Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE | Freistaat SACHSEN

Fachtag Bau und Technik

Lehr- und Versuchsgut Köllitsch, 12. März 2014

Herausforderungen der Zukunft an die Stallklimagestaltung in der Schweinehaltung

Anforderungen an die Stallklimagestaltung heute und morgen

Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Stallklima

Der Begriff Stallklima kennzeichnet die Umweltbedingungen von Tieren und Menschen in Ställen.

Stallklima ist das Zusammenspiel von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit, Temperatur der Boden- und Wandoberflächen sowie der Wärmeleitfähigkeit der Liegefläche.

Das Stallklima wird beeinflußt durch die Zusammensetzung der Luft aus Gasen, Stäuben, Bioaerosolen und weiteren chemischen und biologischen Faktoren.

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Ziele der Stallklimatisierung

Tiergesundheit	Gesunderhaltung; Gesundheitsprophylaxe
Tierwohlbefinden	Tierschutz; Tierkomfort als Qualitätskriterium
Tierleistung	biologische Tierleistungen: Tageszunahmen; Futter-verwertung; Umrauschquote; Zahl der aufgezogenen Ferkel; etc.
Arbeitsplatzqualität	Staubgehalt; Schadgasgehalt; Temperatur
Umwelt	Geruch; klimarelevante Gase

Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte

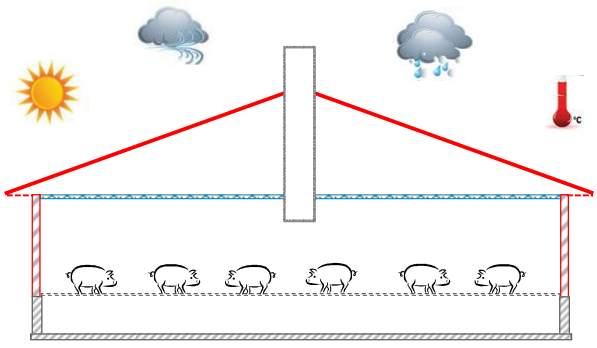
Energieeffizienz

überschüssige Wärme, Feuchtigkeit, CO_2 und andere Schadgase abführen,
Sauerstoff mit wenig Strom für Ventilation zuführen,
wenig Heizenergie aufwenden, eventuell Kühlung

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Einflüsse auf das Stallklima



- durch Aussenklima:
  - Temperatur
  - Luftfeuchtigkeit
  - Wind
  - Sonneneinstrahlung

- durch Stallbau:

Standort
Gebäudeausrichtung, geographische Lage

Bauausführung
umbauter Raum, Wärmedämmung

Lüftungsanlage
Zuluftführung, Abluftführung, Heizung bzw. Kühlung

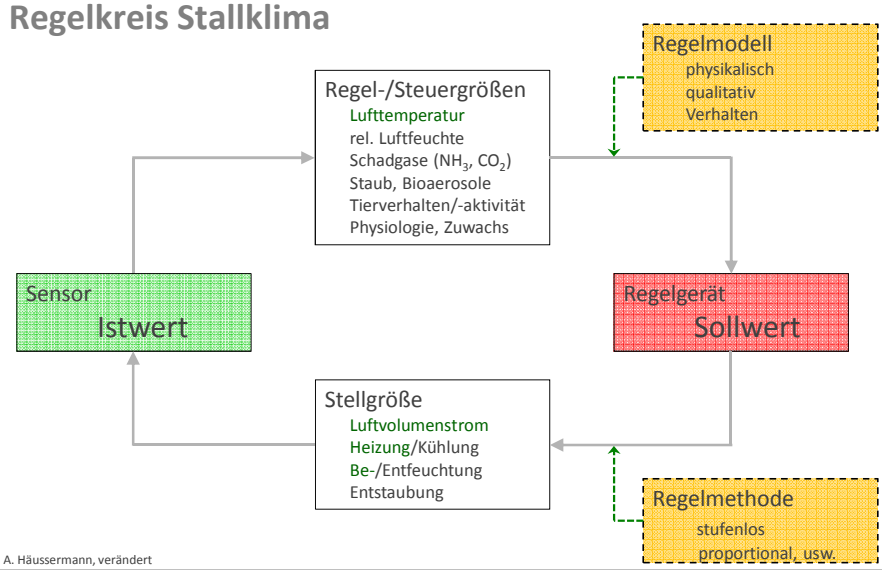
-durch den Tierbesatz:

