

Bernhard Haidn, Alois Kramer und Hans Schön, Freising

Eingestreute Milchviehställe

Wärmeströme der Liegefläche

Rinder benötigen außerhalb der thermoneutralen Zone zusätzliche Energie für Thermoregulationsmechanismen. Diese Energie steht nicht mehr für Leistung zur Verfügung. Wärmedämmende Maßnahmen oder eingestreute Liegeflächen können den Wärmeab-/zufluss und damit die Grenzen der thermoneutralen Zone verändern. Mit Hilfe eines Kalorimeters wurden Wärmeströme zwischen einem Wasserkörper mit Tierkörpertemperatur und verschiedenen Liegeflächen (Liegeboxe, Tretmist-, Tiefstreumatratze) gemessen und Einflussgrößen quantifiziert.

Zwischen Rind und Umwelt findet ein ständiger Energieaustausch statt (Bild 1). Da Rinder 9 bis 13 h/d liegend mit Wiederkäuen und Dösen verbringen, beeinflussen die Wärmeströme zwischen Tier und Liegefläche (Wärmeleitung) die Thermobilanz der Rinder ebenso wie der Wärmeenergieaustausch mit der Umgebungsluft (Evaporation, Konvektion und Konduktion) sowie mit der Gebäudehülle (Radiation und Konduktion).

Der Energieaustausch lässt sich bautechnisch durch unterschiedliche Gebäudehüllen und damit unterschiedliche Stalllufttemperaturen oder Bodengestaltungen (etwa Wärmedämmung) beeinflussen. In diesem Sinne wirken auch unterschiedlich große Einstreumengen. Sie üben einen direkten Einfluss auf die Wärmeleitung zwischen Liegegrund und Tier und damit auf die gesamte Thermobilanz aus. Mit diesem Stellglied ist innerhalb bestimmter Grenzen der thermoregulatorische Energieaufwand für das Tier zu beeinflussen. Die Wirkung unterschiedlich eingestreuter Liegeflächen war im Rahmen eines von der DFG geförderten Forschungsprojektes zu untersuchen.

Wärmestrommessung

Wärmeströme zwischen einem liegenden Rind und der Liegefläche lassen sich nur schwer messen. Deshalb wurde eine Messeinrichtung gebaut, die die Wärmeströme nachempfindet, denen ein lie-

gendes Tier ausgesetzt ist. Hierfür wurde ein tragbares Kalorimeter konstruiert, das einen Druck, der annähernd dem einer liegenden Kuh entspricht, auf die Unterlage ausübt (Bild 2). Das Kalorimeter besteht aus einem mit rund 85 kg Wasser gefüllten wärmeisolierten Gefäß mit dünner, flexibler Bodenmembran. Ein Thermostat mit angeschlossener Umwälzpumpe hält das Wasser auf vorgegebener konstanter Temperatur. Zwischen dem Gefäß und dem zu prüfenden Bodengrund befindet sich ein 10 mm dicker Wärmestromsensor, dessen kalibriertes Ausgangssignal proportional dem Wärmestrom ist, der dem Wasserkörper über die Bodenmembran zu- oder abfließt. Dem Wasserkörper zufließende Ströme werden mit positivem, abfließende Energieströme mit negativem Vorzeichen gekennzeichnet. Weitere Sensoren messen die Oberflächentemperaturen am Wärmestromsensor sowie die Untergrundtemperatur in 10 cm und 20 cm Tiefe. Ein Datalogger speichert die Messgrößen für die spätere PC-Auswertung.

Ergebnisse

Der Wasserkörper im Kalorimeter wurde auf Tierkörpertemperatur (39 °C) erwärmt und die Wärmeströme zwischen Wasserkörper und den in Ställen üblichen Liegeflächen (Liegeboxe, Tretmist-, Tiefstreumatratze) aufgezeichnet. Verschiedene Einflüsse werden quantifiziert.

Stallsystem

Die gemessene Wärmeabfuhr von eingestreuten Liegeboxen ist im Durchschnitt größer als von tiefeingestreuten Liegematratzen in Tretmist- oder Tiefstreuallen (Tab. 1). Ein Mittelwertvergleich (Tucky-Test) ergibt allerdings, dass hinsichtlich der Wärmerücklieferung die Unterschiede zwischen den eingestreuten Hal-

systemen bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ nicht signifikant sind. Die Ursache liegt an der großen Streuung der Werte im Tretmist- und Tiefstreuensystem. Weitere verfahrenstechnisch relevante Einflussfaktoren sind deshalb maßgeblich und genauer zu untersuchen.

