betrieb installierte Kühldecke befindet sich im 34 m langen und 1,80 m breiten Zentralgang des Zuchtsauenstalles, in ca. 2,50 m Höhe, und erstreckt sich über 30 m Länge und die gesamte Breite des Zentralganges. Die Zuluft tritt über die nordseitige, oberhalb der Kühldecke gelegene Öffnung direkt in den Zentralgang ein. Da die Eintrittsöffnungen in die Zuluftkanäle (Porenkanäle) der einzelnen Abteile unterhalb der Kühldecke liegen, muss die Zuluft die Kühldecke passieren (Abb. 1, Abb. 2, Abb. 3).

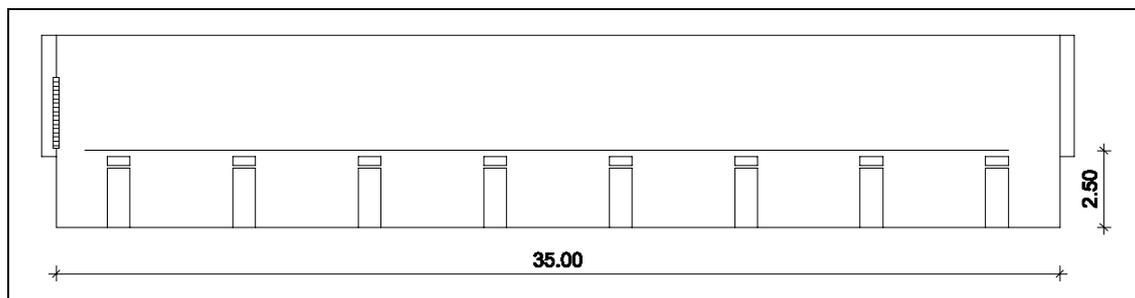


Abb. 1: Lage der Kühldecke und Weg der Zuluft in die Stallabteile (Schnitt)

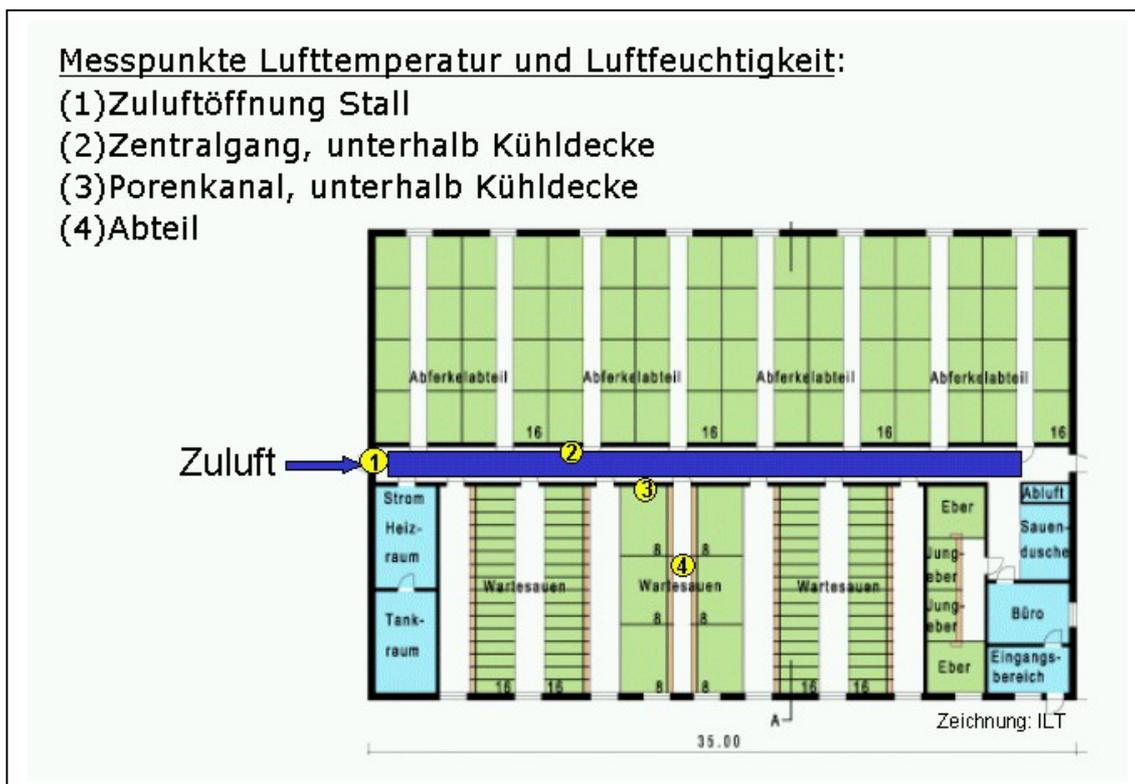


Abb. 2: Lage der Kühldecke (Draufsicht)



