

- [ 6 ] Englert, G.: Ein Rechenmodell für die Wärmeenergiebilanz von Ställen. Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 5, S. 170/74.
- [ 7 ] Englert, G.: Wirtschaftlich optimale Wärmedämmung von Biogasanlagen. Grundl. Landtechnik Bd. 31 (1981) Nr. 3, S. 77/80.
- [ 8 ] Englert, G.: Zur Berechnung minimaler Investitionen für die Wärmedämmung. Bauphysik Bd. 2 (1980) Nr. 6, S. 213/17.
- [ 9 ] DIN 18910 "Klima in geschlossenen Ställen: Wasserdampf- und Wärmehaushalt im Winter, Lüftung, Beleuchtung". Berlin: Beuth-Verlag 1974.

## Schutz von Großraumviehställen gegen Sonneneinstrahlung im Sommer

Von Karol Janáč, Bratislava\*)

DK 631.22:536.24:536.3

Bei den Bemühungen um ein tiergerechtes Stallklima kommt der Wärmedämmung der Stallhülle und der Wärmereflexion und -absorption der Wand- und Dachflächen eine wichtige Rolle zu.

Die Arbeit behandelt eine Methode zur Messung der Reflexion von Wärmestrahlung an Baustoffen und gibt das Ergebnis zahlreicher Messungen zum Reflexionsgrad verschiedener Baustoffe wieder. Temperaturmessungen an ausgeführten Stallbauten belegen, daß mit der Auswahl geeigneter Materialien auch in Großraumviehställen mit leichter Stallhülle tiergerechte Klimaverhältnisse geschaffen werden können.

### 1. Einleitung

Die Einführung industriemäßig organisierter Arbeitsformen in die tierische Produktion erfordert die Errichtung von Großraumviehställen. Im Interesse einer rationellen Nutzung der einheimischen Rohstoffquellen wird das Spektrum der eingesetzten Baustoffe zielgerecht durch Baukonstruktionen unter Verwendung von Matten und Platten auf Holz-, Metall- und Mineralbasis erweitert. Je nach der Art der verwendeten Baustoffe unterscheidet man Bauweisen mit mittelschweren und leichten Außenwandkonstruktionen.

Bauten mit einem leichten Außenmantel stellen hohe Ansprüche an die wärmetechnische Auslegung nicht nur im Hinblick auf winterliche Verhältnisse, sondern vor allem im Hinblick auf den Schutz des Innenraumes vor sommerlicher Überhitzung als Folge der Sonneneinstrahlung (Insolation). Eine Möglichkeit des Sonnenschutzes bietet sich mit der Ausnutzung der optischen Eigenschaften der Baustoffe an. Um diese jedoch in geeigneter Weise praktisch nutzen zu können, muß für jeden Baustoff der Wärmeabsorptions-, -reflexions- und -emissionsgrad bestimmt werden. Da man dieser Problematik in der ČSSR bisher kaum Aufmerksamkeit gewidmet hat, werden in dem vorliegenden Beitrag einige neue Erkenntnisse dargestellt [1].

### 2. Einfluß optischer Eigenschaften von Baustoffen auf den Wärmedurchgang durch die Außenwandkonstruktion von Ställen

Bei der Berechnung des Wärmehaushalts von Gebäuden für die tierische Produktion muß man eine größere Genauigkeit anstreben, als es durch Ansetzen von einigen empirischen durchschnittlichen Koeffizienten möglich ist, die sich häufig auf die Bedingungen von Wohngebäuden beziehen. Beispielsweise muß der als stationär geltende Wärmeübergangskoeffizient für die innere Oberfläche der Außenwand für Wohngebäude mit einem Wert  $a_i = 8,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  und für Ställe mit  $8,72 \text{ W/m}^2\text{K}$  angesetzt werden.

Bei dieser Bestimmung des Wertes  $a_i$  für Ställe wird angenommen, daß zwischen der inneren Oberfläche einer Außenwand (Temperatur  $\vartheta_{wi}$ ) und den ihr zugewandten Gegenständen, die die gleiche Temperatur  $\vartheta_i$  wie die Luft im Raum besitzen, ein Wärmeaustausch durch Strahlung eintritt. Dabei setzt man voraus, daß die Oberflächen, zwischen denen der Wärmeaustausch stattfindet, gewissermaßen zwei parallele Flächen gleicher Größe bilden [2]. Man erhält dann für den Wärmeübergangskoeffizienten:

$$a_i = a_{ik} + a_{is} \quad (1),$$

mit

$a_{ik}$  Koeffizient für den Wärmeübergang durch Konvektion  
 $a_{is}$  Koeffizient für den Wärmeübergang durch Strahlung.

Unter den Bedingungen des Wärmeaustausches im Innenraum von Ställen gelten jedoch die angeführten Voraussetzungen nur annähernd, vor allem dann, wenn der Raum nur durch die Körperwärme der Tiere geheizt wird. Das Wärmegefälle von der Oberfläche der Hauptstrahlungsquelle, d.h. den Oberflächen der eingestellten Tiere, zur Innenfläche der Wand kann in Wirklichkeit eine Höhe von 30–35 °C erreichen, und die Oberflächen, zwischen denen der Wärmeaustausch vor sich geht, sind weder gleich groß noch parallel. Deshalb kann bei den gegebenen Bedingungen besser ausgegangen werden von der Beziehung:

$$\dot{Q}_{iw} = \dot{Q}_{ik} + \dot{Q}_{is} \quad (2),$$

darin ist

$\dot{Q}_{iw}$  Gesamtwärmestrom auf die Innenfläche der Wand  
 $\dot{Q}_{ik}$  Wärmestrom auf die Innenfläche der Wand infolge Konvektion  
 $\dot{Q}_{is}$  Wärmestrom auf die Innenfläche der Wand infolge Strahlung.

\*) Dr. sc. Ing. K. Janáč ist Dozent am Institut für Bauwesen und Architektur der Slowakischen Akademie der Wissenschaften in Bratislava.

Ferner gilt:

$$\dot{Q}_{ik} = a_{ik} A (\vartheta_i - \vartheta_{wi}) \quad (3)$$

mit

- A Fläche der Innenwandung  
 $\vartheta_i$  Temperatur der Innenluft in °C,  
 $\vartheta_{wi}$  Temperatur der Innenfläche der Wandkonstruktion in °C  
 $a_{ik}$  Wärmeübergangskoeffizient für konvektiven Wärmeübergang.