Stalllufttemperatur

Ein Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Temperatur der Liegematratze konnte bei einem $r^2 = 0,13$ nachgewiesen werden, jedoch nicht auf die Wärmestromdichte. Die lineare Regressionsgerade lautet:

$$T_{\text{Liegematratze}} [\text{°C}] = 18,43 \text{ °C} + 0,505 [\text{°C/°C}] \cdot T_{\text{Luft}} [\text{°C}] \quad (r^2 = 0,13)$$

Mit steigender Umgebungstemperatur verringert sich der Wärmeübergang von der Liegematratze an die Umgebungsluft. Durch diese geringere Wärmeabfuhr erwärmt sich die Matratze, bis sich auf einem erhöhten Temperaturniveau ein neues Gleichgewicht zwischen mikrobieller Wärmeproduktion und Wärmeabfuhr an die Umgebung einstellt.

Liegematratzendicke

Die Matratze ist ein Körper, der als Wärmesenke und auf Grund starker mikrobieller Aktivität auch als Wärmequelle wirkt. Dabei spielt die Dicke der Stoffschicht eine Rolle, die vom Wärmestrom durchfließen werden muss. Folgende logarithmischen Zusammenhänge zwischen der Matratzendicke und deren Temperatur und Wärmestrom wurden gefunden:

$$T_{\text{Liegematratze}} [\text{°C}] = 18,22 \text{ °C} + 15,31 [\text{°C/cm}] \cdot \lg (d_{\text{Mistmatratze}} [\text{cm}]) \quad (r^2 = 0,35)$$

$$Q_{\text{Liegematratze}} [\text{W/m}^2] = -301,5 \text{ W/m}^2 + 88,5 [\text{W/m}^2 \text{ cm}] \cdot \lg (d_{\text{Mistmatratze}} [\text{cm}]) \quad (r^2 = 0,33)$$

Trockenmassegehalt

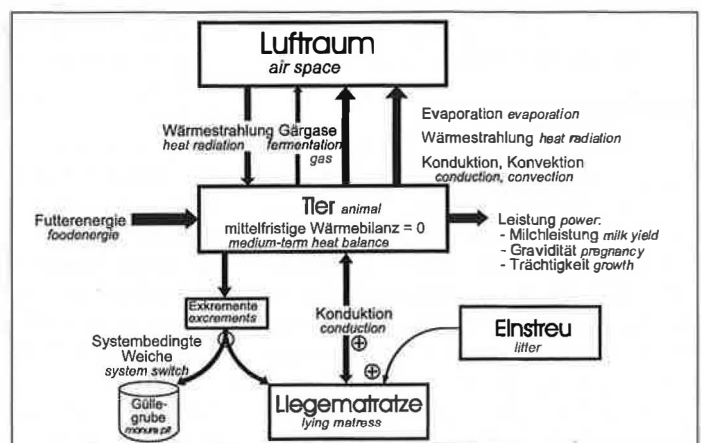
Ein quadratisches Regressionsmodell erklärt 76 % der Schwankungen der Wärmestromdichte (Bild 3).

$$Q_{\text{Mistmatratze}} [\text{W/m}^2] = -1016 \text{ W/m}^2 + 60,05 [\text{W/(m}^2 \text{ (g/100g))] } \cdot TS_{\text{Mistmatratze}}$$

Dr. agr. Bernhard Haidn und Dipl. Ing. agr. Alois Kramer sind Mitarbeiter der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik, Vöitingenstr. 36, D-85354 Freising, e-mail: haidn@tec.agrar.tu-muenchen.de. Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Schön ist Leiter dieser Anstalt.

Bild 1: Ausgewählte Energieströme im System Umwelt – Rind

Fig. 1: Selected heat flows in the system environment-cattle



$$[g/100g] - 0,846 [W/(m^2(g/100g))^2] \cdot (TS_{Mistmatratze} [g/100g])^2 \quad (r^2 = 0,76)$$

Der Trockensubstanzgehalt übt einen zweifachen Einfluss auf den Wärmestrom aus. Die lineare Komponente kann als vermehrte Wärmeproduktion je % TM angesehen werden, die quadratische Komponente als Abnahme der Wärmeleitfähigkeit mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt.

