

# Bauliche Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress in Rinderställen

Peter Stoetzel<sup>1\*</sup> und Jochen Simon<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Mit Hilfe eines Simulationsprogramms wurden in Abhängigkeit des Außenklimas und unter Berücksichtigung der Wärme- und Feuchtelasten von Milchkühen die hygrothermische Bedingungen im Innenraum verschiedener Modelle eines Milchviehstalls während eines Sommershalbjahres berechnet. Die Simulationen zeigen, dass viele Faktoren zum Teil erheblichen Einfluss auf das hygrothermische Verhalten haben und dass eine deutliche Reduzierung des Hitzestresses für Milchkühe durch bauliche Maßnahmen möglich ist. Weiterer Forschungsbedarf wird, neben der Ermittlung und Bewertung der unterschiedlichen Investitionskosten, in der Entwicklung und Erprobung einer Steuerung der Fassadenverschlüsse zur Beeinflussung des Luftwechsels gesehen. Diese würde in Verbindung mit zusätzlicher thermischer Puffermasse im Innenraum weitere Verbesserungen möglich machen.

*Schlagwörter:* Stallklima, Simulation, Hitzestress, Milchviehstall

## Summary

With the aid of a simulation program, the hygrothermal conditions prevailing in the interior of different models of a dairy cattle barn during the summer months were calculated as a function of the outdoor climate and considering the heat and humidity loads of dairy cattle. The simulations show that numerous factors often have significant influence on hygrothermal behaviour and that construction measures allow heat stress on dairy cows to be reduced considerably. In addition to the determination and evaluation of different investment costs, further need for research is seen in the development and testing of control systems for façade seals in order to control air exchange. These systems in combination with additional thermal buffer mass in the interior would provide further improvement.

*Keywords:* Barn climate, simulation, heat stress, dairy cattle barn

## Einleitung

Auf Grund der globalen Klimaerwärmung und der höheren Stoffwechselleistung von Milchkühen muss immer häufiger mit dem Auftreten von kritischen Temperaturen im Stall gerechnet werden. Bei Milchkühen können bereits ab Temperaturen von 16°C erste Anzeichen von Unwohlsein beobachtet werden. Ab 20°C können die Kühe die selbst erzeugte Wärme nicht mehr im ausreichenden Maße an die Umgebung abgeben.

Diese Belastungssituation für das Tier wird als Hitzestress bezeichnet. Ab welchem Zeitpunkt eine Hitzestresssituation entsteht, ist neben der Lufttemperatur und den tierbezogenen Faktoren wie Milchleistung, Alter, Trächtigkeitsstadium auch von weiteren Klimafaktoren abhängig. Zu diesen gehören die relative Luftfeuchte, die Luftgeschwindigkeit, die direkte Einstrahlung durch die Sonne, aber auch die indirekte Einstrahlung über erwärmte Bauteile wie Dachflächen.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts werden seit 2015 am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft die verschiedenen baulichen Einflussfaktoren auf das Temperaturverhalten eines Milchviehstalls untersucht. Ziel des Projektes ist es, die Auswirkungen und das komplexe Zusammenspiel baulicher (passiver) Maßnahmen zur Verringerung von Hitzestress in Milchviehställen bestimmen und optimieren zu können sowie zu beurteilen, ob und wie eine wirksame Reduzierung

von Hitzestress in einem Milchviehstall unter verschiedenen Klimabedingungen zu erreichen ist.

## Material und Methoden

Zu Beginn des Forschungsvorhabens durchgeführte Messungen an verschiedenen Praxisbetrieben haben gezeigt, dass unterschiedlichen Ausführungen der baulichen Hülle auch zu Unterschieden im Temperaturverhalten führen. Differenzierte Aussagen dazu, welche baulichen Einflussfaktoren in welchem Maße dafür verantwortlich sind und wie weit eine Optimierung möglich ist, waren aber auf Grund der Vielzahl der Parameter und der schwer vergleichbaren Rahmenbedingungen der Messungen wie Tierdichte, Klimadaten und Stallmanagement nicht möglich.