Wärmeproduktion	Futteraufnahme, Leistung
Wasserdampf	Atmung, Verdunstung
Gase	CO_2, NH_3, H_2S

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Regelkreis Stallklima



A. Häussermann, verändert

© Bernhard Feller

März 2014

Regelmodell

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Physikalische Kriterien (Empfehlungen, DIN, TierSchutzNutzTV)
- Temperatur (°C)
- Luftfeuchtigkeit (% , g/kg, g/m³)
- Luftgeschwindigkeit (m/s)
- Luftwechsel (m³/h)

Qualitative Kriterien (DIN, TierSchutzNutzTV, TierhaltErlasse, TA-Luft)
- Luftzusammensetzung N_2, O_2, CO_2 usw. (%, ppm, g/kg)
- Schadstoffkonzentrationen NH_3, CH_4, N_2O, usw. (mg/kg, ppm)
- Staubgehalt der Luft
- Keimgehalt der Luft (KBE/m³)
- Geruchsintensität (GE)

Kriterium Verhalten vom Tier
- Futtermengen, Futterintervalle, Fresszeiten, Fressdauer
- Tränkemengen, Tränkeintervalle, Zeit, Dauer
- liegen, ruhen, spielen, erkunden, …. (Aufenthaltsort, -dauer)
- Suhle, Dusche, Temperaturwahl
- Laute, …

Problem:

Erfassung
Interpretation
Einzeltier
Tiergruppe
Technikfehler

Regelgröße ?

© Bernhard Feller

März 2014

Regelmodell

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Erfassung

Temperatur:	robuste, universell im Stall einsetzbare Fühler, kaum Drift, hohe Genauigkeit **Regelgröße: Luftrate, Zuheizen, Kühlen**
Schadgase:	praxisgerechte Fühler kaum vorhanden, Querempfindlichkeiten, geringe Standfestigkeiten, Verschmutzung, starke Drift, hoher Wartungsaufwand **Regelgröße: Luftrate**
Feuchtigkeit:	praxisgerechte Fühler selten, Verschmutzung, hoher Wartungsaufwand **Regelgröße: Luftrate, Zuheizen, Befeuchten**
Staub/Bioaerosole:	keine kontinuierliche Messwerterfassung
Tierverhalten:	Steuerung über Kopplung mit Fütterungs-computer, optische Erfassung und Bildanalyse in Echtzeit über Liegeverhalten etc. denkbar

← Problem:

→ Regelgröße ?

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Liegeverhalten als Stellgröße für Stallklimaparameter?

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Lüftung und Heizung

Temperatur:	Alter des Tieres, Gesundheitszustand, Umweltgestaltung, Futteraufnahme
Luftqualität:	Gehalt an Schadgasen und Keimen Ammoniak (<20 ppm) CO_2 (<3.000 ppm) H_2S (<5 ppm)
Luftfeuchtigkeit:	60 bis 80% rel. Feuchte
Luftgeschwindigkeit:	Sommerluftrate (0,2 m/s; bis 0,6 m/s oder mehr?) Winterluftrate (max. 0,2 m/s) Lüftungssystem

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Regelgrößen - Regelung bedeutet auch: man kann/muss eingreifen