Der Anteil der Trockenmasse wirkt sich sowohl auf die mikrobielle Aktivität und damit auf die Wärmeproduktion aus als auch auf die Wärmeleitfähigkeit der Matratze. Deshalb ist es wichtig, diesen Parameter eindeutig über die Einstreumenge regeln zu können. Aus den Messergebnissen konnte folgender Zusammenhang hergestellt werden:

$$TS_{Liegematratze} [\%] = 18,4 [\%] + 1,36 [\%/kg/Tier] \cdot M_{Einstreu} [kg/Tier] \quad (r^2 = 0,61)$$

Multiples Wärmestrommodell

Die Wärmestromdichte über eingestreuten Mistmatratzen lässt sich durch die lineare Kombination der drei Merkmale Trockensubstanzgehalt, Matratzentiefe und -temperatur genauer erklären als lediglich durch eine unabhängige Variable. Diese drei Einflussfaktoren erklären zu 85 % die Schwankung der Wärmestromdichte. Die lineare Regressionsgleichung lautet:

$$Q_{Mistmatratze} [W/m^2] = -306,72 [W/m^2] + 4,01 [W/(m^2 (g/100g))] \cdot TS_{Mistmatratze} [g/100g] + 94,77 [W/(m^2m)] \cdot Tiefe_{Mistmatratze} [m] + 6,06 [W/(m^2°C)] \cdot Temperatur_{Mistmatratze} [°C] \quad (r^2 = 0,85)$$

Der Trockensubstanzgehalt der Matratze ist der Haupteinflussfaktor auf die Wär-

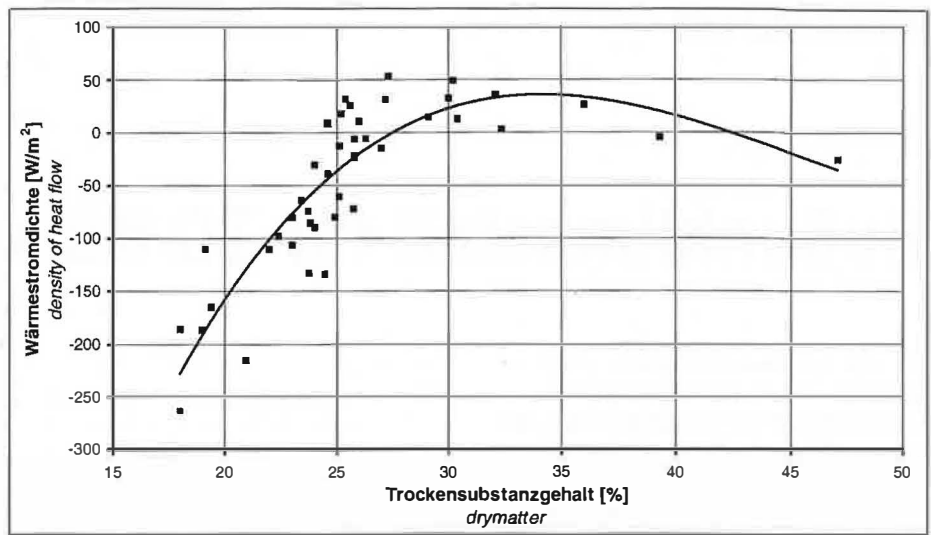


Bild 3: Zusammenhang zwischen Trockensubstanzgehalt der Mistmatratze und dem Wärmestrom; Positive Ströme (Q_w) führen von der Liegematratze zum Kalorimeter hin, negative Ströme fließen zur Liegematratze. (Vorlauftemperatur des Kalorimeters $T_k = 39^\circ C$)

Fig. 3: Relationship between dry matter content of manure mattress and heat flow; positive flows (Q_w) conduct from the lying mattress to the calorimeter, negative flows from the calorimeter to the lying mattress (flow temperature of the calorimeter $T_k = 39^\circ C$)

mestromdichte. So werden die Systemunterschiede zwischen den Haltungssystemen durch den Trockensubstanzgehalt verwischt, da im Liegeboxenstall die Matratzen vorwiegend sehr trocken sind und in den Tretmist- und Tiefstreuställen auch sehr feuchte, kothaltige Stellen in den Matratzen anzutreffen sind. In diesen Systemen übt der Betriebsleiter über das Stellglied Einstreumasse einen wesentlich stärkeren Einfluss aus als in einem Liegeboxenstall.