Abb. 3: Nordseitiger Lufteintritt in den Zentralgang des Stalles

Die Kühldecke besteht aus insgesamt 65 Wärmeleitprofilen von je 12 cm Breite und 6 m Länge. Die einzelnen Profile sind auf 13 parallel laufende Kühlstrecken aufgeteilt, wobei jede Kühlstrecke aus 5 hintereinander angeordneten Wärmeleitprofilen besteht. Die Wärmeleitprofile bestehen aus schwarz eloxiertem Aluminium mit beiderseits glatter Oberfläche. Sie sind fest mit dem Wasser führenden Kupferrohr verpresst. Zwischen den parallel liegenden Wärmeleitprofilen und zur Wand ergeben sich Abstände von etwa 1,7 cm Breite durch welche die Zuluft durchtreten kann. Insgesamt wurden 390 m Profillänge und 46,8 m² Kühlfläche installiert (Abb. 4, Abb. 5, Abb. 6, Abb. 7).



Abb. 4: Parallel angeordnete Wärmeleitprofile im Zentralgang, links noch zu sehen: 6 Wasser führende Kupferrohre, kurz vor dem Aufpressen der Profile



Abb. 5: Kühldecke und unterhalb liegende Zuluftöffnungen (Pfeil) in die Stallabteile