Temperatur: „Optimalbereich“:	Ventilatordrehzahl ändern
zu kalt:	heizen – mehrere Standardverfahren
zu warm:	kühlen – mehrere Verfahren (Wasser verdunsten, Pads, Erd-WT, ….)
Feuchte: „Optimalbereich“:	
zu trocken:	befeuchten mit Wasser
zu feucht:	bedingt (Luftwechsel, EntfeuchtungsWP) was sind sinnvolle Grenzwerte?
Gaskonzentrationen:	messtechnisch aufwändig einige gesetzliche Grenzwerte - aber deshalb vernünftig? relevant für Emissionen und Immissionen **im** Stall eingreifen: positiv für Mensch + Tier: Fütterung, Lüftungssystem, vernebelte Substanzen **außerhalb** des Stalles: „besser“ Verteilen durch Kaminhöhe + Abluftgeschwindigkeit, Abluftreinigung

Eingriffe im Sinne von kurzfristig anpassen? aber Steuerung, Überwachung, Controlling?

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Temperaturen für Schweineställe

strohlose Aufstallung

Tierart	Empfehlung	DIN 18910 Optimal	DIN 18910 Rechenwerte Winter
Sauen mit Ferkel im Ferkelliegebereich	18 – 20 °C 40 – 32 °C	12 – 20 32 - 20	12
Abgesetzte Sauen	20 °C	10 - 18	10
Tragende Sauen in Gruppenhaltung	18 °C	10 - 18	10
Tragende Sauen in Einzelhaltung	20 °C	10 - 18	10
Abgesetzte Ferkel	30 – 24 °C	26 - 20	20
Mastschweine	28 – 19 °C	26 - 14	20 - 12

© Bernhard Feller

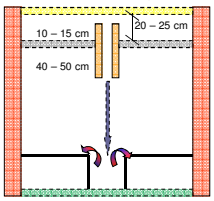
März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

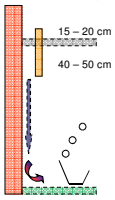
Zuluftsysteme im Schweinestall

Porendecke

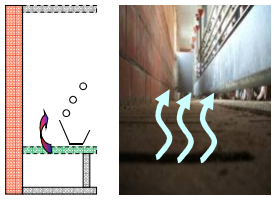
Schlitzlüftung



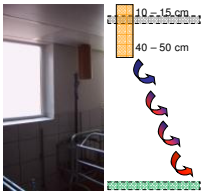
Schlitzlüftung



Futterganglüftung unterflur



„Nasenlüftung“



Lochplattenkanal

Zuluftverteiler

Strahllüftung

© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Fehlerquellen in Lüftungsanlagen

- Undichtigkeiten im Stallgebäude
- Falsche Dimensionierung der Zuluft
- Ungleichmäßige Luftströmungen
- Ungenügende Abluftvolumenströme
- Unzureichende Pflege und Wartung der Lüftungsanlage
- Falsche Reglereinstellung

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Zuluftführung oft problematisch

Abferkelstall:

Problembereich Diagonalaufstallung

Nase der Sau liegt unter dem Trog

- nicht genügend „Freifläche“ für ungehinderten Luftaustausch vorhanden

insbesondere bei hohen Außentemperaturen entsteht für Sauen extremer Streß

© Bernhard Feller

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Falschluft vermeiden

Beispiel: Spalt von 100 cm² - 1 Meter lang, 1 cm breit
rund 100 m³ Falschluft pro Stunde

dies entspricht einer ausreichenden Mindestluftrate für:

50 Absatzferkel oder 20 Mastläufern

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Berechnungsbeispiel: falsche Luftrate

Angaben in m³/h je Tier

Tierart	Empfehlung Minimum Luftrate	Empfehlung Maximum Luftrate	DIN 18910 Temperatur zone I	DIN 18910 Temperatu rzone II
Sauen mit Ferkel	25	250	164	109
Leere und tragende Sauen	15	150	106	71
Ferkel bis 30 kg	2 - 6	30 - 40	53	35
Mastschweine	7 - 10	80 - 110	119	79

