

Markus Neuhauser und Hartmut Grimm

Wärmeeinstrahlung unterschiedlicher Dacheindeckungen im Stallmodell

Dächer von Außenklimaställen werden oft sehr einfach ausgeführt, da der Schutz vor Niederschlägen im Vordergrund steht. Der Schutz vor Wärmeeinstrahlung eines durch die Sonne stark erhitzten Daches wird wegen der höheren Kosten oft vernachlässigt. Überprüft wurde daher im Versuch an einem Dachmodell, wie sich die „Abschattung“ eines einfachen Daches aus Trapezblech durch ein zweites Trapezblech auswirkt. Die Einstrahlung auf das Dach war in allen Versuchen $1\,000\text{ W/m}^2$ während je zwei Stunden. Wichtigste Parameter waren die Wärmeabstrahlung in den Modellraum sowie seine Innentemperatur. Das doppelte Trapezdach ist, wenn die Kosten des Daches im Vordergrund stehen, eine akzeptable Alternative zu gedämmten Sandwichpaneelen.

Schlüsselwörter

Dachmaterial, Wärmestrahlung, Außenklimastall

Keywords

roof material, heat radiation, naturally ventilated housing

Abstract

Neuhauser, Markus and Grimm, Hartmut

Heat radiation through various roofing materials in a livestock housing model

Landtechnik 67 (2012), no. 4, pp. 295–298, 5 figures, 3 references

The roofs of naturally ventilated livestock housing are often of very simple construction, the main aim being protection from precipitation. Often neglected because of the increased costs involved is insulation against heat radiation into the building through intense sunlight heating-up the roof. Hereby a roof model was tested to discover the effect of “shadowing” one layer of trapezoidal metal sheeting by a further layer of the same material. In all tests radiation on the roof represented $1\,000\text{ W/m}^2$ over two hours. Most important parameters were the heat radiation in the model interior space area as well the interior temperature. Where the focus is on minimising costs, the doubled trapezoidal roof proved an acceptable alternative method of preventing excessive heat radiation through the roof into livestock buildings.

■ In unseren Breiten soll das Dach von Außenklimaställen für Milchvieh vor allem vor Nässe und direkter Sonneneinstrahlung schützen; häufig wird auch von Schattendächern gesprochen. Einfache Dächer, z. B. aus Trapezblech, können zwar leicht verlegt werden, erhitzen sich bei Sonneneinstrahlung jedoch schnell und geben dann relativ viel Energie als Strahlungswärme in den Stallinnenraum und damit auf die Kühe ab. Oft vergessen wird ein zweiter Nachteil von einfachen Metallblechen: Die Dachhaut kühlt genauso schnell ab wie sie sich aufgeheizt hat und ist dann nachts deutlich kälter als die warme feuchte Luft eines belegten Stalles. Dadurch kommt es zu Kondenswasserbildung, die zu ernststen Gesundheitsproblemen der Tiere führen kann. Einfache Abhilfe kann hier eine Abdeckung in Form eines zweiten (dünnen) Daches schaffen [1], das tagsüber für eine Reduktion der Wärmeeinstrahlung und nachts für eine Reduktion der Wärmeabstrahlung sorgt. Dadurch wird ebenfalls die Bildung von Kondenswasser an Dach und Außenwand verhindert. Die Vorteile von Dacheindeckungen aus Trapezblech sind jedoch die niedrigen Kosten und die schnelle, unkomplizierte Montage [2].

Ähnlich gut verläuft die Montage auch bei Sandwichpaneelen, die baugleich verlegt werden wie Trapezbleche. Die Dacheindeckung bietet schon ab einer minimalen Dämmung von 30 mm einen ausreichenden Wärmeschutz für die Tiere. Der Einsatz von Sandwichpaneelen im Dachbau ist dadurch eine elegante, wenig arbeitsaufwändige Möglichkeit die Ein- bzw. Abstrahlung zu vermindern. Die Flächenelemente kosten jedoch rund das Sechsfache von entsprechenden Trapezblechen. Deshalb wurden in vorliegender Arbeit anhand eines Modellversuchs die Auswirkungen der „Abdeckung“ eines Trapezblechs durch ein zweites Trapezblech überprüft.