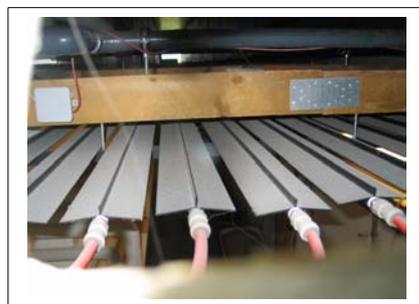


Abb. 6: Glatte Oberfläche der Wärmeleitprofile

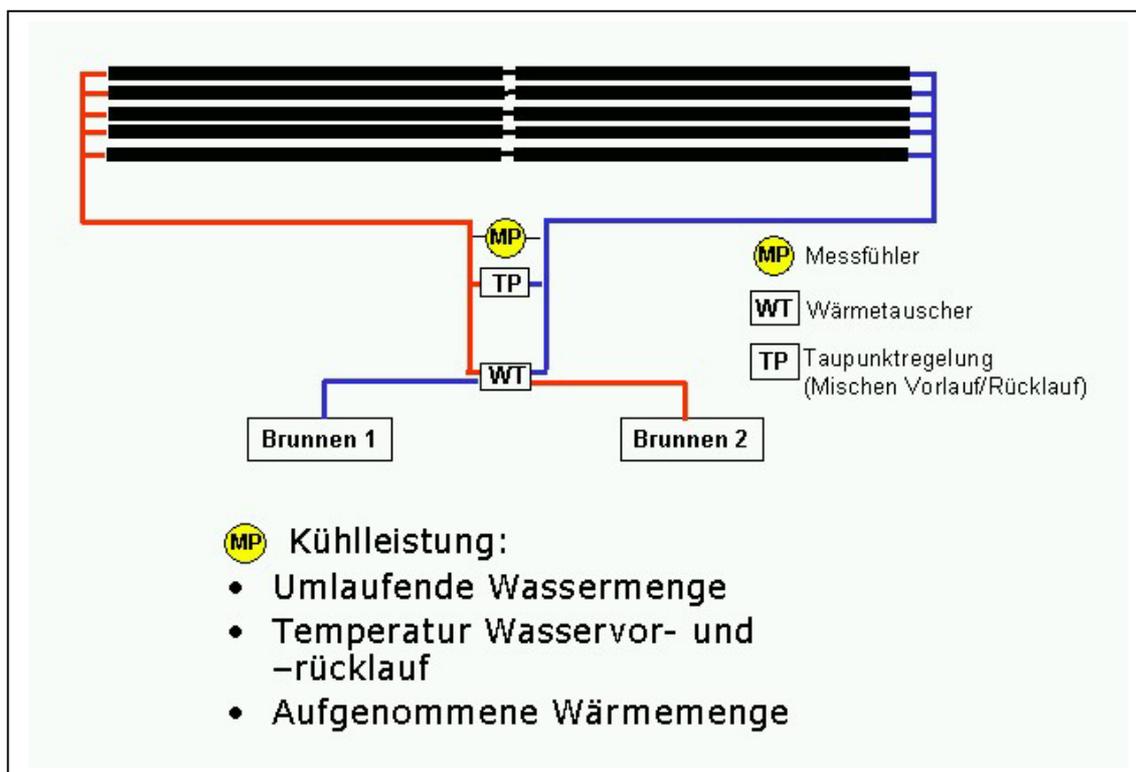


Abb. 7: Schemazeichnung der Kühldecke mit Steuerung, Wasserzufuhr und Wasserableitung

In der Kühldecke zirkuliert das Wasser in einem geschlossenen System, wobei das kalte Vorlaufwasser über die gesamte Kühlstrecke auf einer Länge von 30 m Wärme aus der Luft entzieht. Ein Wärmetauscher entzieht dem Kühlwasser die aus der Luft aufgenommene Energie und sorgt so für die Abkühlung des warmen Rücklaufwassers. Die Kühlung im Wärmetauscher erfolgt durch Grundwasser, das aus einem von zwei eigens für die Kühlung angelegten Brunnen entnommen und in einem Zwischenbehälter (300 l) in einem Stallnebenraum kurzzeitig bevorratet wird. Mit Hilfe eines zweiten Brunnen wird das durchlaufende, „verbrauchte“ Grundwasser wieder ins Erdreich zurückgeführt. Eine Vermischung von Grundwasser mit dem in der Kühldecke zirkulierenden Wasser erfolgt nicht. Um eine Schwitzwasserbildung auf den Wärmeleitprofilen zu vermeiden, kann die Wassertemperatur im Vorlauf erhöht werden. Dies geschieht derzeit noch von Hand gesteuert durch ein Zumischen von Wasser aus der Rücklaufleitung in den Vorlauf (Abb. 7, Abb. 8). Die Förderung des Brunnenwassers erfolgte durch eine 1,5 KW Tauchpumpe (max. 8 m³/h), die Bewegung des Wassers in der Kühldecke durch eine 0,3 KW-Umwälzpumpe.



Abb. 8: Handregelung zur Steuerung der Vorlauftemperatur des Kühlwassers durch Einmischen von Rücklaufwasser in den Vorlauf

Die Kühlleistung des Systems wurde bei der Planung auf insgesamt etwa 22 KW oder 60 W/m Profillänge ausgelegt.

3.2 Datenerhebung

3.2.1 Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit, Leistungsdaten des Kühlsystems

Die Kühldecke wurde zum Sommer 2003 in Betrieb genommen. 2003 und 2004 fanden folgende Messungen statt:

- Lufttemperatur (Genauigkeit 0,4 °C) und relative Luftfeuchtigkeit (Genauigkeit 2 %) von Zuluft und Stallluft mittels Datalogger im 15-Minuten-Intervall (Abb. 2)
 - unmittelbar beim Eintritt der Zuluft in den Stall (MP 1; 2003 und 2004)
 - im Zentralgang unterhalb der Kühldecke (MP 2, 2004)
 - im Eingangsbereich eines Zuluftkanals eines Abteils (MP 3, 2003 und 2004)
 - in einem mit Wartesaunen belegten Abteil (MP 4, 2004)
- die Leistungsdaten der Kühldecke mittels Wärmemengenzähler (Pollu Watt Duo, Fa. Spanner Pollux) im 1-Minuten-Intervall (2003) bzw. im 3-Minuten-Intervall (2004) (Abb. 7)
 - die in der Kühldecke zirkulierende Wassermenge
 - die Vorlauftemperatur des Wassers
 - die Temperaturspreizung von Vorlauf- und Rücklaufwasser
 - die von der Kühldecke aufgenommene Wärmemenge

3.2.2 Investitions- und Betriebskosten

Die Investitionskosten wurden aus den vom Betriebsleiter zur Verfügung gestellten Rechnungen ermittelt.