Temperaturzone I: >26°C; ΔT = 2 Kelvin ; Temperaturzone II: <26°C; ΔT = 3 Kelvin

4 Abteile zu je 500 Ferkelplätze

Max.-Luftrate: 17.500 m³/h je Abteil
Min.-Luftrate: 1.000 – 3.000 m³/h je Abteil

Ventilator: 91er mit 18.410 m³/h bei 50 Pa
Minimalluftrate ca. 5.670 m³/h

Annahme: überhöhte Abluftrate von 3.000 m³/h
pro Abteil an 10 % der Jahresstunden

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

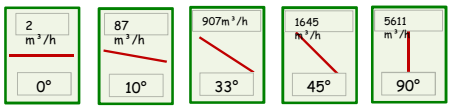
	Einstellungen am Klimacomputer		gemessene Luftmenge	Einstellungen am Klimacomputer		gemessene Luftmenge
	Klappe	Ventilator		Klappe	Ventilator	
Abteil 2	20%	20%	13%			
	50%	50%	51%			
	100%	100%	100%			
Abteil 3	20%	20%	13%	100%	3%	17%
				100%	10%	24%
				100%	20%	33%
	50%	50%	55%	100%	50%	57%
	100%	100%	100%	100%	100%	100%

© Bernhard Feller

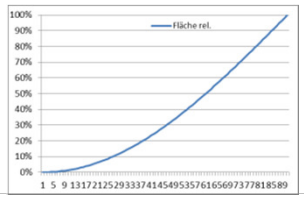
März 2014

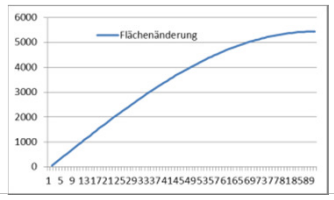
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Öffnungswinkel und Volumenstrom in einem 63er Abluftrohr



Öffnungswinkel, Grad	0°	10°	33°	45°	90°
Öffnungswinkel, relativ	0 %	11 %	37 %	50 %	100 %
Luftrate bei 5m/s, m³/h	2	87	907	1645	5611
Luftrate bei 5 m/s, relativ	0 %	1,6 %	16,2 %	29,3 %	100 %



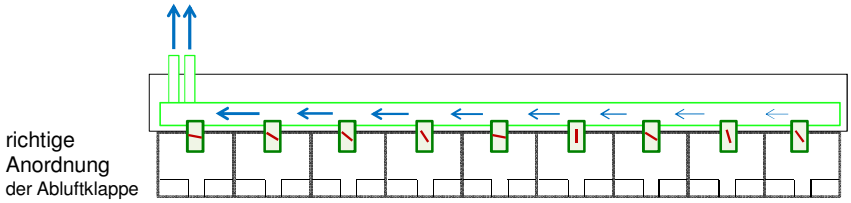


© Bernhard Feller

März 2014

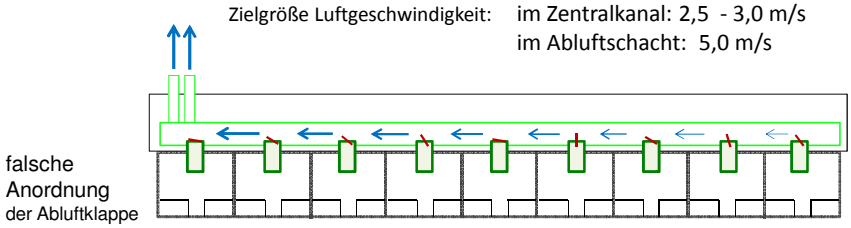
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Ausbildung des zentralen Sammelkanals



richtige Anordnung der Abluftklappe

Zielgröße Luftgeschwindigkeit: im Zentralkanal: 2,5 - 3,0 m/s
im Abluftschacht: 5,0 m/s



falsche Anordnung der Abluftklappe

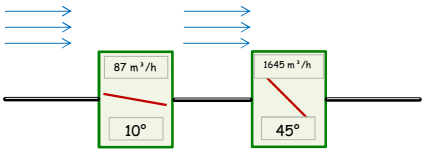
© Bernhard Feller

März 2014

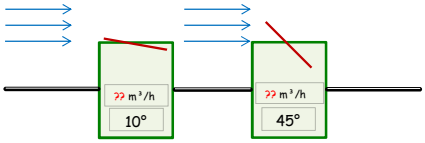
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Einfluß des Einbauortes der Abluftklappe im Abluftschacht