Versuchsaufbau und -durchführung

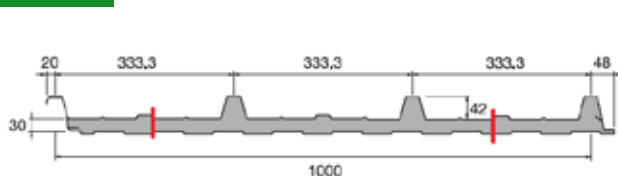
Als Vorlage für die Untersuchungen diente ein Versuchsmodell des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e.V. (München), das im Auftrag des Industrieverband Polyurethan Hartschaum e.V. (IVPU, Stuttgart) Versuche zum sommerlichen Raumklima im Dachgeschoss durchgeführt hatte [3]. Dieses Modell wurde neu konzipiert und für den Einbau in einen Sonnensimulator angepasst. Dieser war bereits beim Institut für Agrartechnik in Hohenheim vorhanden. Die Maße betragen 650 x 595 x 400 mm (B x T x H). Wegen der Simulation eines Kaltstalls wurde auf den Einsatz von dämmendem Material für die Wände verzichtet und ausschließlich mit 4 mm starkem Sperrholz gearbeitet.

Die Untersuchungen wurden in einem Versuchsstand mit künstlichem Sonnenlicht durchgeführt. Für die Sonneneinstrahlung wurde ein Wert von 1000 W/m^2 gewählt. Verglichen wurden drei unterschiedliche Dacheindeckungen: Sandwichpaneel, einfaches Trapezblech, doppeltes Trapezblech. Die drei unterschiedlichen Dacheindeckungen wurden für die Versuche auf das Maß $625 \times 575 \text{ mm}$ zugeschnitten. Damit lagen die Dachelemente vollständig auf dem Holzrahmen des Modellraums auf, sodass die erwärmte Luft aus dem Innenraum nicht nach oben entweichen konnte. Das Sandwichpaneel ist ein wärmedämmendes Bauteil mit einem Kern aus PUR-Hartschaum. Die Außenseite des verwendeten Materials bestand aus bandverzinktem Stahlblech und rotbrauner Außenfarbe (RAL 8004). Die Innenschale ist eine strukturierte Aluminiumfolie mit grauweißer Einfärbung (RAL 9002). Die Blechdicke außen betrug $0,6 \text{ mm}$ und die Aluminiumfolie war mit $0,5 \text{ mm}$ etwas dünner. Der Dämmkern hatte eine Dicke von 30 mm und war FCKW-frei (Profiltec Sandwich, 2011). Die Markierungen in **Abbildung 1** kennzeichnen die Schnitttränder für das Dach.

Als zweite Dacheindeckung wurde ein Trapezblech verwendet. Die Außenfarbe ist ähnlich der des Sandwichpaneels, sodass die Farbe zu keiner wesentlich veränderten Dachtemperatur führte. Für den Versuch wurde das Blech so zugeschnitten, dass zwei positive schmale Wölbungen mit einer Breite von je 115 mm von drei negativen Wölbungen mit je 135 mm eingeraht werden. Die roten Markierungen in **Abbildung 2** zeigen die Schnittlinien in Längsrichtung.

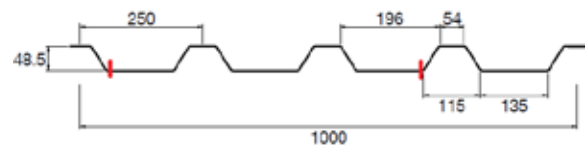
Die dritte Variante für die Messungen war das doppelte Trapezblech. Das Material war das gleiche wie bei der einfachen Eindeckung. Die Bleche wurden im Abstand von 40 mm mit Abstandhaltern übereinander montiert.