Die Größe  $a_{ik}$  ist nach den früher aufgezeigten Abhängigkeiten [3] zu bestimmen. Bei den in Ställen vorliegenden Temperaturverhältnissen ist hinreichend genau

$$a_{ik} = 1,5 \sqrt[3]{\vartheta_i - \vartheta_{wi}} \quad (4)$$

Der Wärmestrom infolge Strahlung wird beschrieben durch

$$\dot{Q}_{is} = a_{is} A (\vartheta_{Ti} - \vartheta_{wi}) \varphi_u \quad (5)$$

Die Größe  $a_{is}$  ist dann:

$$a_{is} = C_r \frac{\left(\frac{\vartheta_{Ti} + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\vartheta_{wi} + 273}{100}\right)^4}{\vartheta_{Ti} - \vartheta_{wi}} \quad (6)$$

darin ist

- $C_r$  die reduzierte Strahlungskonstante, welche die optischen Eigenschaften beim Strahlungsaustausch zwischen zwei Körpern, in unserem Fall den Emissionsgrad der Materialien, mit denen die Flächen der Außenwandkonstruktion verkleidet sind, berücksichtigt.  
 $\vartheta_{Ti}$  Temperatur der Körperoberfläche der Tiere in Abhängigkeit von der Lufttemperatur  $\vartheta_i$  [3]  
 $\varphi_u$  die Einstrahlzahl, die von den geometrischen Beziehungen und der Oberflächenanordnung abhängt.

Die Forderung nach einer exakteren Berechnung von Wärmeverlusten der Tiere und einer Vervollkommnung des Wärmeschutzes der Ställe hat vor allem in letzter Zeit im Zusammenhang mit dem Bau von Großställen mit leichten Außenwandkonstruktionen und mit der Einführung von einstreulosen Lagerflächen außerordentlich an Bedeutung gewonnen. Wenn wir uns um eine Einschränkung der Wärmeverluste durch Konvektion oder durch Strahlung auf ein Minimum bemühen, muß auch der Einfluß der optischen Eigenschaften der Baumaterialien voll genutzt werden.

Unter dem Begriff optische Eigenschaften der Baumaterialien versteht man in diesem Zusammenhang den Reflexionsgrad  $\rho$ , den Absorptionsgrad  $a$ , die Strahlungskonstante  $C_r$  [ $W/m^2K^4$ ] und den Emissionsgrad  $\epsilon$ , wobei  $\epsilon$  das Verhältnis der Strahlungsenergie eines gegebenen Körpers zur Strahlungsenergie eines absolut schwarzen Körpers unter gleichen Bedingungen von Temperatur und Wellenlängenbereich wiedergibt. Die optischen Eigenschaften für einen größeren Wellenlängenbereich werden als integral und die in Abhängigkeit von der Wellenlänge bestimmten optischen Eigenschaften als spektral bezeichnet.

### 3. Anforderungen an ein Gerät zur Bestimmung der optischen Eigenschaften von Baustoffen

Die Bestimmung der genannten Größen erforderte den Entwurf und den Bau des Prototyps einer Meßvorrichtung, mit der unter Laborbedingungen gemessen werden sollte [7, 8]:

- der integrale Reflexionsgrad glatter, glänzender und verschiedenfarbiger Oberflächen von Baustoffen,
- der spektrale Reflexionsgrad im Infrarotbereich,
- die räumliche Reflexionskurve der Materialien mit diffusum Reflexionscharakter bei einem konstanten Einfallswinkel des Strahlungsflusses,
- der Reflexionsgrad von Baumaterialien bei Veränderung ihres Feuchtegehalts und bei Veränderung der Feuchtigkeit der Umgebung.

Eine Vorrichtung zur Bestimmung der genannten Größen wurde entworfen und gebaut. Das Gerät, Bild 1, wird "Gerät zur Bestimmung des Reflexionsgrades von Baumaterialien" oder "Albedometer" genannt.

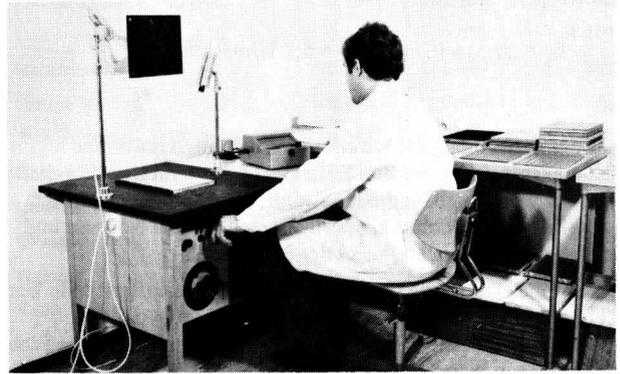


Bild 1. Messung der Strahlungseigenschaften von Probemustern mit dem Gerät "Albedometer".

#### 3.1 Prinzip der Meßmethode

Der Strahlungsfluß, der auf die Oberfläche des zu messenden Materials auftrifft, wird aufgeteilt in:

- den Teil, der absorbiert wird,  $\dot{Q}_a$
- den Teil, der durch das Material hindurchgeht,  $\dot{Q}_{tr}$
- und den Teil, der reflektiert wird,  $\dot{Q}_r$ .

Entsprechend dem Satz von der Erhaltung der Energie gilt:

$$\dot{Q}_a + \dot{Q}_{tr} + \dot{Q}_r = \dot{Q} \quad (7)$$

Anhand der Gleichung (7) können die optischen Eigenschaften des gemessenen Materials wie folgt definiert werden:

$$\text{Absorptionsgrad } a = \dot{Q}_a / \dot{Q} \quad (8)$$

$$\text{Transmissionsgrad } \tau = \dot{Q}_{tr} / \dot{Q} \quad (9)$$

$$\text{Reflexionsgrad } \rho = \dot{Q}_r / \dot{Q} \quad (10)$$

Aus den Gln. (8), (9), (10) ergibt sich die allgemeine Beziehung für die integralen optischen Eigenschaften zu:

$$a + \tau + \rho = 1 \quad (11)$$

Für die spektralen optischen Eigenschaften gilt dann die Beziehung:

$$a(\lambda, \vartheta) + \tau(\lambda, \vartheta) + \rho(\lambda, \vartheta) = 1 \quad (12)$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge der Wärmestrahlung und  $\vartheta$  die Oberflächentemperatur des gemessenen Materials ist.

Für die Baumaterialien kann der Transmissionsgrad  $\tau = 0$  gesetzt werden, so daß die Gln. (11) und (12) sich vereinfachen zu:

$$a + \rho = 1 \quad (13)$$

$$a(\lambda, \vartheta) + \rho(\lambda, \vartheta) = 1 \quad (14)$$

Aus diesen Gleichungen ergibt sich, daß es genügt, wenn eine Größe festliegt, die zweite kann dann errechnet werden. Der reduzierte Wert der Strahlungskonstanten  $C_r$ , der für die Berechnung von  $a_i$  erforderlich ist [7, 11], wird folgendermaßen bestimmt: Für den auf die Oberfläche des zu messenden Körpers auftreffenden Wärmefluß gilt, daß der Absorptionsgrad in diesem Moment gleich dem Emissionsgrad des Körpers ist, d.h.

$$a = \epsilon \quad (15)$$

Die reduzierte Strahlungskonstante wird dann aus der Beziehung

$$C_r = C_s \epsilon \quad (16)$$

bestimmt, worin  $C_s$  die Strahlungskonstante eines absolut schwarzen Körpers, und zwar

$$C_s = 20,516 \text{ kJ/m}^2\text{h K}^4 = 5,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

ist.