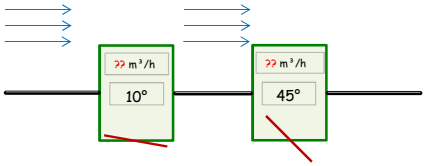
mittig im Abluftschacht
Einfluß der Strömung im Zentralkanal?
je nach Geschwindigkeit: höhere Luftrate



oben im Abluftschacht
Einfluß der Strömung im Zentralkanal?
je nach Richtung und Geschwindigkeit:
deutliche Beeinflußung der Luftrate



unten im Abluftschacht
Einfluß der Strömung im Zentralkanal?
je nach Richtung und Geschwindigkeit:
deutliche Beeinflußung der Luftrate



© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Ansprüche des Tieres

Luftgeschwindigkeit:

keine Zugluft, wenn die Raumtemperatur deutlich geringer als die Körpertemperatur ist

Faustregel:

Temperaturunterschied > 5 K max. Luftgeschwindigkeit im Tierbereich beachten!

Nur bei höheren Temperaturen (> 30°C) kann die Luftgeschwindigkeit im Tierbereich erhöht werden, um dadurch zusätzliche Kühleffekte zu nutzen.

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Stalltemperatur bei unterschiedlichem Lüftungsniveau (Mastschweine 100 kg, hohes Futterniveau)

Maximum Lüftung	Außentemperatur	Stalltemperatur
80 m³/h	**30,0 °C**	**32,8 °C**
100 m³/h	**30,0 °C**	**32,4 °C**
120 m³/h	**30,0 °C**	**32,2 °C**

J. Peijnenburg, DLV 1998

© Bernhard Feller

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Der Chill-Effekt oder „gefühlte Temperatur“

Ist-Temperatur °C	Relative Luftfeuchte %	Temperaturwahrnehmung bei unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten m/s					
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
35	50	35	32,2	26,6	24,4	23,3	22,2
29,5	50	29,5	26,6	24,4	22,8	21,1	20,0
24	50	24	22,8	21,1	20,0	17,7	16,6

R. Barnwell, Pittsburg 2002

© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Erkrankungen durch Klimaführung

Erkältungskrankheiten:

Husten, Schnupfen, Lungenentzündung, Harnwegsinfektionen

Verhaltensstörungen:

Ohrenbeißen, Schwanzbeißen, …

Leistungsminderung:

Schadgasgehalt, Luftfeuchte, Temperatur, Zugluft

© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Folgen schlechter Klimaführung

Zugluft:
zu hohe Luftrate, Undichtigkeiten, zu hoher Unterdruck

hohe Schadgaskonzentration, Geruch: Reizung der Schleimhäute
geringer Volumenstrom, zu hohe Solltemperatur, Luftbewegung über der Gülle, Überbelegung, Luftkurzschluss, geringer Unterdruck, Schaumbildung der Gülle

hohe Staubbelastung:
Hustenreiz, zu geringe Luftfeuchtigkeit

feuchte Bauteile, tropfende Decken:
zu hohe Luftfeuchtigkeit, schlechte Dämmung, geringe Luftrate

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Anforderung des Tierhalters an das Stallklima

Luftqualität:	Arbeitsschutz: möglichst geringer Gehalt an Schadgasen (MAK Wert NH_3: 50 ppm; CO_2: 5.000 ppm; H_2S: 5 ppm) und Staub
Luftgeschwindigkeit:	zugfreie Luftführung auf Zentral- und Kontrollgängen
Temperatur:	angenehme Temperaturen im Arbeitsbereich
Technik/Bauweise:	einfach zu bedienen und zu pflegen
Bedienung:	einfach und übersichtlich zu bedienen
Alarmeinrichtung:	akustische, optische und fernmeldetechnische Alarmgebung