Abb. 1



Maße der Sandwicheindeckung [mm] (Profiltec Sandwich, 2011)
Fig. 1: Dimensions of the Sandwich slab [mm]

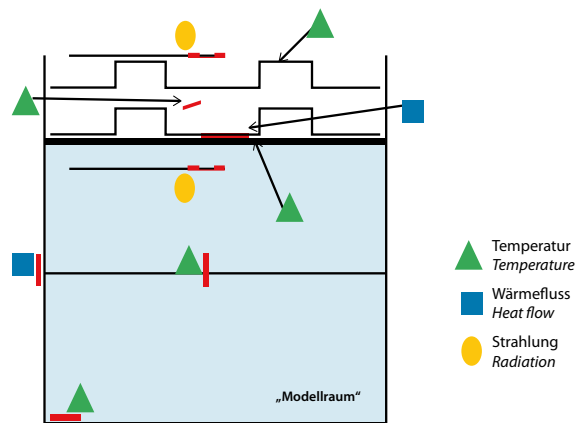
Abb. 2



Maße [mm] der Trapezblecheindeckungen
(Profiltec Trapezblech, 2011)

Fig. 2: Dimensions of the trapezoidal steel profile [mm]

Abb. 3



Position der Sensoren während der Versuche

Fig. 3: Position of the sensors during the experiments

Auf der Dachoberfläche waren fünf Messpunkte markiert (**Abbildung 3**). Hier wurden die Temperaturen manuell mit einem Infrarot-Thermometer (IR800-20D) gemessen. Diese fünf Messwerte wurden dann zu einem Mittelwert für die Temperatur der Dachoberfläche zusammengefasst.

Weiter fanden zwei Wärmeflussensoren Verwendung (Heat Flux Plate HFP01; Messbereich zwischen $+2000 \text{ W/m}^2$ und -2000 W/m^2 ; Thies). Die Einstrahlung über dem Dach und die Abstrahlung unter dem Dach in Richtung Modellraum wurde mit Silizium Netto Radiometern NR Lite gemessen. Der Messbereich der Netto Radiometer lag zwischen -200 W/m^2 und $+1500 \text{ W/m}^2$. Verschiedene Temperatursensoren (Pt100) erfassten die Temperaturverläufe auf der Dachober- und Dachunterseite sowie im Modellraum. Die Messungen wurden im Abstand von 10 Minuten in zwei Datenloggern (DL 50; Thies Klima) gespeichert. Der Messzeitraum eines Versuchs war konstant 120 Minuten, wobei mit den Aufzeichnungen 10 Minuten nach Start der Beleuchtung begonnen wurde.

Ergebnisse

Für die folgenden Abbildungen sind die Messwerte der Sensoren je Position zu einem Mittelwert zusammengefasst worden. Die Darstellungen beginnen mit dem ersten Messwert zum Zeitpunkt 10 Minuten.

Temperaturverhalten

Das Sandwichpaneel erhitze sich an der Oberseite am meisten und erreichte nach zwei Stunden eine Temperatur von 67,1 °C, wobei nach einer Stunde ein Temperaturgleichgewicht erreicht wurde. Das Trapezblech zeigte ein relativ gleichmäßiges Ansteigen der Temperatur der Dachoberhaut, das erst nach zwei Stunden abnahm. Beim doppelten Trapezblech war der Anstieg der Temperatur in der ersten halben Stunde ähnlich wie beim Sandwichpaneel. Anschließend erhöhte sich die Temperatur nur langsam bis zu einem Maximalwert von 61,2 °C und lag über die gesamte Versuchsdauer geringfügig unter der Temperatur des Sandwichdachs (**Abbildung 4**).