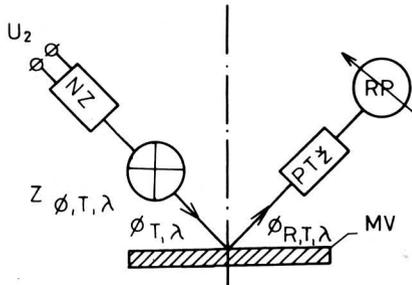
Aus der Berechnung der reduzierten Strahlungskonstanten ergibt sich die Notwendigkeit, den Reflexionsgrad zu messen. Für die Messung wurde eine Methode gewählt, die auf einem Vergleich des reflektierten Wärmeflusses eines ausgewählten Normals und des reflektierten Wärmeflusses der Probe beruht.

Der auf die Oberfläche der zu messenden Probe auftreffende Wärmefluß  $\Phi_{T,\lambda}$  wird zweigeteilt. Ein Teil wird reflektiert  $\Phi_{R,T,\lambda}$  und der andere Teil wird absorbiert. Die Teilung des auf die Probe auftreffenden Wärmeflusses ist in der Prinzipskizze des "Albedometers", Bild 2, dargestellt.

Wir bezeichnen den Wert des vom Normal reflektierten Wärmeflusses mit  $\Phi_{R,N}$  und den Ausschlag am Meßgerät  $\delta_{R,N}$  sowie den ihm entsprechenden bekannten Wert des Reflexionsgrades als  $\rho_N$ . Der gesuchte Reflexionsgrad der zu messenden Probe  $\rho_P$  bei einem gemessenen Ausschlag am Meßgerät  $\delta_P$ , der dem reflektierten Wärmefluß  $\Phi_{R,T,\lambda}$  entspricht, wird anhand der Formel

$$\rho_P = \rho_N \frac{\delta_P}{\delta_N} \quad (17)$$

berechnet.



**Bild 2.** Blockschema des "Albedometers", das im Institut für Bauwesen und Architektur der Slowakischen Akademie der Wissenschaften in Bratislava entwickelt wurde.

NZ – Spannungsquelle                      RP – Registriergerät  
 $Z \phi_{T,\lambda}$  – Wärmeflußquelle              MV – Meßprobe  
 PT $\lambda$  – Empfänger des Wärmeflusses

Für die praktische Berechnung wählen wir das Beispiel einer Mörtelprobe, die mit einem Holzglätter oberflächenbehandelt und mit Pompejanischrot Nr. 846 rot gefärbt wurde, Bild 3.

Beispiel:

Für sämtliche Berechnungen wird für den Reflexionsgrad des Normals der Wert

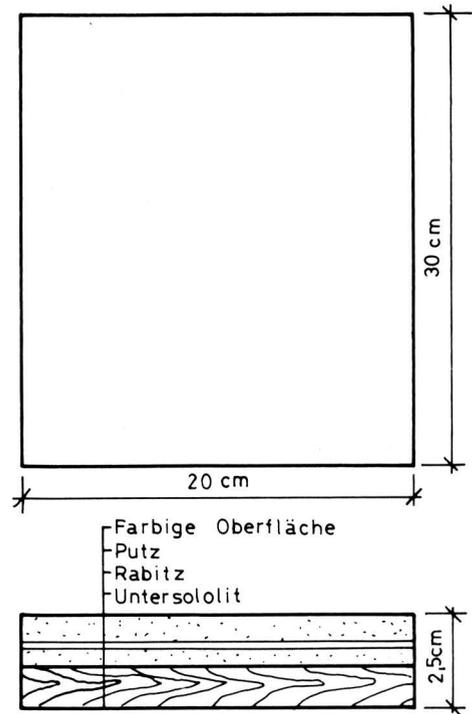
$$\rho_N = 0,02$$

verwendet.

Der Ausschlag am Meßgerät für das verwendete Normal ist bei drei Einzelmessungen:

$$\delta_{N,1,2} = 0,3$$

$$\delta_{N,3} = 0,4$$



**Bild 3.** Aufbau und Abmessungen der Versuchsprobe – Putz – für die Bestimmung des Wärmereflexions- und Absorptionsgrades sowie der Strahlungskonstanten mit dem "Albedometer".

Die Ausschläge am Meßgerät für die Meßprobe sind für die drei Einzelmessungen:

$$\delta_{P,1} = 1,9$$

$$\delta_{P,2} = 1,8$$

$$\delta_{P,3} = 2,5$$

Für die Berechnung des Reflexionsgrades der Meßprobe wird Gl. (17) verwendet, und man erhält für die einzelnen Messungen:

$$\rho_{P,1} = 0,02 \cdot 1,9/0,3 = 0,127$$

$$\rho_{P,2} = 0,02 \cdot 1,8/0,3 = 0,120$$

$$\rho_{P,3} = 0,02 \cdot 2,5/0,4 = 0,125$$

Die Absorptionsgrade werden aus der Formel

$$\rho + a = 1, \quad \text{d.h. } a = 1 - \rho,$$

die für Graukörper gilt, d.h. für alle undurchsichtigen Baumaterialien, berechnet. Damit wird:

$$a_{P,1} = 1 - 0,127 = 0,873$$

$$a_{P,2} = 1 - 0,120 = 0,880$$

$$a_{P,3} = 1 - 0,125 = 0,875$$

Die Strahlungskonstanten ergeben sich, da  $\epsilon = a$ , aus:

$$C_r = C_s a,$$

wobei  $C_s$  die Strahlungskonstante eines absolut schwarzen Körpers ist, und zwar  $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}^4$ , ein Wert, der für alle Berechnungen der Strahlungskonstanten verwendet wird.

Es ergibt sich dann:

$$C_{P,1} = 5,7 \cdot 0,873 = 4,98 \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$C_{P,2} = 5,7 \cdot 0,880 = 5,02 \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

$$C_{P,3} = 5,7 \cdot 0,875 = 4,99 \text{ W/m}^2\text{K}^4$$

Aus den drei gemessenen bzw. berechneten Werten des Reflexionsgrades  $\rho$ , des Absorptionsgrades  $\alpha$  und der Strahlungskonstanten  $C$  wird der jeweilige Mittelwert für die gemessene Probe errechnet. Zum Beispiel ergibt sich bei  $n = 3$  Messungen für den Reflexionsgrad:

$$\rho_P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{Pi} = \frac{0,127 + 0,120 + 0,125}{3} = 0,124.$$

In gleicher Weise errechnen sich:

$$\alpha_P = 0,876$$

$$C_P = 4,997 \text{ W/m}^2\text{K}^4.$$

Die Ergebnisse aus der Bestimmung des Reflexions- und Absorptionsgrades sowie der Strahlungskonstanten für verschiedene Arten farbiger, mit Holz-, Filz- und Stahlglättern behandelter Flächen sind in **Tafel 1 bis 3** dargestellt.