Um gleiche Rahmenbedingungen zu gewährleisten, wurden mit Hilfe eines hygrothermischen Simulationsprogramms verschiedene digitale Gebäudemodelle mit unterschiedlichen baukonstruktiven Eigenschaften untersucht. Zur zuverlässigen Simulation der verschiedenen Dachaufbauten konnte auf abgeschlossene Forschungsvorhaben des Fraunhofer-Instituts zurückgegriffen werden (KÖLSCH 2013; SCHAFAZEK et al 2013). Dabei wurden für alle Modelle neben den gleichen Klimadaten auch die gleiche Anzahl von Tieren und damit die gleichen Wärme- und Feuchtelasten angenommen (HEIDENREICH et al, VAN DEN WEGHE et al 2007:). Berechnet wurden Stunden-

<sup>1</sup> Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Prof.-Dürnwächter-Platz 5, D-85586 POING – GRUB

\* Ansprechperson: Dipl.Ing. (FH) Arch. Peter STOETZEL, peter.stoetzel@lfl.bayern.de



werte für Lufttemperatur, -feuchtigkeit und die Temperatur der inneren Bauteilflächen. Ausgehend von diesen Werten konnte der THI Wert berechnet werden, wobei anstelle der Lufttemperatur die operative Temperatur verwendet wurde. Die operative Temperatur berücksichtigt zu gleichen Teilen die Lufttemperatur und die mittlere Temperatur der inneren Bauteilflächen. Somit geht in den berechneten THI Wert neben der Lufttemperatur und -feuchtigkeit auch die Strahlungswärme erwärmter Bauteile wie Dachflächen ein. Die berechneten THI Stundenwerte wurden für die unterschiedlichen Gebäudemodelle für den Zeitraum vom 01. April bis 30. September 2006 berechnet und hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials als Hitzestressstunden nach folgender Einteilung addiert und verglichen.

**Tabelle 1: Auswirkung des Temperatur-Feuchtigkeits-Indexes (THI) auf Milchvieh nach CHASE 2006, THOM 1959 und ZIMBELMAN et al, 2006.**

THI	unter 68	68 - 71	72 – 79	über 79
Hitzestress	kein	milder	mäßig	starker

## Ergebnisse

### Natürliche Lüftung

Der Einfluss der Fassadenöffnungen und damit des Luftwechsels auf die Entstehung von Hitzestress in einem Stall ist erheblich. Im Sommer ist die natürliche Lüftung die wirkungsvollste Wärmesenke. Dieser stehen erhebliche Wärmequellen, wie der direkte Energieeintrag der Sonne über Fassadenöffnungen, der indirekte Eintrag über erwärm-

