

Stallklima und Tierleistung

Dipl.-Ing. P. Kaul, KDT / Dipl.-Päd. Ursula Winter, Institut für Mechanisierung Potsdam-Bornim der AdL der DDR

1. Problemstellung

Um eine ökonomische Klimagestaltung in industriemäßigen Tierproduktionsanlagen zu erreichen, ist es notwendig, Beziehungen zwischen der Leistungsreaktion der Tiere gegenüber Klimaänderungen und den Gesamtaufwendungen für Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Stallklimagestaltung zu finden.

Abweichungen vom Klimaoptimum machen sich durch Leistungsminderungen der Tiere und durch erhöhten spezifischen Futterverbrauch effektiv als ökonomischer Verlust bemerkbar. Die Stallklimaparameter sind ihrerseits in hohem Maß von den atmosphärischen Witterungsbedingungen abhängig. Um die Auswirkungen einschätzen zu können, die ein Abweichen von den optimalen Stallklimawerten zur Folge hat, sind folgende funktionelle Zusammenhänge zu untersuchen:

- Zusammenhang zwischen Außenluftparametern und Stallluftparametern
- Abhängigkeit der tierischen Leistung von den Stallluftparametern.

Die Verknüpfung dieser beiden Teilkomplexe läßt zusammengefaßt die Beschreibung der tierischen Leistungsveränderung in

Abhängigkeit von den Außenluftparametern und der Funktion von Anlagen zur Klimagestaltung zu.

Anhand eines speziellen Beispiels für eine Schweinemastanlage soll die beschriebene Problematik behandelt werden, wobei die Lufttemperatur als wesentlicher klimatischer Einflußfaktor betrachtet wird.

2. Zusammenhang zwischen Außen- und Stalllufttemperatur

Die in Tierproduktionsanlagen herrschende Stalllufttemperatur wird im folgenden innerhalb des gesamten Stallraums als gleichmäßig angenommen. Diese Forderung ist durch die Ausbildung einer entsprechend guten Raumströmung mit den modernen Lüftungssystemen erfüllbar. Unter Voraussetzung eines konstant bleibenden Zuluftförderstroms ohne Heizung ist die sich ausbildende Stalllufttemperatur vom Verlauf der Außenlufttemperatur in hohem Maße abhängig [1], wobei neben diesem systematischen Zusammenhang rein zufällige Einflußgrößen, wie z. B. erhöhte Tierwärmeabgabe durch Aufregung der Tiere, nur geringe zusätzliche stochastische Schwankungen verursachen. Die rein systematische Abhängigkeit der Stallluft- von der Außenlufttemperatur kann in Form eines Signalfußplans, wie er in der Regelungstechnik üblich ist, dargestellt werden [2]. In ihm müssen vor allem Wärmespeicherungsvorgänge und Wärmeübertragungseigenschaften von Stallanlagen berücksichtigt werden. Die Speichervorgänge sind in guter Näherung durch Einspeichersysteme beschreibbar. Die Übertragungseigenschaften werden durch die in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur schwankende Tierwärmeabgabe hervorgerufen.

Verwendete Formelzeichen

K		Übertragungsfaktor
T	h	Zeitkonstante
Q	kcal/h	Wärmestrom
Δ		Differenz
B		Bestimmtheitsmaß
m	kg	Lebendmasse eines Tiers
\dot{m}	kg/d	Zunahme eines Tiers
a		Koeffizient
ϑ	°C	Temperatur
p	l/h	Laplace-Operator

Indizes

R	Rückkopplung, Raum
V	Verdunstung
Str	Strahlung
F	Fenster
e	außen
m	mittlerer Wert
o	oberer Wert
u	unterer Wert
g	Grenzwert
opt	Optimalwert