Bezeichnung der farbigen Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho$	Absorptionsgrad $\alpha$	Strahlungskonstante $C_r$ W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
Universalgelb Nr. 611	0,151	0,849	4,842
Pompejanischrot Nr. 846	0,124	0,876	4,997
Universalhellgrün Nr. 513	0,145	0,855	4,875
Nachtblau Nr. 412	0,141	0,859	4,899
Orange Nr. 740	0,143	0,857	4,890
Zinnoberrot Nr. 815	0,137	0,836	4,920
Dobřicer Schlämmocker Nr. 210	0,137	0,836	4,922
Universaldunkelgrün Nr. 539	0,145	0,855	4,875
Ultramarinblau	0,138	0,862	4,918
Weinrot	0,136	0,864	4,924
Kalkschlämme	0,159	0,841	4,796
Kalkmörtelputz	0,109	0,891	5,082

**Tafel 1.** Reflexions- und Absorptionsgrad (gemessen) und Strahlungskonstante (errechnet) für Mörtelproben mit verschiedenfarbigen Oberflächen, die mit Holzglätter behandelt wurden; Umgebungstemperatur 24,3 °C.

Bezeichnung der farbigen Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho$	Absorptionsgrad $\alpha$	Strahlungskonstante $C_r$ W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
Universalgelb Nr. 611	0,148	0,852	4,862
Pompejanischrot Nr. 846	0,127	0,873	4,979
Universalhellgrün Nr. 513	0,148	0,852	4,843
Nachtblau Nr. 412	0,142	0,858	4,893
Orange Nr. 740	0,147	0,853	4,865
Zinnoberrot Nr. 815	0,139	0,861	4,909
Dobřicer Schlämmocker Nr. 210	0,145	0,855	4,875
Universaldunkelgrün Nr. 539	0,142	0,858	4,896
Ultramarinblau	0,142	0,858	4,887
Weinrot	0,135	0,865	4,930
Kalkschlämme	0,141	0,859	4,911
Kalkmörtelputz	0,109	0,891	5,082

**Tafel 2.** Reflexions- und Absorptionsgrad (gemessen) und Strahlungskonstante (errechnet) für Mörtelproben mit verschiedenfarbigen Oberflächen, die mit Filzglätter behandelt wurden; Umgebungstemperatur 24,3 °C.

Bezeichnung der farbigen Oberfläche	Reflexionsgrad $\rho$	Absorptionsgrad $\alpha$	Strahlungskonstante $C_r$ W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
Universalgelb Nr. 611	0,140	0,860	4,905
Pompejanischrot Nr. 846	0,131	0,869	4,950
Universalhellgrün Nr. 513	0,145	0,855	4,874
Nachtblau Nr. 412	0,143	0,857	4,886
Orange Nr. 740	0,145	0,855	4,876
Zinnoberrot Nr. 815	0,141	0,859	4,899
Dobřicer Schlämmocker Nr. 210	0,149	0,851	4,856
Universaldunkelgrün Nr. 539	0,140	0,860	4,902
Ultramarinblau	0,142	0,858	4,893
Weinrot	0,136	0,864	4,926
Kalkschlämme	0,151	0,849	4,840
Kalkmörtelputz	0,053	0,947	5,399

**Tafel 3.** Reflexions- und Absorptionsgrad (gemessen) und Strahlungskonstante (errechnet) für Mörtelproben mit verschiedenfarbigen Oberflächen, die mit Stahlglätter behandelt wurden; Umgebungstemperatur 24,3 °C.

Wie aus diesen Ergebnissen der Messungen und Berechnungen hervorgeht, wird der Wert der Strahlungskonstanten hauptsächlich von dem Grundmaterial, in unserem Fall dem ungefärbten Kalkputz beeinflusst. Bei verschiedenen Farbbehandlungen der Oberflächen sinkt der Wert der Strahlungskonstanten um ca. 10 % in Abhängigkeit von Art und Emissionsgrad der verwendeten Farbe. Der größte Wert der Strahlungskonstanten tritt hier bei ungefärbtem Putz auf, der mit einem Stahlglätter behandelt wurde. Die Ergebnisse der Messungen an weiteren Baustoffen sind aus **Tafel 4 und 5** ersichtlich.

#### 4. Rationelle Nutzung der optischen Eigenschaften von Baustoffen für den Schutz von Viehställen gegen Sonneneinstrahlung im Sommer

Um die optischen Eigenschaften (Albedo) verschiedener Baumaterialien, die für die Konstruktion von Dachflächen verwendet werden, zu erproben, wurde im Sommer eine ausführliche Messung an einem Dach durchgeführt, **Bild 4 und 5**. Dabei wurde vor allem das Albedo der Materialien beobachtet, d.h. ihre Fähigkeit, Sonnenstrahlen zu reflektieren, zu absorbieren und durchzulassen. Die Messungen bestätigten die Richtigkeit der theoretischen Überlegungen und der Laborergebnisse.

In Ergänzung zu den Strahlungsmessungen wurden auch Temperaturmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse in **Bild 6 und Tafel 6** dargestellt sind. Aus der Differenz zwischen der Lufttemperatur  $\vartheta_a$  und der durch die Bestrahlung hervorgerufenen Oberflächentemperatur  $\vartheta_{wa}$  werden die Auswirkungen der unterschiedlichen optischen Eigenschaften besonders deutlich. Der Vergleich der Temperaturen besonnener Dachflächen mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit und Farbe zeigt, daß es zur Verhinderung der Überhitzung im Gebäudeinnern besonders vorteilhaft ist, eine Schicht von weißem Kies aufzubringen. Durch weitere hier nicht näher dargestellte Messungen wurden wertvolle Ergebnisse über das Abklingen der Temperaturschwingungen bei Verwendung von Kies in unterschiedlichen Stärken auf Bauwerken verschiedener Art unter Betriebsbedingungen gewonnen.

Messungen an Gebäuden für die tierische Produktion unter Betriebsbedingungen wurden vor allem durchgeführt an Ställen mit leichten Außenwandkonstruktionen in den wärmsten Gebieten der ČSSR, d.h. im südlichen Teil der Slowakei, wo die Tiere, z.B. Rinder und Schweine, ständig eingestallt sind, **Bild 7**.

Verwendetes Material, Oberflächenbehandlung des Fußbodens und seine Farbe	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/m K	Reflexionsgrad $\rho$	Absorptionsgrad $\alpha$	Strahlungskonstante $C_r$ W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
Weizenstroh	0,12	0,060	0,940	5,361
Eichensägespäne	0,13	0,093	0,905	5,162
Kiefersägespäne	0,12	0,082	0,918	5,236
gehobeltes Kiefernholz	0,21	0,120	0,880	5,020
ungehobeltes Kiefernholz	0,24	0,115	0,885	5,046
Eichenholzklötzchen in Faserrichtung	0,41	0,103	0,897	5,116
Eichenholzklötzchen rechtwinklig zur Faserrichtung	0,24	0,122	0,878	5,007
glatter grauer Stein	1,98	0,111	0,889	5,069
brauner Lehm	0,70	0,088	0,912	5,199
Mauervollziegel	0,52	0,084	0,916	5,224
Klinkervollziegel	0,63	0,110	0,890	5,072
unbewehrter Graubeton	1,28	0,099	0,901	5,135
Hartgußasphalt mit Splitt	0,65	0,059	0,941	5,354
Bodit	0,29	0,075	0,925	5,274
Boxit	0,58	0,095	0,905	5,160
PVC-Matratze m. Profil hellgrau	0,17	0,060	0,940	5,361
PVC-Matratze m. Profil braun	0,17	0,033	0,966	5,513
PVC-Matratze m. Profil beige	0,17	0,068	0,932	5,313
PVC-Matratze glatt beige	0,17	0,086	0,914	5,213
PVC-Matratze, ange- rauhete Oberfläche	0,16	0,048	0,951	5,428
Gummimatratze, glatte Oberfläche	0,16	0,057	0,942	5,274

Tafel 4. Gemessene bzw. errechnete Werte der Strahlungseigenschaften von Stroh und verschiedenen Arten von Fußbodenbelägen.