Bezüglich der Temperatur der Dachunterseite zeigte sich ein umgekehrtes Bild. Durch die Dämmung von 30 mm erreichte das Sandwichpaneel hier eine Temperatur von 26 °C. Wie zu erwarten, verlief die Temperaturkurve an der Unterseite des Trapezblechs fast identisch wie die der Dachoberseite. Die beiden Temperaturen zeigten im Durchschnitt nur eine Differenz von 2 K. Die Dachunterseite war nur geringfügig kühler. Das doppelte Trapezblech erreichte an der Dachunterseite eine Temperatur von 38,7 °C. Das untere Blech wurde durch die Wärmestrahlung des sehr warmen oberen Blechs zwar zusätzlich erhitzt, dies wirkte sich jedoch nicht gleichwertig auf die Luft im Zwischenraum aus. Die Temperatur lag 1 bis 2 K unter der des unteren Bleches. Die Temperatur des unteren Blechs selbst lag beim doppelten Trapezblech um ca. 20 K niedriger als bei einfacher Eindeckung.

Die Nettostrahlung auf die Dachfläche (**Abbildung 5**) zeigt die Temperaturverhältnisse der Dachoberseite. Das Sandwichpaneel, das die höchste Oberflächentemperatur aufwies, zeigte

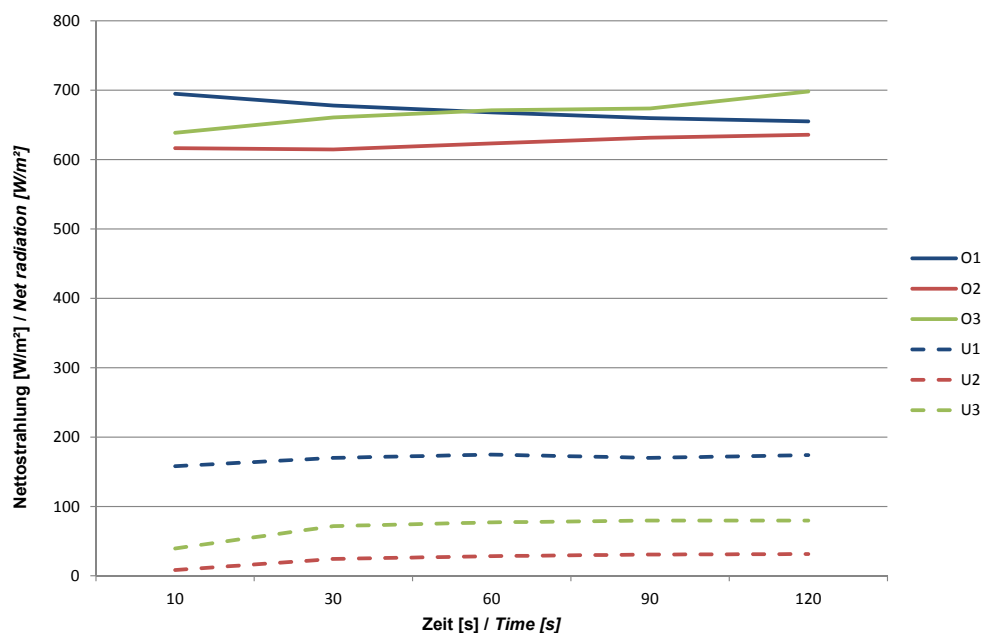
entsprechend die niedrigste Nettostrahlung als Differenz zwischen Ein- und Abstrahlung. Bei der Nettostrahlung unter der Dachfläche, d. h. die Strahlung in den Innenraum, sind deutliche Unterschiede zwischen dem wärmegeprägten Sandwichdach und dem einfachen Trapezblech zu erkennen. Die Werte für das Trapezblech lagen ca. sechsmal höher und es strahlte relativ konstant 150 bis 180 W/m² nach unten ab. Das doppelte Trapezblech erbrachte mit 80 W/m² bei der Abstrahlung nach unten höhere Werte als das Sandwichpaneel (31 W/m²), jedoch war die Nettostrahlung um einiges geringer als beim einfachen Trapezblech.