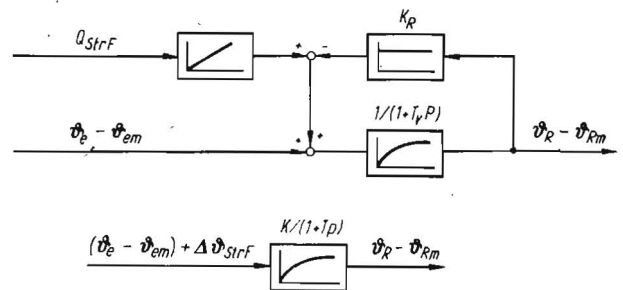


Bild 1. Vereinfachter und zusammengefaßter thermischer Signalfußplan

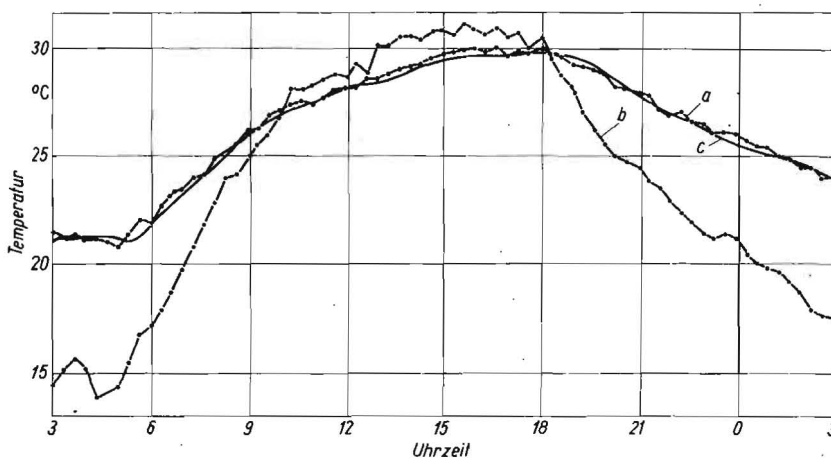


Bild 2. Verläufe der am 3. Juli 1973 gemessenen Außen- und Stalllufttemperatur und der über das analoge Stallmodell ermittelten Stalllufttemperatur eines Kälberstalles; a gemessene Stalllufttemperatur, b gemessene Außenlufttemperatur, c über Analogrechner ermittelte Stalllufttemperatur

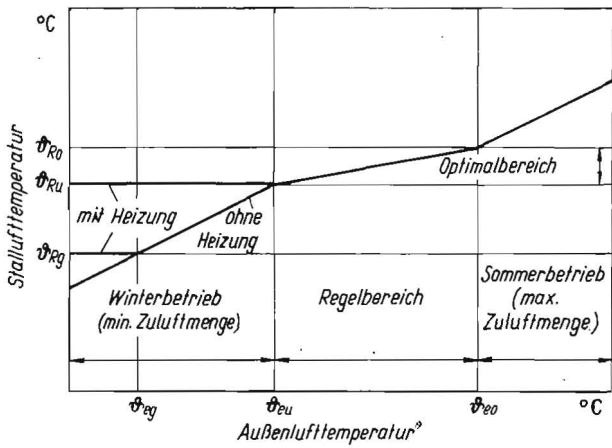


Bild 3. Abhängigkeit der Stall- von der Außenlufttemperatur (statische Kennlinie)

Damit lassen sich die mathematischen Verknüpfungen zwischen Stall- und Außenlufttemperatur durch eine statische und eine dynamische Kennlinie formulieren und auf Analog- und Digitalrechenanlagen darstellen [3].

Die Gültigkeit des etwas vereinfachten Modells (Bild 1) kann durch Vergleich der Messungen in einem Kälberstall mit den theoretischen Berechnungen über Analogrechner grafisch veranschaulicht werden (Bild 2)¹⁾. Durch entsprechende Vergleiche mit Hilfe des Digitalrechners wurde eine Standardabweichung (statistisch normale Verteilung vorausgesetzt) von 0,5 grd ermittelt, d. h., 95 % aller Rechenwerte wichen um weniger als 1 grd von den Meßwerten ab.