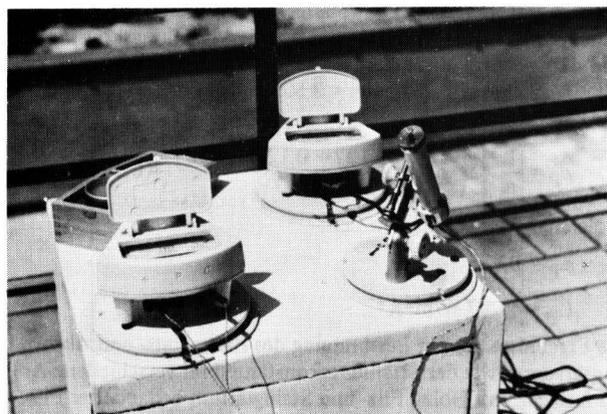


Bild 4. Anordnung des Geräts "Aktinometer AT-50" bei der Messung der Intensität der Sonnenstrahlung.



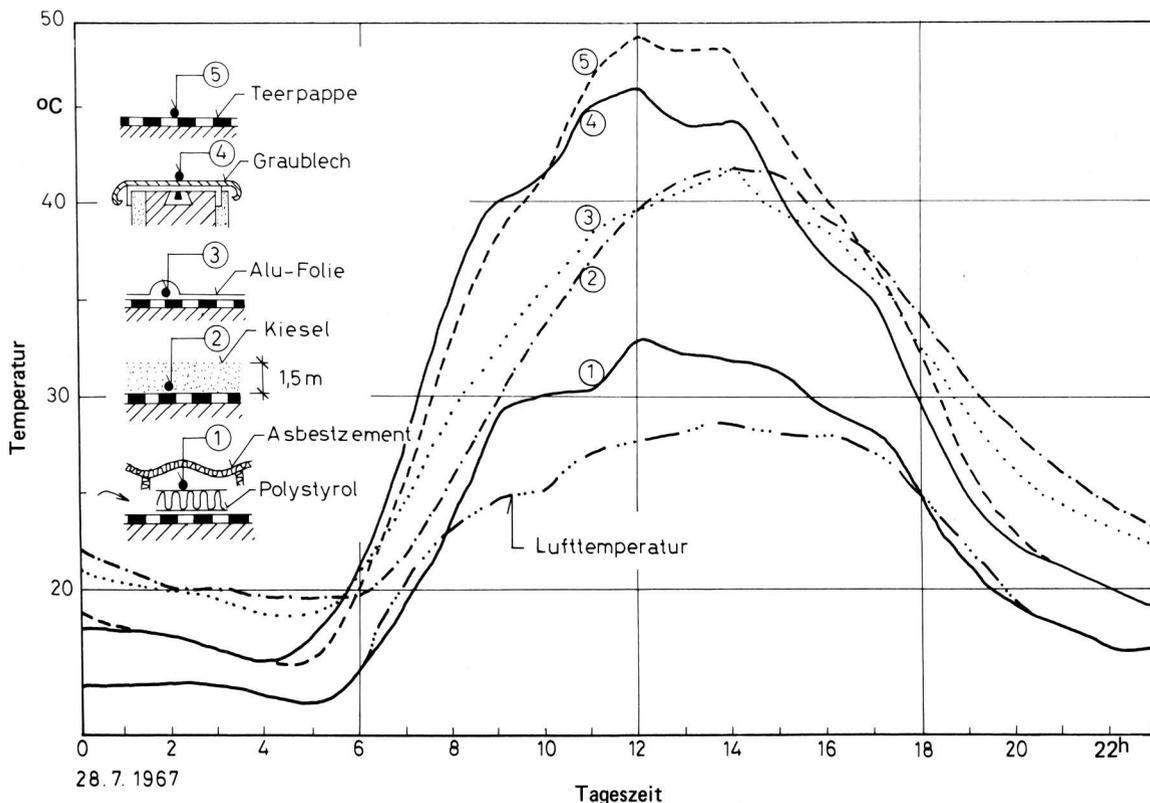
Bild 5. Gerät "Heliograph" zur Messung der Wellenlängen der Sonnenstrahlung.

Bezeichnung des gemessenen Problemusters	Reflexionsgrad $\rho$	Absorptionsgrad $\alpha$	Strahlungskonstante $C_r$ W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
Hobra (kompakte Dämmplatten)	0,134	0,866	4,930
Eichenholz	0,102	0,898	5,122
Schaumglas	0,058	0,942	5,375
Sololit	0,133	0,867	4,938
grauer Asbest	0,136	0,864	4,919
Schaumgummi – grau	0,062	0,938	5,350
Schwamm – gelb	0,060	0,940	5,363
Schaumpolystyrol	0,209	0,791	4,502
Zinkblech	0,535	0,465	2,751
Filz – schwarz	0,069	0,931	5,312
Sperrholz	0,120	0,880	5,019
Porenbeton	0,122	0,878	5,002

Tafel 5. Gemessene bzw. errechnete Strahlungseigenschaften für verschiedene Baumaterialien; Umgebungstemperatur 21,4 °C.

Während für winterliche Verhältnisse akute Klimaprobleme z.B. durch Heizung gelöst werden, ist der Schutz des Innenraums gegen sommerliche Überhitzung unter dem Einfluß der Sonneneinstrahlung, der die Dacheindeckungen im Laufe eines Tages am längsten ausgesetzt sind, ein vordringliches Problem. Die Fachbereichsnorm besagt [9], daß die maximale Temperatur im Stallraum in den Sommermonaten die Außenlufttemperaturen um nicht mehr als 3 °C übersteigen soll. Diese Forderung wurde auch in den Entwurf einer neuen tschechoslowakischen Norm [10] aufgenommen. Wenn wir die Forderung nach einem 12fachen Luftaustausch mittels einer mechanischen Belüftungsanlage berücksichtigen, dann können im günstigsten Fall die Innenlufttemperatur und die Außenlufttemperatur einander annähernd gleich sein, d.h.  $\vartheta_i \approx \vartheta_a$ .

In diesem Fall schützt der Außenmantel des Stalles die eingestellten Tiere nur vor dem Einfluß einer direkten Sonnenstrahlung. Dabei tritt der von der Dachhaut absorbierte Wärmefluß der Sonnenstrahlung durch die Konstruktion und gelangt durch Leitung, Konvektion und Strahlung an die Innenwandung. Da  $\vartheta_i \approx \vartheta_a$  befinden sich die Tiere hinsichtlich der Wärmeabgabe durch Konvektion praktisch unter den gleichen Bedingungen sowohl im Stall als auch außerhalb desselben. Ein Unterschied bleibt jedoch hinsichtlich des Wärmeflusses infolge Strahlung, der einerseits vom Außenmantel des Stalles, andererseits von der direkten Sonnenstrahlung bestimmt wird.