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Einfache Bedienung und Kontrolle

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Anforderungen an Lüftungsanlagen

Anpassen der Luftraten an den Lüftungsbedarf
- Regelung, Gruppenschaltung, „natural flow“, …

Abstimmung Ventilator und Regelung
- Regelverfahren: Spannungsregelung, Frequenzregelung, EC-Technik

Optimierung der Zu- und Abluftkanäle
- Umlenkungen, Sauberkeit, Dämmung

Sauberkeit der Lüftungsanlage
- leichte Pflege und Reinigung, Zu- und Ablufteinrichtungen

Energiesparende Stall- und Lüftungskonzepte
- Dimensionierung, Kennlinien, Motorentechnologie, Bauform, Flügelform, etc.

Wärmehaushalt des Stalles
- Bauform, Dämmung, Tierbesatz

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Problembereich Energieverbrauch

Lüftungsanlage:

Regelbereich zwischen Sommer- und Winterluftrate :

je nach Tierart und Alter Faktor	10 – 20fach
Lüftungsregelung kann den Faktor	5fach

Anpassung der Luftraten an den tatsächlichen Bedarf

Heizungsanlage:

im Sommer nur Aufheizen/Trocknen der Ställe
im Winter erhöhter Wärmebedarf zum Ausgleich der Wärmeverluste

je nach Tierart und Alter	10 – 15fach

wenige Stunden → hohe Heizleistung
viele Stunden → geringe Heizleistung

→ Heizungsanlagen sind oft falsch dimensioniert

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Einflüsse auf den Stromverbrauch des Ventilators

Motorentechnologie	230V/400V; Asynchron/EC-Technik
Drehzahl	Druckstabilität
Flügelform, -anzahl, -anstellwinkel	Luftleistung; Wirkungsgrad
Stabilität der Lüfterflügel	Wirkungsgrad, Luftleistung
Bauform	Spaltmaß; Rohreinbauventilator
Regelung	elektronisch; elektrisch; frequenz

Ziehl Abegg

Ziehl Abegg

DeVrie

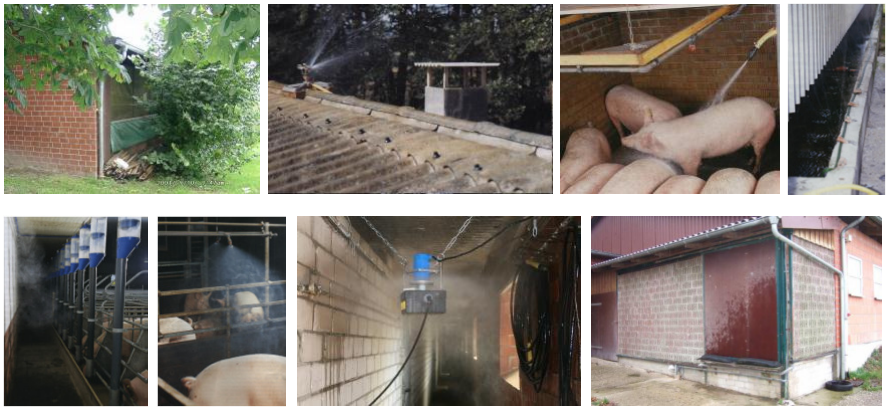
DeVrie

© Bernhard Feller

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Möglichkeiten zur Kühlung von Ställen