Folgerungen

In einem Temperaturbereich oberhalb der thermoneutralen Zone hat eine zusätzliche Wärmeleitung durch die Liegematratze ähnliche Auswirkungen auf die Futteraufnahme wie eine verminderte Wärmeabgabe durch erhöhte Um-

gebungstemperaturen.

Die Kuh kann allerdings versuchen, die positive Konduktion auch durch Erhöhung der Stehzeiten oder durch Aufsuchen von Liegeflächen mit einer negativen Kon-

duktion (Laufgänge, feucht-verschmutzte Liegebereiche), zu kompensieren. Ist die Kuh in einem thermischen Bereich an der unteren kritischen Temperatur, bringt eine weitere Belastung Leistungseinbußen. Eine Entlastung durch eine Wärmezufuhr aus der Liegefläche kompensiert eine Wärmeabgabe an die Stallluft und ermöglicht die Absenkung der kritischen Temperatur. Eine Differenz in der Wärmeleitung von $150 W/m^2$ zwischen zwei extremen Liegeflächen bringt über den Tag gerechnet eine theoretische Energieersparnis von $10,8 MJ$. Diese Energiemenge könnte unterhalb der thermoneutralen Zone durch die Wahl angepasster Liegematratzen zur Aufrechterhaltung der konstanten Körpertemperatur eingespart werden. Diese Energiemenge entspricht theoretisch $2,55 kg$ Milch.

Geschlossene Kaltställe puffern die extremen Lufttemperaturen wesentlich besser als Offenfrontställe. Deshalb sollten Offenfrontställe in kälteexponierten Lagen am besten in Kombination mit Tretmist- oder Tiefstreusystemen gebaut werden, da bei dieser Zuordnung extrem kalte Temperaturen am besten abgepuffert werden. Im Sommer sollte diese Kombination nur mit Sommerweidegang oder einem schattigen Auslauf betrieben werden. Für mildere Klimate sind auch im Winter gut eingestreute Liegeboxen ausreichend.

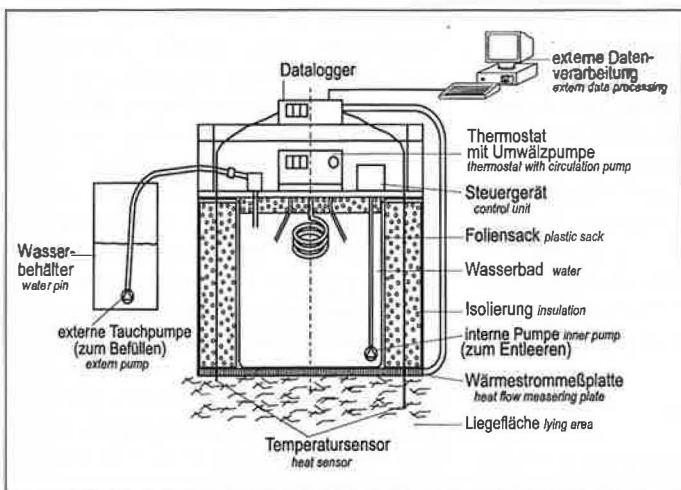


Bild 2: Kalorimeter zur Bestimmung der Wärmeableitung von Flächen

Fig. 2: Calorimeter for determining heat loss of surfaces

Liegeflächentyp	Mittelwert W/m^2	St.abw. W/m^2	Minimum W/m^2	Maximum W/m^2
Liegeboxe	-62,4	33,8	-114	-13
Tretmistmatratze	-29,0	52,8	-113	+18
Tiefstreumatratze	-11,3	53,9	-134	+53
Betonboden	-292,4	50,1	-369	-213

Tab. 1: Wärmeströme über unterschiedlichen Liegeflächen

Table 1: Heat flow above different lying areas

Schlüsselwörter

Milchviehlaufställe, Liegeflächen, Thermoregulation

Keywords

Dairy cow loose housing, lying areas, thermoregulation