**Bild 6.** Meßwerte der Oberflächentemperaturen auf dem Dach bei unterschiedlicher Ausbildung der Oberfläche.

Deshalb ist von der Stallhülle zu fordern, daß sie im Sommer minimale Temperaturschwankungen an der Innenoberfläche der Außenwandkonstruktionen aufweist und daneben einen minimalen Wärmefluß und geringe Strahlungswirkungen auf die eingestellten Tiere hervorruft.

Bauliche Maßnahmen zum Schutz des Innenraums von Großraumviehställen gegen Insolation im Sommer sollten somit folgende Gesichtspunkte berücksichtigen:

- Auswahl von Materialien mit einem hohen Reflexionsvermögen,
- Erhöhung des Wertes des Wärmedurchlaßwiderstandes der Dachkonstruktion  $R$ ,
- Senkung des flächenbezogenen Wärmeflusses  $\dot{q}$  infolge Ausstrahlung von der Innenunterdecke, z.B. durch Verwendung von Materialien mit einem niedrigen Emissionsgrad.

Als ein Beispiel soll die Verwendung von Aluminium-Folie ( $\epsilon = 0,06$ ) an der Unterdecke einer Dachkonstruktion mit den Werten  $R = 0,24 \text{ m}^2\text{K/W}$  und  $\epsilon = a = 0,9$  dienen.

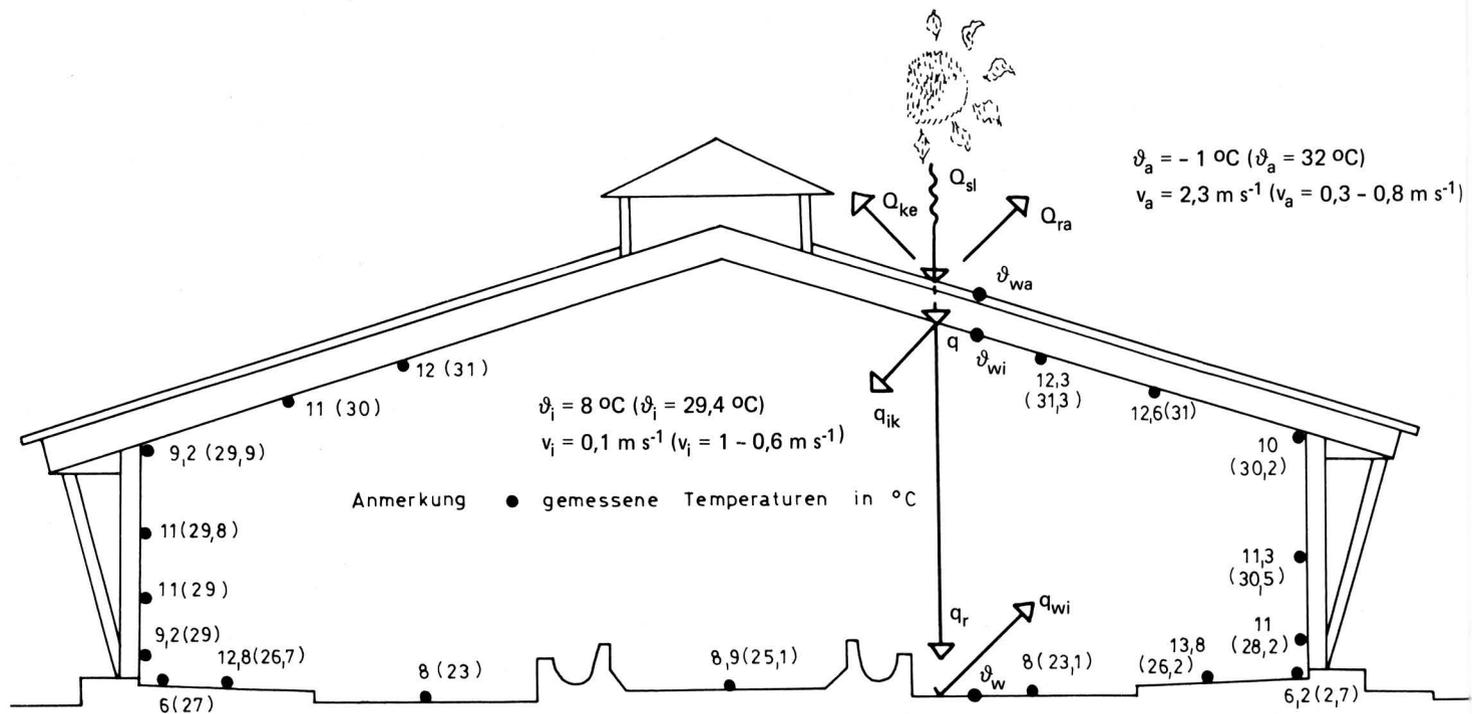
Bei Verwendung einer Alu-Folie wird der Wärmefluß durch Ausstrahlung entscheidend herabgesetzt. Das zeigt sich auch in einem Absinken der Fußbodentemperatur von  $44,3 \text{ }^\circ\text{C}$  (ohne Folie) auf  $33,6 \text{ }^\circ\text{C}$  (mit Folie). Die qualitativ hochwertige Albedo der Alu-Folie hat eine sehr günstige Wirkung auch bei winterlichen Verhältnissen, infolge der starken Reflexion der von der Körperoberfläche der Tiere ausgestrahlten Wärme, **Bild 8**.

Dazu muß aber betont werden, daß die Anbringung einer Alu-Folie an den Innenflächen der Stallhülle sowohl im Winter als auch im Sommer ein sehr elastisches Belüftungssystem erfordert, um die Möglichkeit der Reifbildung im Winter auszuschließen und die rasche Abführung der Körperwärme von den Tieren in den Sommermonaten zu gewährleisten zur Aufrechterhaltung des Grenz-zustandes  $\vartheta_1 \approx \vartheta_a$ .

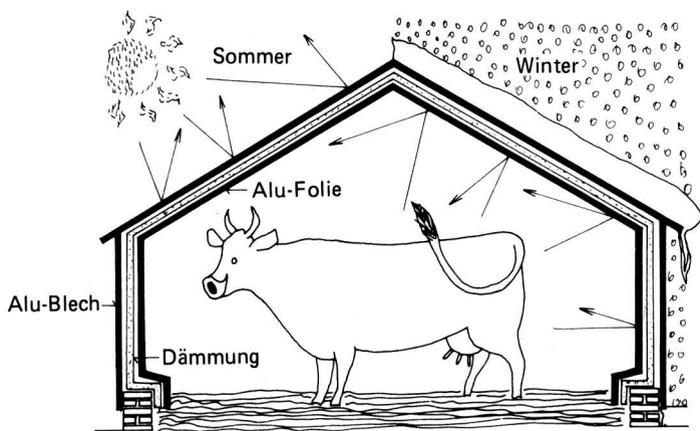
Noch anschaulicher läßt sich die Qualität der Albedo von Alu-Blech darstellen anhand von Meßwerten für einen Großraum-schweinstall mit leichtem Außenmantel, der im Süden der Slowakei in Betrieb genommen wurde, **Bild 9 bis 11**.