Daraus folgte ein unterschiedliches Temperaturverhalten im Modellraum. Es konnte eine stetige Erwärmung des Modellraums beobachtet werden, jedoch lag der Wert für das Sandwichpaneel (21,1 °C) um 4,9 K unter dem Temperaturwert für das Trapezblech. Die Messwerte für das doppelte Trapezblech (24 °C) lagen zwischen den beiden anderen Dachmaterialien. Die Differenz von 2 K zum einfachen Trapezblech ist relativ gering.

Wärmefluss in den Innenraum

Das Trapezblech zeigte einen hohen Wärmefluss zu Beginn des Versuchs. Hervorgerufen wurde dies durch die sehr schnelle Erwärmung des Blechs und den Abfluss von Wärme in den kalten Modellraum. Später flachte die Kurve etwas ab, was teilweise auf die geringer werdende Temperaturdifferenz zum Modellraum zurückzuführen ist. Der Wärmefluss an der Unterseite des doppelten Trapezblechs ähnelte dem des einfachen Trapezblechs, mit einem um etwa Faktor drei geringeren Betrag. Beim Sandwichpaneel war der Verlauf gegensätzlich. Es kam zu einem langsamen Anstieg des Wärmeflusses auf insgesamt

Abb. 4



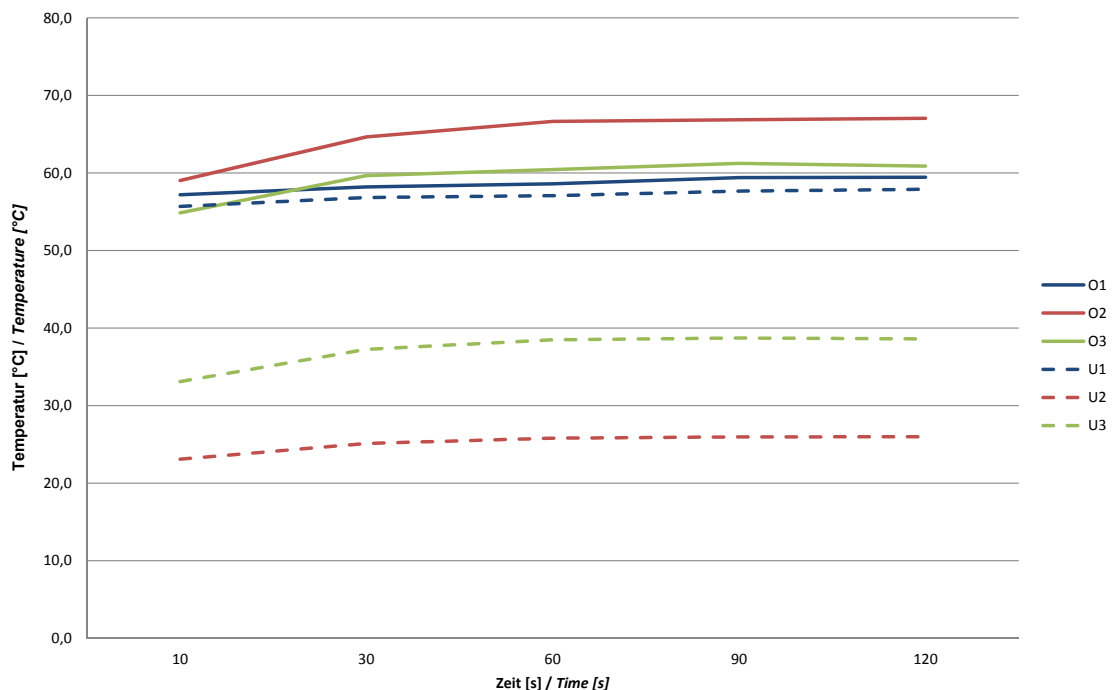
Temperatur des Daches

Position: O oben, U unten; Typ: 1 Trapezblech, 2 Sandwichelement, 3 doppeltes Trapezblech

Fig. 4: Temperature of the roof

position: O on the roof, U under the roof; type: 1 Trapezoidal one layer; 2 sandwich slab; 3 Trapezoidal double layer