Ebenso wie für den dargestellten Sommerfall gelten die Verknüpfungen zwischen Außen- und Stalllufttemperatur bei allerdings etwas verminderter Rechengenauigkeit auch im Winterbetrieb, da dann ebenfalls eine konstante minimale Luftmenge als Zuluf in den Stall gefördert wird. Für die Berechnungsbeispiele werden geregelte Anlagen zur Klimagegestaltung vorausgesetzt, die einen zur Stalllufttemperatur proportionalen Luftstrom aufweisen und mit Heizanlagen zur Konstanzhaltung vorgegebener Temperaturen versehen sein können (Bild 3). Die möglichen Außenluft- und Stalllufttemperaturen werden durch den unteren Grenzwert ϑ_g , den unteren Optimalwert ϑ_u und den oberen Optimalwert ϑ_o in 4 Bereiche unterteilt. Im Sommerbetrieb und im Winterbetrieb ohne Heizung stellt sich unter stationären Verhältnissen eine von der Außenlufttemperatur abhängige Stalllufttemperatur ein, die berechenbar ist. Bei Heizung ist die Heizwärme von der angestrebten Stalltemperatur abhängig, wobei unter Beachtung der energiewirtschaftlichen Optimierung die Einhaltung entweder des Optimalbereiches oder des unteren Grenzwertes der Stalllufttemperatur gefordert werden kann. Innerhalb des nachfolgend definierten „Optimalbereiches“ erscheint eine genaue Berechnung der Stalltemperatur unnötig, da die tierische Leistung hier nur in vernachlässigbar geringem Maß

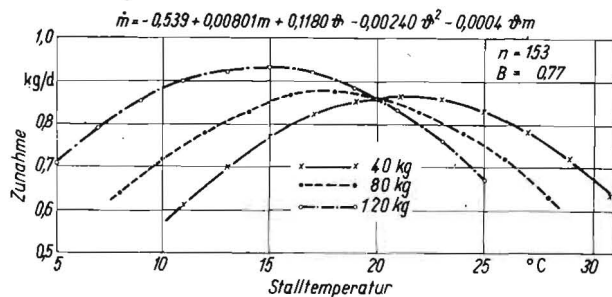


Bild 4. Tägliche Zunahme von Mastschweinen im Massebereich von 40 bis 120 kg Lebendmasse als Funktion der Stalltemperatur und der Lebendmasse (nach Werten aus Klimalabors)

beeinflusst wird. Mit dem dargestellten Modell wird somit die Bestimmung der Stalllufttemperatur aus der Kenntnis der Außenlufttemperatur für spezielle Anlagen möglich.

3. Einfluß der Stalllufttemperatur auf die Tageszunahmen von Mastschweinen

Die gesetzmäßig vorhandenen Zusammenhänge zwischen der Stalllufttemperatur und der tierischen Leistung von Mastschweinen zwischen 40 kg und 120 kg Lebendmasse wurden durch statistische Auswertung von Versuchsergebnissen aus der Fachliteratur ermittelt [4] [5]. Zur Vereinfachung eines mathematischen Ansatzes wurden vorläufig nur die Beziehungen zwischen Tageszunahme \dot{m} und Stalllufttemperatur ϑ mit der jeweiligen Lebendmasse m als Parameter berücksichtigt. Andere physikalische Einflußgrößen, wie Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit, Strahlung und auch die chemischen Komponenten der Stallluft, mußten bislang aus Mangel an auffindbaren Meßergebnissen außer acht gelassen werden.

Es wurden nur Ergebnisse von strohlos aufgestellten Tieren in die Stichproben aufgenommen, die ein standardisiertes Futter erhielten. Rassebesonderheiten wurden nicht berücksichtigt. Dafür standen 307 Meßergebnisse zur Verfügung, von denen 153 auf Messungen in Klimaställen und 154 Werte auf Beobachtungen in Mastprüfanstalten und ähnlichen Ställen zurückgehen.