Materialart	Oberflächenbehandlung und Farbe	Außenlufttemperatur $\vartheta_a$ °C	Oberflächentemperatur $\vartheta_{wa}$ °C	rel. Luftfeuchte $\varphi_a$ %
Asphaltbitumenpappe	besandet – schwarz	27,5	49,0	35
Asphaltbitumenpappe unter 3 cm Kiesel-schicht	Kies – weiß	28,5	41,3	28
Asphaltbitumenpappe unter 5 cm Kiesel-schicht	Kies – weiß	32,5	39,0	33
Asphaltbitumenpappe unter Aluminiumfolie	weiß – glänzend	28,5	41,0	
Zinkblech	glatt – grau	28,5	46,0	35
Bodenfliesen 15 x 15 cm	glatt – braungelb	28,5	42,0	30
Polystyrol unter Asbestzementplatte	matt – grau	28,5	33,0	35

**Tafel 6.** Im Sommer bei Sonneneinstrahlung gemessene Oberflächentemperaturen an der Dachhaut.



**Bild 7.** Lufttemperatur und Wärmeströme an der Innenwand einer leichten Stallhülle (Bauweise OH) unter dem Einfluß der Sonneneinstrahlung; gemessen mit dem "Thermophyl" im praktischen Betrieb im Winter und Sommer (Sommermeßwerte in Klammern).



**Bild 8.** Verwendung von Alu-Folie und -Blech für den leichten Außenmantel eines Viehstalles unter dem Gesichtspunkt der Erzielung guter Wärmestrahlungseigenschaften.

Die Anordnung der Wärmedämmung und der Meßstellen ist in den Bildern skizziert. Bei den Messungen erreichte die Außentemperatur der Luft einen Maximalwert von  $\vartheta_{a\max} = 31,4 \text{ °C}$ . Die maximale Oberflächentemperatur auf dem Aluminiumdach (Kurve 1 in Bild 9) betrug etwa  $50 \text{ °C}$  und die maximale Oberflächentemperatur des Aluminiums an der Deckenunterseite  $\vartheta_{wi} = 32,5 \text{ °C}$  (Kurve 3 in Bild 11). Die höchste Oberflächentemperatur des Fußbodens war  $\vartheta_{F\max} = 29 \text{ °C}$  (Kurve 2 in Bild 11), während die maximale Lufttemperatur im Schweinestall einen Wert von  $\vartheta_{i\max} = 33,5 \text{ °C}$  erreichte. Die Temperaturverhältnisse an der Wand sind aus Bild 10 zu entnehmen.

Der Verlauf der Kurven weist aus, daß die Außentemperatur und die Stalltemperatur ohne große zeitliche Unterschiede den Maximal- und den Minimalwert erreichen. Dagegen tritt sowohl an der Decke wie an der Wand eine beträchtliche Zeitdifferenz zwischen den Maximalwerten der Temperatur an der Außen- und der Innenfläche auf.

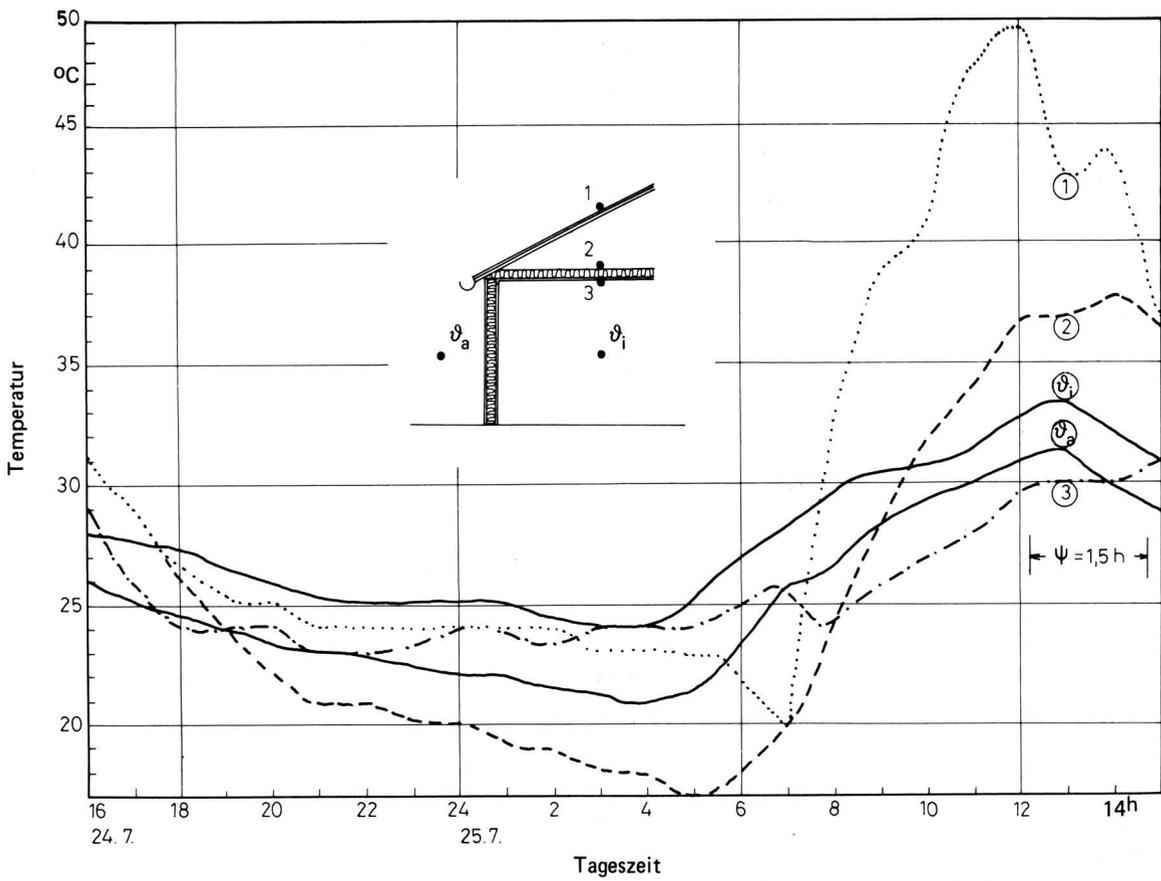
Die in Bild 6 dargestellten Ergebnisse der Temperaturmessung bei Insolation auf Dachflächen verschiedener Baumaterialien und die mit den Bildern 9 bis 11 gezeigten Ergebnisse der Messung an einem Stall geben deutliche Hinweise zum Einfluß der Albedo beim Schutz von Stallräumen gegen Überhitzung im Sommer wie auch vor Abkühlung im Winter.