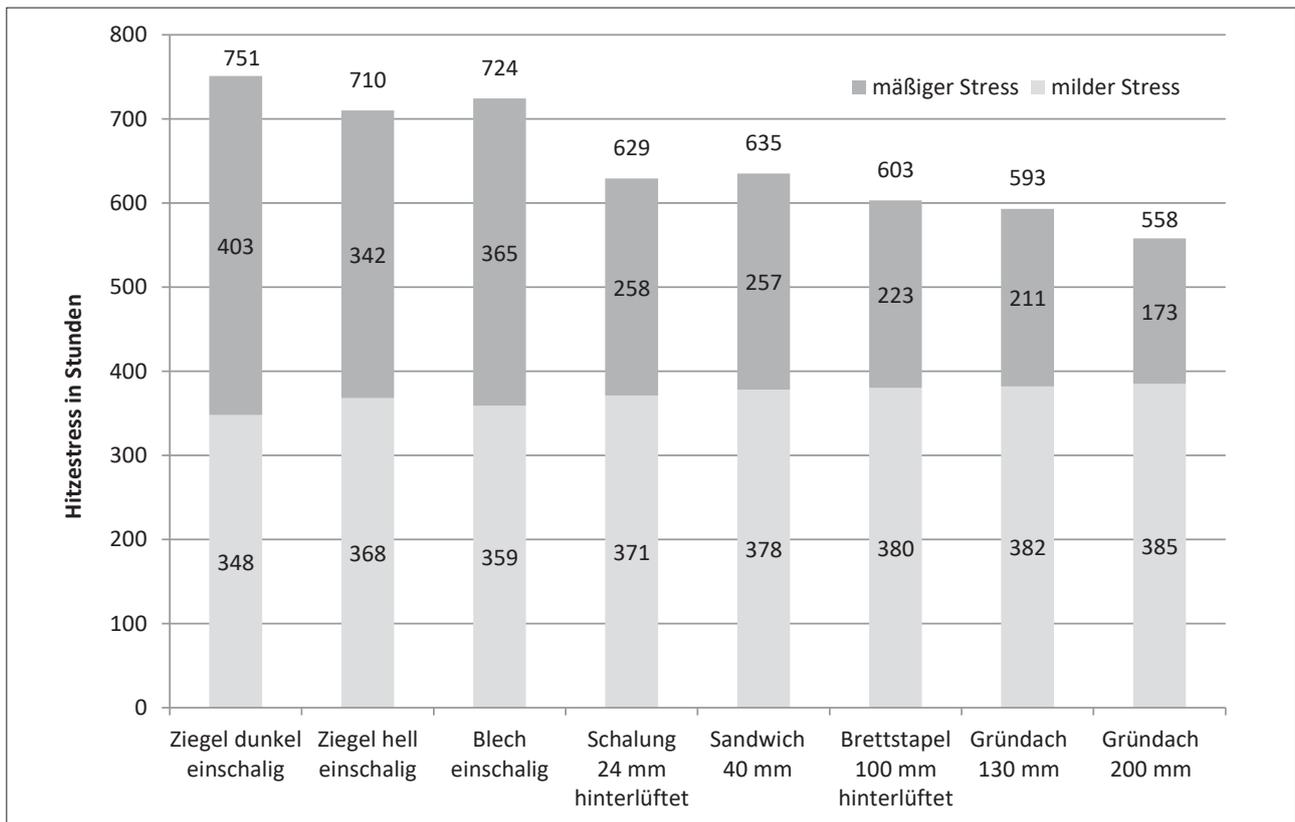
te Dachflächen und vor allem die inneren Wärmelasten der Tiere gegenüber. Das kann dazu führen, dass es im Stall wärmer ist als außen.

Je höher der Luftwechsel ist, desto näher kommen sich Innen- und Außentemperatur. Damit sollten im Sommer die idealerweise gegenüberliegenden Fassadenöffnungen so groß wie möglich sein.

Der Luftwechsel wird durch eine Orientierung des Baukörpers quer zur Hauptwindrichtung begünstigt. Dabei sollte allerdings sorgfältig geprüft werden, ob an heißen Tagen und bei hohen Außentemperaturen überhaupt relevante Luftbewegungen genutzt werden können. Übliche Windkarten geben in der Regel nur Durchschnittswindstärken pro Monat in großer Höhe an und sind somit für diese Fragestellung wenig hilfreich. Unter bayerischen Klimaverhältnissen, besonders im Alpenvorland, ist die Temperaturregulierung über natürliche Luftbewegung im Stall wenig erfolgversprechend, weil heiße Sommertage hier oft weitgehend windstill verlaufen. Bei baulichen Maßnahmen im und am Stall sind somit begleitende genaue Betrachtungen der lokalen Windverhältnisse notwendig.

Der Luftwechsel und die Durchlüftung eines Stalls werden ebenfalls durch die Wahl des Gebäudetypus beeinflusst. Lange und schmale Baukörper haben in der Regel einen größeren traufseitigen Fassadenflächenanteil im Verhältnis zur Grundfläche als breitere Baukörper. Direkte Anbauten an Stallgebäude, wie z.B. Melkhäuser, die den Luftwechsel einschränken, sollten vermieden werden.