Als Betriebskosten zählen die Stromkosten zum Betreiben der beiden Wasserpumpen zur Förderung des Brunnenwassers sowie zum Umpumpen des Wassers in der Kühldecke (ermittelt aus Pumpenleistung und Einsatzzeiten). Kosten für Wasserverbrauch fallen am

Untersuchungsbetrieb wegen der Wasserentnahme aus dem eigenen Brunnen nicht an. Ebenso waren im Untersuchungszeitraum 2003-2005 keine Aufwendungen für Reparaturen entstanden.

4 Ergebnisse

4.1 Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit, Kühlwirkung

Bei 48 Messtagen von Anfang Juni bis Ende August 2003 lief die Kühldecke an 32 Tagen, etwa im Zeitraum von 10 Uhr bis 24 Uhr. Bei 28 Messtagen von Anfang bis Ende August 2004 lief die Kühldecke an 8 Tagen, etwa im Zeitraum von 12 Uhr bis 22 Uhr.

Der Betriebsleiter hat nach eigenen Angaben die Kühlung erst dann eingeschaltet, wenn die Außenlufttemperaturen über 25 °C gestiegen sind. Bei schwül-heißer Witterung blieb die Kühldecke außer Betrieb, um Tropfwasser im Zentralgang zu vermeiden. Das Ein- und Ausschalten erfolgte von Hand. Während der Laufzeit der Kühlung betrug die Lüfterleistung der Zwangslüftung etwa 70 % von insgesamt 30.000 m³/h.

Die Wirkung auf Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- An Tagen, an denen die Kühldecke nicht in Betrieb genommen wurde, lagen die Lufttemperaturen von Messpunkt 1 (Lufteintritt in Stall = Außenluft), von Messpunkt 2 (Zentralgang, unterhalb=nach Kühldecke) und von Messpunkt 3 (Eingang in Zuluftkanal des Stallabteils) auf gleichem Niveau. Die Temperatur im Stallabteil (Messpunkt 4) lag im Vergleich dazu etwa 2 Kelvin höher. (Abb. 9)

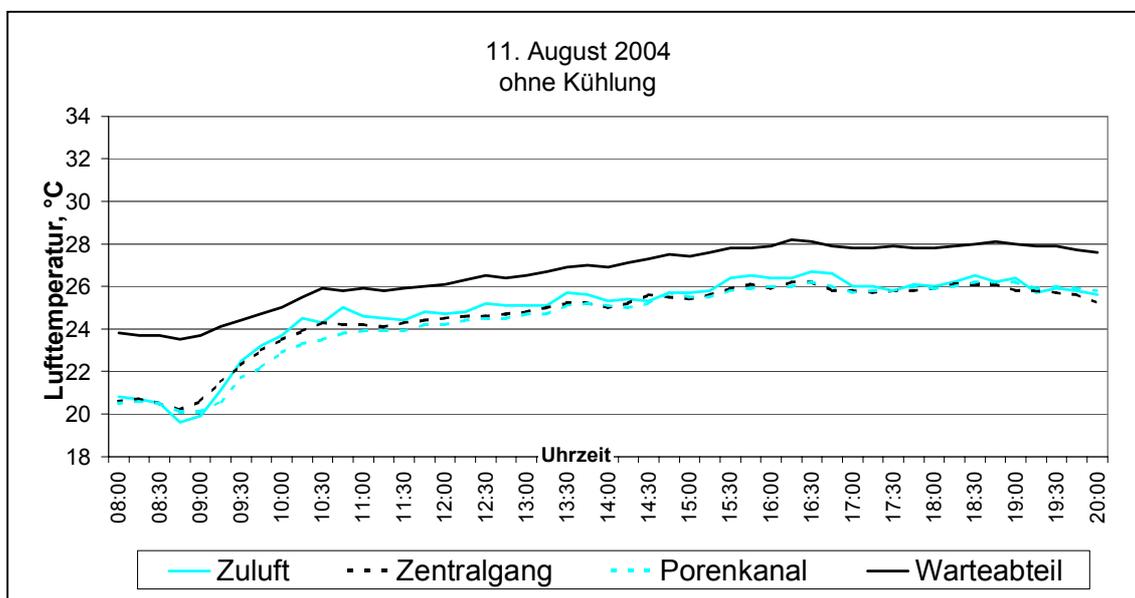


Abb. 9: Lufttemperaturen an einem Tag ohne Kühlung

- Wurde die Kühldecke in Betrieb genommen, konnte die Lufttemperatur an MP 2 (Zentralgang, unterhalb=nach Kühldecke) und MP 3 (Eingang in Zuluftkanal des Stallabteils) um bis zu 4 Kelvin gegenüber der Außenluft (MP 1) abgesenkt werden. Dadurch konnte die Lufttemperatur im Stallabteil (MP 4) auf dem Niveau der Außenluft gehalten werden. (Abb. 9, Abb. 10)