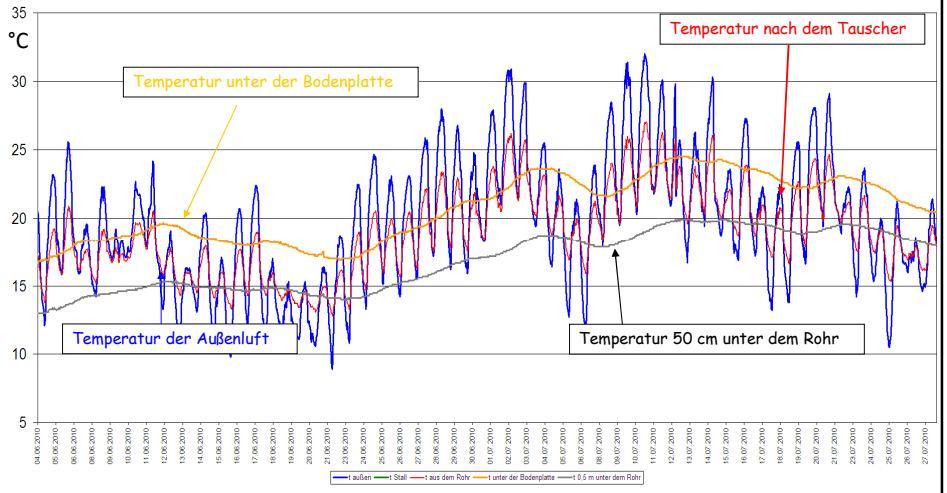


© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Kühlwirkung eines Erdwärmetauschers

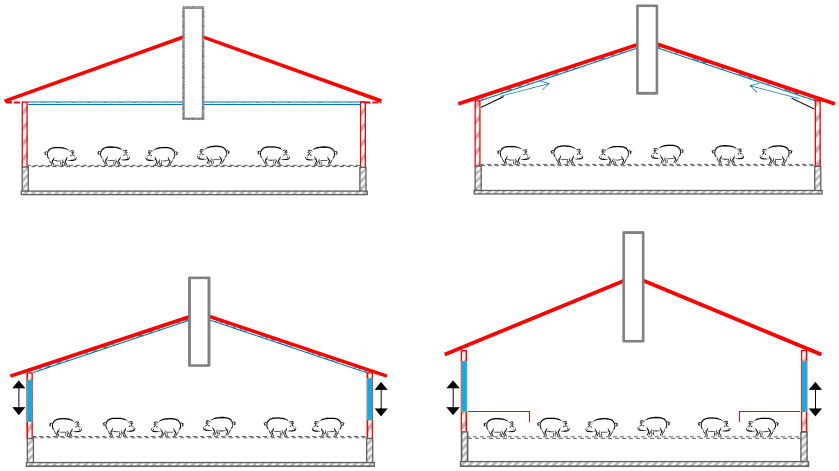


© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Variation der Baukonstruktion



© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Strahllüftung

auf hohe Luftgeschwindigkeiten angewiesen:

Lufgeschwindigkeit:	minimum: 1,0 m/s	→	maximum: 4,0 m/s	1:4
Luftrate:	minimum: 7 m³/h	→	maximum: 110 m³/h	1:16

d.h. im Winter müssen Öffnungen verschlossen werden, um die Eintrittsgeschwindigkeit optimal zu halten

Raumtiefe max. vierfache Raumhöhe

Lufteintritt direkt unter der Decke: Nutzung des Coandaeffekts

Strömungshindernisse vermeiden: Lampen unter der Decke, Fütterung, etc.

Kostengünstig bei großen Stallbauten, Bau von Zuluftkanälen entfällt
bei Zuluft direkt von außen: geringe Strömungswiderstände

© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Wärme in der Abferkelbucht

Fläche: 0,06 m²je Ferkel

Temperatur: 35 – 40 °C

Abdeckung: ?!