Abb. 5



Nettostrahlung an der Dachfläche

Position: O oben, U unten; Type: 1 Trapezblech, 2 Sandwichelement, 3 doppeltes Trapezblech

Fig. 5: Netto radiation at the roof

Position: O on the roof, U under the roof; type: 1 Trapezoidal one layer, 2 sandwich slab, 3 Trapezoidal double layer

sehr niedrigem Niveau. Bedingt wurde dies durch den anfangs sehr geringen Wärmefluss durch das gedämmte Material, bis der Wärmefluss mit fortschreitender Erwärmung des Dämmmaterials und des Innenraums einen beinahe konstanten Wert von 45 W/m^2 annahm. Die Daten zum Wärmefluss müssen für beide Trapezbleche kritisch gesehen werden, da nicht bekannt war, wie stark die Sensoren durch ihren eigenen Wärmewiderstand den Wärmefluss beeinflussten.

Schlussfolgerungen

Der relativ kleine Modellraum (nur $0,18 \text{ m}^3$) hat sich für die ersten Messungen an den Dachmaterialien bewährt. Die Einstrahlung entsprach mit $\sim 1000 \text{ W/m}^2$ den in Deutschland zu erwartenden durchschnittlichen Verhältnissen. Die Versuche zeigten recht deutlich, dass das Trapezblech sehr ungünstige Voraussetzungen für den Stallbau bietet. Es gab knapp 20 % der eingestrahelten Wärmemenge als Wärmestrahlung nach unten weiter. Zusätzlich erwärmte sich die Luft im Innenraum durch die heiße „Raumdecke“ am stärksten. Eine Endtemperatur kann nicht angegeben werden, weil die Dauer der einzelnen Versuche zu kurz war, um Erwartungswerte für Innenraumtemperaturen zu definieren. Das Sandwichpaneel dämmte erwartungsgemäß am besten. Hier überraschte die relativ hohe Oberflächentemperatur. Sie lag rund 8 K über der des Trapezbleches. Dadurch strahlte das Sandwichpaneel die größte Wärmemenge ab, was in der geringsten Nettostrahlung über der Oberfläche resultierte. Das doppelte Trapezblech lag hinsichtlich der Messungen zwischen den beiden

anderen Materialien. Auch hier war die Oberfläche des Daches heißer als die des einfachen Trapezbleches. Die Abstrahlung nach unten wurde durch das zweite baugleiche Blech absorbiert, das seinerseits weniger als die Hälfte der Wärmestrahlung des einfachen Trapezdaches abgab. Die Deckentemperatur war im Modellraum recht warm, aber doch um rund 20 K kühler als bei einfachem Trapezblech. Damit ergeben sich wärmetechnisch zwar keine sehr guten, aber doch akzeptable Voraussetzungen für den Bau einfacher Dächer als Sonnenschutz, z. B. als Schattendach auf der Weide. Dies lässt hoffen, dass Dächer aus doppeltem Trapezblech von Tieren bei Bedarf freiwillig aufgesucht werden, was bei einfachen Trapezblechdächern wegen des ungünstigen Mikroklimas oft nicht der Fall ist.

Literatur

- [1] Flaig, Bianca (2011): Einfluss der Sonneneinstrahlung auf das Stallklima in Kälberiglus. Bachelorarbeit Uni Hohenheim, Institut für Agrartechnik
- [2] Heidenreich, T.; Pache, S. (2009): Mit hellen Dächern den Hitzestress stoppen. Top agrar 7, S. R26-28
- [3] IVPU, I. P. (2007). Sommerliches Raumklima im Dachgeschoß: Vergleichende Untersuchungen von Dämmstoffen unter Berücksichtigung instationärer Effekte in einem Modellversuch. Untersuchungsbericht des Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., München, S. 1-21

Autoren

PD Dr. Hartmut Grimm ist wissenschaftlicher Mitarbeiter; M. Sc. agr. Markus Neuhauser war Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: hartmut.grimm@uni-hohenheim.de