- Durch den kühlungsbedingten Rückgang der Lufttemperaturen stieg die relative Luftfeuchtigkeit in Zentralgang und Stallabteil im Vergleich zur Außenluft (Zuluft) an (Tab. 1).
- War die Kühldecke in Betrieb, nahm sie im Mittel der heißesten Tagesphase (i. d. R. nachmittags) in Abhängigkeit von der Zulufttemperatur bis zu 25 KWh je Stunde auf. Die Temperatur des Wasservorlaufs lag mit bis zu 20 °C etwa 10-15 K unter der Zulufttemperatur. (Tab. 1)

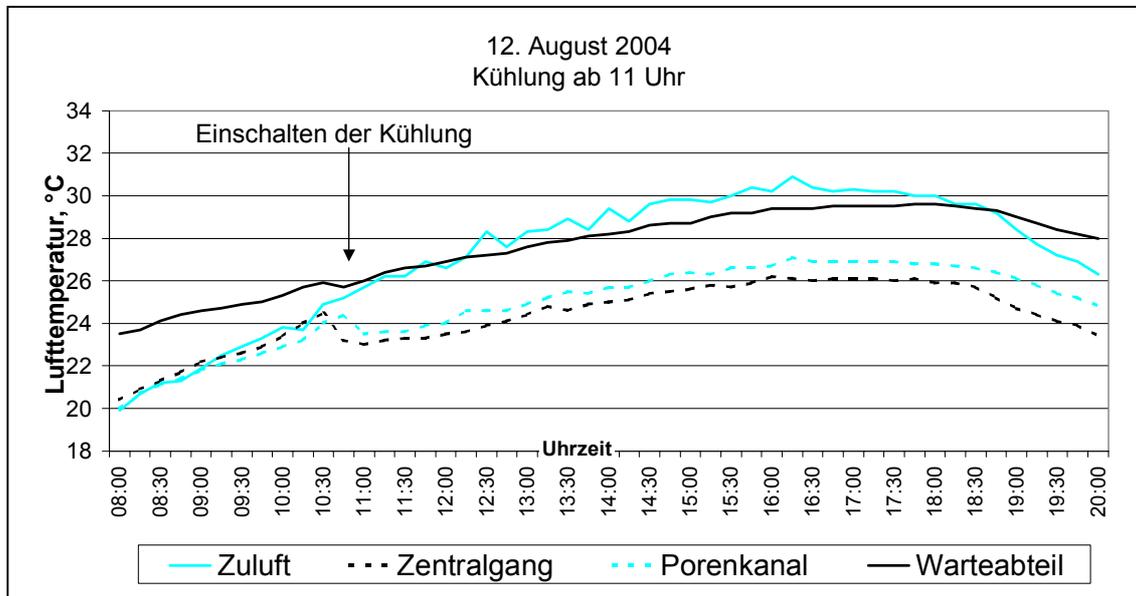


Abb. 10: Lufttemperaturen bei Einsatz der Kühldecke ab 11 Uhr vormittags

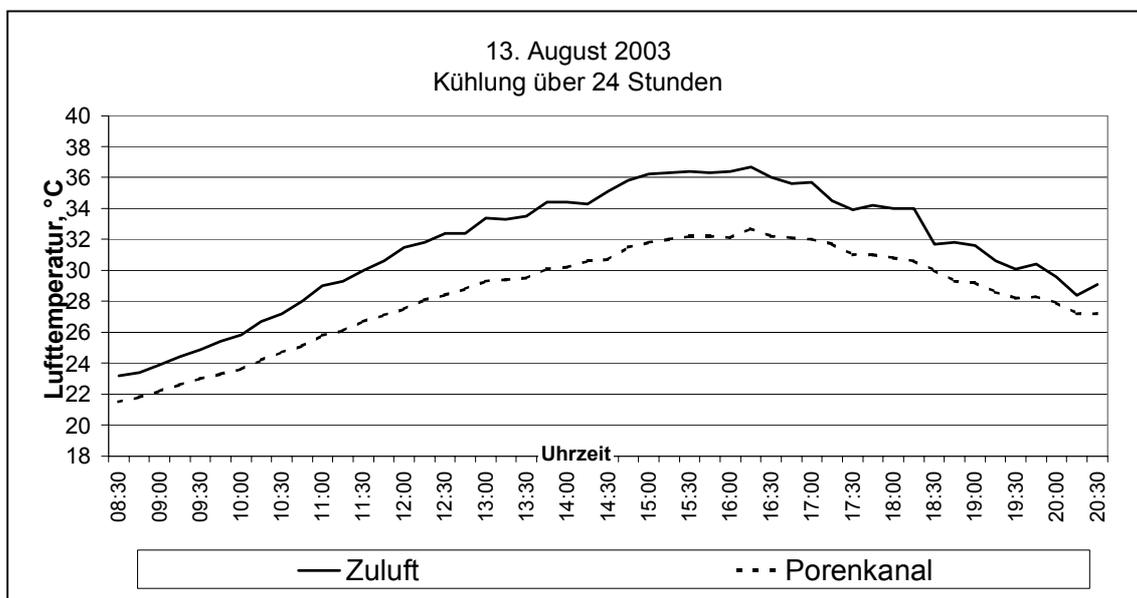


Abb. 11: Lufttemperaturen bei Einsatz der Kühldecke über 24 Stunden

Tab. 1: Aufgenommene Wärmemenge, Vorlauftemperatur der Kühldecke sowie ihre Wirkung auf Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit an ausgewählten Tagen

Datum, jeweils 13-18 Uhr	Mittlere Energieaufnahme der Kühldecke, kWh/h	Max. Energieaufnahme der Kühldecke, kWh/h	Mittlere Vorlauftempera- tur, °C	MP 1: Zuluft Mittlere Lufttemp., °C	MP 1: Zuluft: Mittlere Rel. Luftf., %	MP 2: Zentralgang Mittlere Lufttemp., °C	MP 2: Zentralgang Mittlere Rel. Luftf., %	MP 3: Porenkanal Mittlere Lufttemp., °C	MP 3: Porenkanal Mittlere Rel. Luftf., %	MP 4: Abteil Mittlere Lufttemp., °C	MP 4: Abteil Mittlere Rel. Luftf., %
11.8.04	ohne Kühlung			25,5	57	25,6	54	25,5	52	27,5	53
16.8.04	ohne Kühlung			24,5	64	24,0	64	23,9	60	25,9	59
17.8.04	ohne Kühlung			26,4	58	25,9	59	25,8	56	27,6	56
5.8.04	23,1	26,4	19,5	28,6	38	25,2	46	26,2	42	28,3	42