Der von Baganz [5] entwickelte Modellansatz wurde über mehrere Stufen nach sachlogischen und statistischen Gesichtspunkten auf folgende Form präzisiert, für die sich mit den vorhandenen Meßergebnissen das höchste Bestimmtheitsmaß ergab:

$$\dot{m} = a_0 + a_1 m + a_2 \vartheta + a_3 \vartheta^2 + a_4 m \vartheta \quad (1)$$

Die Verrechnung aller Werte zu den Regressionskoeffizienten a_i (Tafel 1) ergab eine relativ gute Anpassung ($B = 0,75$); für die Untersuchungsergebnisse allein aus Klimaställen war sie nur unwesentlich günstiger ($B = 0,77$).

Unter Benutzung der Regressionsgleichung (1), die sich auf die Versuchsergebnisse aus Klimalabors stützt, ist die Zunahmefunktion für ausgewählte Lebendmassen im Bild 4 dargestellt. Aus Regressionsgleichung (1) ergibt sich die lebendmasseabhängige Optimaltemperatur für maximale Zunahme durch Extremwertbestimmung (Differentiation) zu

$$\vartheta_{opt} = (-a_2 + a_4 m) / 2a_3 \quad (2)$$

Durch Einsetzen der Regressionskoeffizienten aus Tafel 1 in Gl. (2) lassen sich Optimaltemperaturen für Mastschweine von 40 bis 120 kg Lebendmasse errechnen (Bild 5).

Tafel 1. Regressionskoeffizienten aus der Verrechnung aller verfügbaren Versuchsergebnisse und nur derjenigen aus Klimalabors

	Gesamt	Klimalabor	
a_0	kg/d · Tier	-0,3879	-0,5389
a_1	l/d · Tier	0,0066469	0,0080086
a_2	kg/d · Tier · °C	0,1078321	0,1180310
a_3	kg/d · Tier · °C ²	-0,0023049	-0,0024024
a_4	l/d · Tier · °C	-0,0003419	-0,0003999
B	—	0,75	0,77

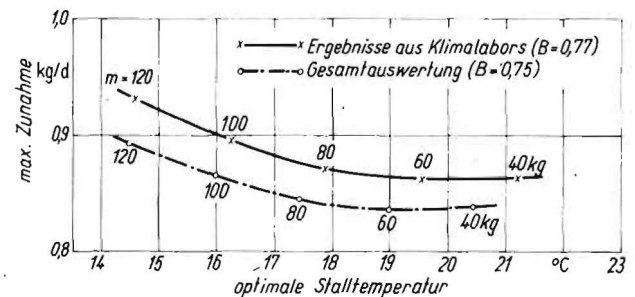


Bild 5. Tägliche maximale Zunahmen von Mastschweinen im Massebereich von 40 bis 120 kg bei den der jeweiligen Lebendmasse zugeordneten Optimaltemperaturen

Durch Vergleich der bei Optimaltemperaturen erreichbaren maximalen Zunahmen mit den Zunahmen, die erzielt werden, wenn das Tagesmittel der Stalltemperatur im definierten Maß vom Temperaturoptimum abweicht, werden die Zunahmeeinbußen in Abhängigkeit von der Temperaturabweichung sichtbar. Eine Auswertung dieser Zunahmeeinbußen bei Abweichungen

Tafel 2. Tägliche Zunahmeeinbußen bei Abweichung vom Temperaturoptimum für Schweine von 40 bis 120 kg Lebendmasse

$\Delta\vartheta = \vartheta_{opt} - \vartheta $	grad	2	4	6	8	10
$\Delta \dot{m} = \dot{m}_{max} - \dot{m}(\vartheta)$	kg/d	0,010	0,038	0,084	0,154	0,240

Tafel 3. Klimabedingte Zunahmeeinbußen von Mast Schweinen in % gegenüber den bei Optimaltemperatur erreichbaren Zunahmen