Anzahl: ca. 6 Platten in Reihe

Infrarotlampen gehören in den ersten Tagen zur Grundausstattung

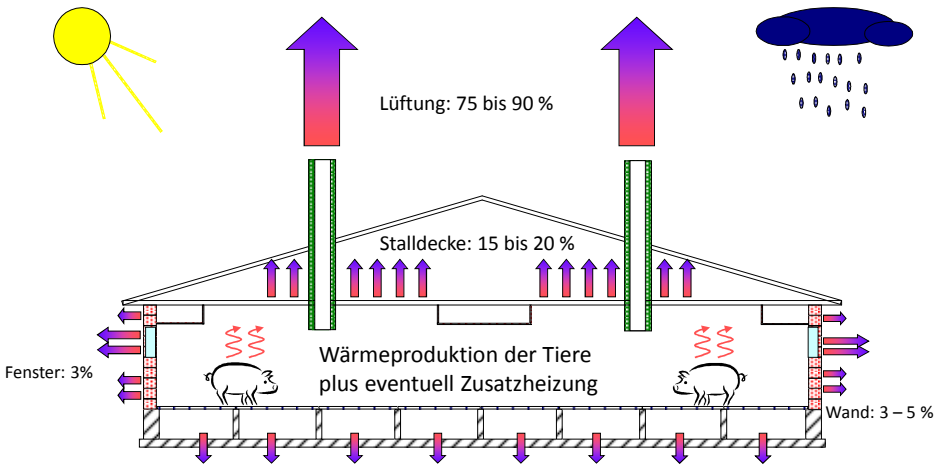
Warmwasserplatten haben Vorteile hinsichtlich der Energiekosten

Elektroplatten sind einfacher und preiswerter zu verlegen

© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

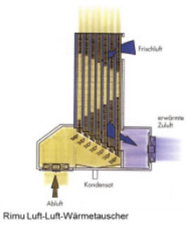


© Bernhard Feller

März 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Einsatz von Luft-Luft-Wärmetauschern



Rimu Luft-Luft-Wärmetauscher

Heizleistung abhängig von:

Temperaturdifferenz, Luftfeuchte, Volumenstrom, Verschmutzungsgrad

4,5 bis 6,5 kW je 1.000 m³ Volumenstrom bei Δt 30 K und 80% rel. Feuchte

Druckverlust:

Abluftseite: 70 bis 85 Pa
Zuluftseite: 80 bis 95 Pa

Wirkungsgrad:

35 bis 69 %, bei Verschmutzung stark reduziert

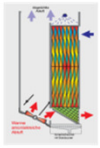
Hersteller: Schönhammer, Rimu, Möller, Reventa, hdt, u.a.

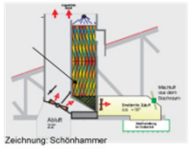
häufig Zentralabsaugung in Kombination mit einem Wärmetauscher

Wärme aus der Abluft wird auf die Zuluft übertragen

In Schweineställen kann in Kombination mit einer Zentralabsaugung die Vorraumheizung entfallen

Auf eine Zuheizung in den Abteilen kann nicht verzichtet werden!




Zeichnung: Schönhammer

In Ferkelaufzuchtställen ist der Einsatz schon heute durchaus sinnvoll und kosteneffizient.
Der WT dient nicht nur der Erwärmung im Winter, sondern sollte auch zur Minderung von Temperaturdifferenzen im Sommer eingesetzt werden.

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Zusammenfassung

Temperatur ist wichtigste Größe, geeignete Sensoren vorhanden,
Standort und Kalibrierung am Tierverhalten kann verbessert werden

Feuchtesensor wäre wünschenswert zur Regelung,
nahezu zwingend als Grenzwertgeber bei Befeuchtung/Kühlung

(Schad)gassensoren bringen kaum Fortschritt für die Stallklimatisierung

NH_3-sensoren „lediglich“ für Überwachung gesetzlicher Werte, aber Sinn? für Praxiseinsatz derzeit zu aufwändig und zu teuer, zudem ein Mehr an Heizung + CO_2

ALARM wird wichtig

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Ausblick

intelligente Regelungskonzepte, Verknüpfung mit Wetter, Bauphysik, Tiergewicht und Fütterung, Tierverhalten, … , ist wünschenswert, dann aber nachvollziehbar, einfach und transparent für den Anwender

Kühlungswirkung für die Sommersituation

Stall - Konzepte zur Reduzierung der Wärmelastsituation in Mastställen (Jalousie-Ställe, …)

Weg von der Einheitstemperatur:
Klimareize schaffen – Mikroklimazonen zur Heizung und Kühlung

© Bernhard Feller

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

© Bernhard Feller

März 2014