9.8.04	21,8	25,6	17,8	26,7	45	23,4	24	24,1	49	27,1	48
12.8.04	22,8	24,8	19,4	29,7	48	25,6	61	26,3	55	28,9	54
4.8.03	22,1	30,6	20,1	33,4	34			29,7	38		
10.8.03	23,0	31,2	19,9	33,2	29			29,6	32		
13.8.03	24,4	31,2	20,2	35,1	25			31,2	27		

4.2 Investitions- und Betriebskosten

Für die Installation der Kühldecke sowie für die Anlage der beiden Brunnen ergaben sich die in Tab. 2 dargestellten Kosten. Für zwei Brunnen und die Kühldecke ergaben sich Gesamtkosten von etwa 11700,- €.

Tab. 2: Investitionskosten von Kühldecke und Brunnen

Kühldecke	
○ Kühlprofile	4 483,- €
○ Wärmetauscher	1 483,- €
○ Kugelhahn	38,- €
○ verschiedenes Material	1 787,- €
○ Montage	1 936,- €
2 Brunnen	
○ Maschinen (Raupenbagger, Brunnengreifer, LKW, Tieflader)	1 068,- €
○ Material (Schachtringe, Körnung u. a.)	910,- €
Gesamt	11 706,- €

Die Betriebskosten sind in Tab. 3 zusammengestellt. Da die tägliche Laufzeit der Kühldecke meist zwischen 10 Stunden und 14 Stunden lag, werden die Betriebskosten je 12

Stunden berechnet. Im Gegensatz zur Umwälzpumpe, die während der gesamten Laufzeit der Kühlung aktiv ist, wird die Tauchpumpe nur dann benötigt, wenn der Zwischenwasserbehälter wieder gefüllt werden muss. Hierfür werden 50 % der Laufzeit der Kühldecke angesetzt. Die Betriebskosten je 12 Stunden Einsatz (entspricht etwa 1 Einsatztag) betragen in den Jahren 2003-2005 etwa 1,89 € je Einsatztag (12 Stunden Laufzeit der Kühlung). Im heißen Sommer 2003 lief die Kühlung an etwa 50-70 % der Tage von Juni-August, im August 2004 dagegen nur an 8 Tagen.