Jahr	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahresmittelwert
1951	1,4	0,2	0,8	0,4	0,5	2,1	4,5	4,1	3,8	0,2	0,4	0,4	1,56
1952	0,4	0,9	0,2	0,5	0,5	1,7	4,6	4,2	0,1	0,6	0,2	1,0	1,24
1953	0,6	1,6	0,4	0,7	2,5	5,6	2,6	4,3	0,6	0,3	0,8	0,1	1,68
1954	7,9	8,8	0,5	0,2	1,2	2,8	0,9	1,2	2,4	0,5	0,1	0,7	2,27
1955	1,2	3,7	0,8	0,9	0,3	1,5	3,9	3,1	4,3	0,5	0,4	0,4	1,75
1956	2,4	15,6	0,8	0,1	1,2	0,7	2,0	0,6	1,5	0,1	0,9	1,1	2,25
1957	0,9	0,3	0,3	0,4	0,4	3,4	6,2	0,5	0,4	0,6	0,1	2,7	1,35
1958	1,0	1,0	0,4	0,5	0,9	1,3	2,0	3,1	0,3	0,2	0,7	0,1	0,96
1959	1,9	1,0	0,6	0,4	1,1	2,5	8,9	3,9	1,7	0,2	0,3	1,6	2,01
1960	1,5	3,3	0,1	0,7	0,8	2,0	2,6	2,1	0,4	0,7	0,2	0,5	1,24
1951-1960	1,92	3,64	0,49	0,48	0,94	2,06	3,82	2,71	1,55	0,39	0,41	0,86	1,6

vom Optimum weist nur geringe Differenzen zwischen den Lebendmasseklassen aus, so daß die Zusammenfassung aller Lebendmasseklassen gerechtfertigt ist (Tafel 2).

Die aus Tafel 2 ersichtlichen sehr geringen Zunahmeeinbußen bei Temperaturabweichungen bis etwa ± 2 grad machen es möglich, einen thermischen „Optimalbereich“ zu definieren, bei dessen Einhaltung Zunahmeeinbußen noch nicht nachweisbar auftreten.

4. Berechnungsbeispiel

Als Berechnungsbeispiel wurde ein 19m breiter und 95m langer Dunkelstall ohne Heizung mit einer Stallraumhöhe von 2,15m gewählt, in dem etwa 2000 Mast Schweine gehalten werden. Es wurde angenommen, daß die Tiere mit 40kg eingestallt und nach 65 Tagen periodisch wieder ausgestallt werden. Das entspricht einer Massenzunahme auf etwa 80kg.

Die Berechnungen wurden mit Hilfe von EDVA durchgeführt.²⁾ Als Außenlufttemperaturen standen die vom Meteorologischen Dienst der DDR in Potsdam stündlich gemessenen Werte der Jahre 1951 bis 1960 zur Verfügung.

Unter den genannten Voraussetzungen wurden die klimabedingten durchschnittlichen monatlichen Zunahmeeinbußen der Tiere berechnet. Die Ergebnisse sind in Tafel 3 dargestellt. Im Januar und Februar werden wegen zu niedriger Stalllufttemperaturen überdurchschnittlich hohe Zunahmeeinbußen ausgewiesen.

Von Juni bis September ergeben sich relativ hohe Werte, weil im Stall Lufttemperaturen oberhalb der Optimalwerte auftreten.