**Tabelle 2: Simulation der Hitzestressstunden bei Rindern in einem Milchviehstall bei verschiedenen Dachaufbauten für den Zeitraum vom 01. April bis 30. September**



## Dachaufbauten

Der Einfluss unterschiedlicher Dachaufbauten auf den Wärmeeintrag in einen Stall ist groß. Je wärmer die Dachinnenseite, desto höher ist der Wärmeeintrag durch Strahlung in den Innenraum. In der Luft breitet sich Wärmestrahlung weitgehend ungehindert aus, so dass die Distanz zwischen erwärmter Dachfläche und Stallboden und damit die Gebäudehöhe nur eine geringe Rolle spielt. Im Rahmen der Simulationen konnte auch gezeigt werden, dass ein größeres Luftvolumen im Stall durch ein steileres Dach bei gleichem Luftwechsel keine Verbesserung hinsichtlich der Vermeidung von Hitzestress mit sich bringt.

Die Orientierung der Dachfläche zur Sonne und der Absorptionsgrad sind entscheidend für die im Dachaufbau aufgenommene Energiemenge. Der Absorptionsgrad ist umso höher, je dunkler und rauer eine Oberfläche ist. Die bauphysikalischen Eigenschaften der einzelnen Dachschichten beeinflussen die Höhe der Temperaturspitzen an der Dachinnenseite und deren Phasenverschiebung zum Einstrahlungsmaximum der Sonne.

Im Vergleich zeigen leichte, einschalige und ungedämmte Dachaufbauten aus Ziegeln, Faserzement oder Blech die höchsten Temperaturspitzen. Temperaturen von bis zu 60°C an der Dachinnenseite sind je nach Ausrichtung und Absorptionsgrad der Dachfläche möglich und sollten unbedingt vermieden werden. Die Temperaturspitzen treten nahezu zeitgleich mit dem Einstrahlungs- und damit dem Lufttemperaturmaximum im Außenbereich auf.

Zweischalige, hinterlüftete Dachaufbauten mit Holzschalung (24 mm) oder Sandwichelemente mit Wärmedämmung (40 mm) bleiben kühler und verhalten sich dabei annähernd gleich. Leichte Phasenverschiebungen sind hier bereits feststellbar. Bei der Wahl von Verbundwerkstoffen wie Sandwichelementen sollte ein erhöhter Entsorgungs- bzw. Recyclingaufwand auf Grund einer erschwerten sortenreinen Trennung berücksichtigt werden.

Mehrschalige schwere Dachaufbauten mit Brettstapeldecken (100 mm) und Gründächer zeigen die niedrigsten Temperaturspitzen und die größten Phasenverschiebungen. Eine Besonderheit hinsichtlich der Verringerung von Wärmespitzen stellen Gründächer dar. Diese bestehen in der Regel aus einer Dichtungsbahn mit Schutzschicht und einer Drän-, Filter-, und Vegetationsschicht darüber. Bei Niederschlägen oder einer Bewässerung nehmen die Drän- und Vegetationsschichten Wasser auf, welches durch Verdunstung über Pflanzen und Substrat wieder an die Atmosphäre abgegeben wird. Dadurch werden die verschiedenen Schichten im Dachaufbau durch Verdunstung gekühlt ohne die Luftfeuchtigkeit im Inneren des Stalls zu beeinflussen. Bei Milchviehställen ist in der Regel im Dach keine zusätzliche Wärmedämmung notwendig, so dass dieser Kühleffekt für den Innenraum nutzbar ist. Gleichzeitig beeinflusst die Vegetationsschicht in Abhängigkeit von Deckung und Pflanzenart den Absorptionsgrad des Dachs erheblich. Je nach Aufbau kann ein Gründach auch einen Beitrag zur Puffermasse des Innenraums leisten und so in Verbindung mit der Nachtauskühlung einen zusätzlichen positiven Einfluss auf die Temperaturspitzen im Stallinneren haben. Je höher und schwerer der Aufbau und je dichter die Vegetationsschicht, desto geringer sind die an der Unterseite des Dachs auftretende Temperaturen.

## Sonnenschutz

Ein direkter und großflächiger Sonneneintrag über Fassaden, Dachfirste oder Oberlichte in den Stall sollte vermieden werden.