Tab. 3: Betriebskosten der Kühldecke je 12 Stunden Einsatz (2003-2005)

Stromkosten Tauchpumpe (1,5 KW, 15Ct/KWh, 6 h Laufzeit)	1,35 €
Stromkosten Umwälzpumpe (0,3 KW, 15Ct/KWh)	0,54 €
Brunnenwasser (4 m ³ /h, 48 m ³ /12 h)	0,- €
Reparaturen	0,- €
Gesamt	1,89 €

4.3 Beurteilung der Kühldecke

Die im Betrieb tatsächlich erzielte Energieaufnahme der Kühldecke aus der Zuluft von bis zu 25 KWh im Mittel der heißesten Tagesphase, umgerechnet 64 W/m Profillänge entsprach den Planungswerten. Das System lief störungsfrei.

Die durch den Einsatz der Kühldecke erzielte Absenkung der Stalllufttemperaturen von 4-5 Kelvin ist beachtlich und kann sich mit den Ergebnissen anderer Kühlsysteme messen. Bezüglich der Investitionskosten liegt das System im oberen Bereich der verfügbaren Kühltechniken. Im Vergleich zu den Kühlsystemen auf der Basis von Verdunstungskälte ist der störungsfreie und wartungsarme Betrieb der Kühldecke erwähnenswert (Kapitel 2).

Der Betriebsleiter möchte die Kühldecke trotz der hohen Investitionskosten wegen der positiven Wirkungen auf die Arbeitsplatzqualität und das Wohlbefinden und Verhalten der Schweine nicht mehr missen.

Ansatzpunkte für eine weitere Leistungssteigerung der Kühldecke könnten sein die Installation

- einer Taupunktregelung (Verlängerung der Einsatzzeiten, besserer Bedienungskomfort)
- von Wärmeleitprofilen mit gerippter Oberfläche (Vergrößerung der Oberfläche)
- weiterer Wärmeleitprofile im Bereich unmittelbar nach Eintritt der Zuluft in den Stall, mit denen die Luft leicht verwirbelt und im Eingangsbereich schneller auf die Kühldecke geleitet wird.

4.4 Ausblick und weitere Messungen

Für Sommer 2006 sind folgende weitere Erhebungen geplant:

- Messung der Kühlwirkung entlang der Kühlstrecke (mehrere Temperatur/Luftfeuchte-Datalogger in verschiedener Entfernung vom Lufteintritt im Zentralgang)
- Erfassung von Betriebskosten (Wasserverbrauch, Energiebedarf Pumpen)

Literaturverzeichnis

- [1] Abshoff, A. I., 1974: Künstliche Kühlung von Schweineställen. KTBL-Schrift 175, Landwirtschaftsverlag GmbH Hiltrup
- [2] Bauförderung Landwirtschaft (Hrsg.) (1997): Sauenhaltung und Ferkelaufzucht. Baubrief 37. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup, ISBN 3-7843-2863-6
- [3] Bolduan, G. (1993): Hitzestreß: So halten Sie Ihre Schweine fit. top agrar, Heft 7 / 1993, S14-S16
- [4] Büscher, W. (2001): So vermeiden Sie Hitzestress. SUS, Heft 3 / 2001, 28-31
- [5] Schnippe, F. (2001): Ställe mit feuchter Luft kühlen. SUS, Heft 3 / 2001, 31
- [6] Top Agrar (Hrsg.) (2000): Fruchtbarkeit im Sauenstall. Fachbuch, Landwirtschaftsverlag Münster, ISBN 3-7843-3045-2
- [7] Venzlaff, F.-W., Redel, H., Cord-Kruse, B. (2003): Mit Erdwärmetauscher das Stallklima optimieren. dlz, Heft 11 / 2003, 134-138
- [8] Zäh, M. (2004): Kühles Kissen aufs Köpfchen. Profi, Magazin für Agrartechnik, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, Heft 7 / 2004, 44-46
- [9] www.Lindner-Holding.de