Für die den Berechnungen zugrunde liegende Stallanlage läßt sich aus den Ergebnissen u. a. folgern:

- Die jährliche durchschnittliche Zunahmeeinbuße liegt bei Verwendung einer funktionsfähigen Regelung der Zuluftmenge ohne Heizung bei nur etwa 1,5%, bezogen auf die Lebendmassezunahme.
- Die durchschnittlichen monatlichen Zunahmeeinbußen liegen sowohl in der wärmsten als auch in der kältesten Jahreszeit unter 4%.
- Die maximalen monatlichen Werte betragen bei ungünstigen Witterungsperioden in einzelnen Jahren etwa bis zu 15%.
- Es ist einzuschätzen, daß die zur Zeit auftretenden klimatisch bedingten Verluste, die von einigen Stalklimaspezialisten auf 20% geschätzt werden, bei ordnungsgemäßer Lüftung bereits durch eine leistungsfähige Regelung der Luftmenge in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur weiter gesenkt werden können. Durch erhöhte Investitions- und Betriebsaufwendungen, durch Heizen und Befeuchten der Stallluft wird es im Gegensatz zu einfachen Lüftungsanlagen möglich, auch über längere Zeiträume optimale Stalllufttemperaturen einzuhalten. Größere Aufwendungen müssen sich aber in jedem

Falle durch entsprechende Leistungssteigerungen der Tiere auszahlen. Eine ökonomische Bewertung von Investitionen zur Stalklimatisierung erfordert neben der Beachtung der Zunahmeeinbußen die Berücksichtigung des Futteraufwands sowie der Heizungs- und Befeuchungskosten.

5. Zusammenfassung

Durch mathematische Modellierung ist die Berechnung der Stalllufttemperatur in ihrem täglichen und jährlichen Verlauf bei Annahme einer gut geregelten Lüftungs- und Heizungsanlage aus dem Außenlufttemperaturverlauf über EDV-Anlagen möglich. Die zwischen der Stalllufttemperatur und der tierischen Leistung bestehenden Zusammenhänge konnten mathematisch für Mast Schweine durch statistische Auswertung von Versuchsergebnissen aus der Literatur mit relativ hohem Bestimmtheitsmaß formuliert werden. Auf diesen Grundlagen aufbauend, wurden am Beispiel eines Schweinemaststalls die temperaturbedingten Zunahmeeinbußen der Tiere über einen Zeitraum von zehn Jahren in Abhängigkeit von der gemessenen Außenlufttemperatur in Potsdam quantitativ bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, daß bei ordnungsgemäßer Lüftung mit leistungsfähigen Regelanlagen nur relativ geringe klimabedingte Zunahmeeinbußen auftreten. Sie liefern gleichzeitig Angaben darüber, welche Leistungssteigerungen durch weitere Klimatisierungsmaßnahmen für den speziellen Fall erreichbar sind.

Literatur

- [1] Petzold, K.: Der Einfluß des Baukörpers auf das Raumklima gelüfterter Räume unter sommerlichen Bedingungen. Vortrag zur 11. Konferenz „Heizung, Lüftung, Klimatisierung“, Prag 1972.
- [2] Kaul, P.: Temperaturverhalten von Tierproduktionsanlagen. TU Dresden, Dissertation 1975 (Entwurf, unveröffentlicht).
- [3] Baganz, K.: Programmbeschreibung zum Programm Temperatur-Tierleistung (TEMP T). IfM Potsdam-Bornim 1974 (unveröffentlicht).
- [4] Winter, U.: Einflüsse von Maschinensystemen der Tierproduktion auf das Leistungsvermögen von Rindern und Schweinen. Teil 2: Einflüsse der Stalklimatisierung auf die tierische Leistung. IfM Potsdam-Bornim, Forschungsbericht 1973 (unveröffentlicht).
- [5] Winter, U.; Baganz, K.: Einflüsse des Stalklimas auf die tierische Leistung. IfM Potsdam-Bornim, Ergänzungsbericht 1974 (unveröffentlicht). A 1011

¹⁾ Die Programmierung der Analogmodelle nahmen Dipl.-Phys. Ch. Herold und Dipl.-Ing. W. Recker, Abt. Rechentechnik des Instituts für Mechanisierung Potsdam-Bornim, vor

²⁾ Das digitale Modell wurde durch den Leiter der Abt. Rechentechnik des Instituts für Mechanisierung, Dr. habil. K. Baganz, ausgearbeitet /3/.