Ausreichende Dachüberstände an den Fassaden reduzieren den solaren Energieeintrag erheblich, ohne den Luftwechsel zu beeinträchtigen. Dabei ist vor allem bei Ost- und Westfassadenflächen auf Grund der tief stehenden Sonne am Vor- bzw. Nachmittag bei hoher Strahlungsleistung eine sorgfältige Planung des Sonnenschutzes bzw. Dachüberstands notwendig.

Großflächige Dachoberlichte und Lichtfirste sind konstruktiv schwieriger zu verschatten als Fassadenflächen. Bei langen, schmalen Baukörper mit geringen Gebäudetiefen, großzügigen Fassadenfläche und ohne störende Anbauten sind großflächige Dachoberlichte in der Regel nicht notwendig, weil die natürliche Belichtung über die Fassadenflächen ausreichend ist.

## Fazit und Ausblick

Die bisher durchgeführten Simulationen zeigen, dass eine Vielzahl von Faktoren unterschiedlichen Einfluss auf das Stallklima eines Milchviehstalls haben. Ein Dachaufbau mit großem Puffervermögen, ausreichender Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung durch Dachüberstände und großzügige Fassadenöffnungen für einen hohen Luftwechsel sind die wichtigsten Merkmale um den Hitzestress im Milchviehstall zu minimieren. Die von uns in Praxisbetrieben gemessenen Temperaturspitzen, die zum Teil tagsüber im Inneren sogar höher liegen als außen, können auf diese Art vermieden werden (MAČUHOVÁ, J., 2008).

Darüber hinaus zeigen die Simulationen auch, dass passive Kühlmaßnahmen, wie das Bewässern von Gründächern, und ein Lüftungsmanagement bei Stallgebäuden mit höherer Puffermasse vielversprechende Maßnahmen sind, um den Hitzestress in Stallgebäuden weiter zu reduzieren. Welche Verbesserungen dabei noch zu erreichen sind, und ob diese Maßnahmen umsetzbar und praxistauglich sind, wird im Rahmen unserer Forschungsarbeit weiter untersucht.

## Danksagung:

Das Forschungsprojekt „Untersuchung und Bewertung baulicher Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress bei Milchkühen“ wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert.

## Literatur:

- CHASE, L.E., 2006: Climate change impacts on dairy cattle. <http://www.climateandfarming.org/pdfs/FactSheets/III.3Cattle.pdf>, III-17 – III-23.
- HEIDENREICH, T., BÜSCHER, W., CIELEJEWSKI, H.: DLG Merkblatt 336, Wärmebelastung für Kühe, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V.
- KÖLSCH, P., 2013: Hygrothermische Simulation von hinterlüfteten Steildächern mit effektiven Übergangsparametern. Fraunhofer Institut für Bauphysik.
- MAČUHOVÁ, J., ENDERS, S., PEIS, R., GUTERMANN, S., FREIBERGER, M., HAIDN, B., 2008: Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Milchvieh, Schriftenreihe

der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan, S. 33).

SCHAFAZEK, B. und ZIRKELBACH, D., 2013: Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparmetern von Dachbegrünungen zur zuverlässigen Simulation der hygrothermischen Verhältnisse in und unter Gründächern bei beliebigen Nutzungen und unterschiedlichen Standorten. Abschlussbericht des Fraunhofer Instituts für Bauphysik.

THOM, E.C., 1959: The discomfort index, *Weatherwise* 12, S. 57-59.

VAN DEN WEGHE, H., BÜSCHER, W., CREMER, P. FELLER, B., 2007: Berechnungs- und Planungsgrundlagen für das Klima in geschlossenen Ställen, AEL Heft 17, Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e.V.

ZIMBELMAN, R. B., RHOADS, R.P., RHOADS, M.L., DUFF, G.C., BAUMGARD, L. H., COLLIER, R. J., 2006: A Re-Evaluation of the Impact of Temperature Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) on Milk Production in High Producing Dairy Cows. Department of Animal Sciences, The University of Arizona.