Positive Ergebnisse erbrachten auch Versuche, die Gorskij [2] im Gebiet von Taschkent im Süden der UdSSR durchführte. Die Messungen erfaßten den physiologischen Zustand und die Produktionsleistung von Tieren (Rindern und Schweinen) in einem an den Innenwänden mit Alu-Folie verkleideten Stall (Versuchsgruppe) und von Tieren in einem Stall ohne Folie an den Innenwänden (Kontrollgruppe) bei gleichen Außenverhältnissen und gleicher Fütterung.

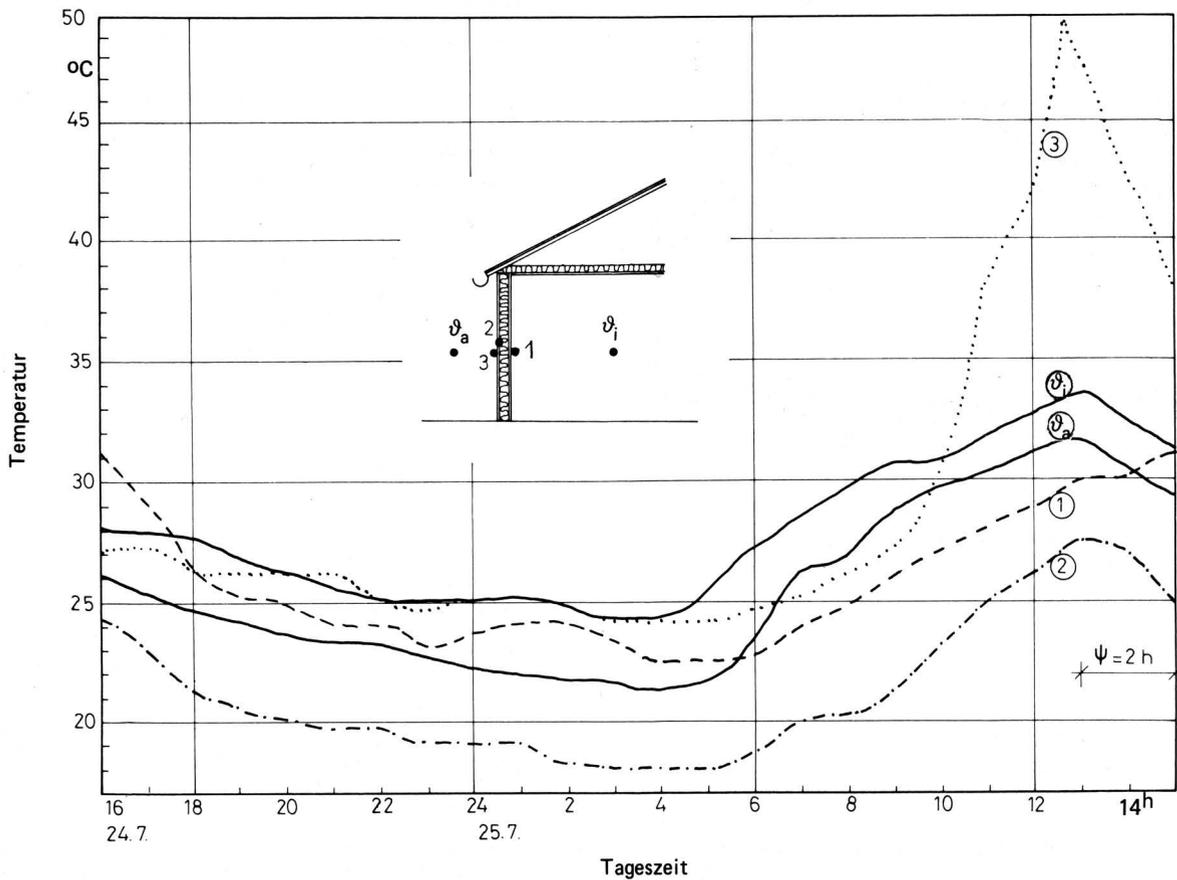
Die Messungen erfolgten im Monat August und brachten folgende Ergebnisse:

- Der physiologische Zustand der Versuchsgruppe war besser als bei der Kontrollgruppe, was anhand der Oberflächentemperaturen der Tiere nachgewiesen wurde. Die Temperatur der Körperoberfläche war bei der Versuchsgruppe um  $0,3\text{--}1,5 \text{ °C}$  niedriger.
- Die tägliche Lebendgewichtszunahme je Tier war beim Jungvieh der Versuchsgruppe um  $222 \text{ g}$  höher als bei der Kontrollgruppe.
- Bei den Schweinen der Versuchsgruppe war die tägliche Gewichtszunahme je Tier um  $13\text{--}15 \%$  höher als bei der Kontrollgruppe.

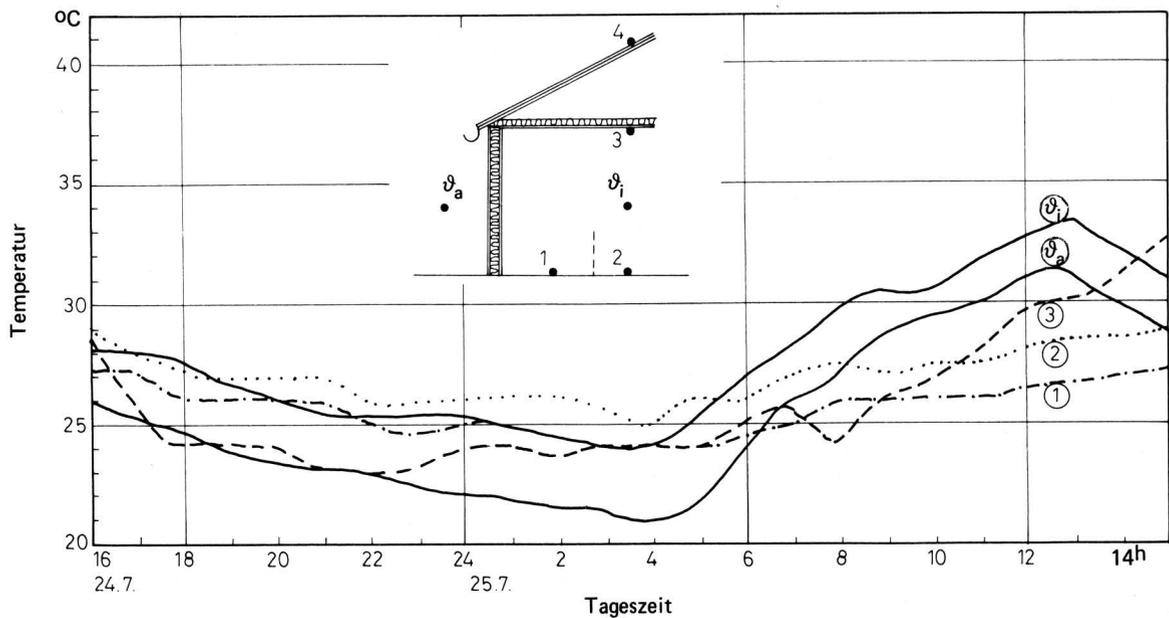
Diese Erfolge sind auf den Schutz des Stallinnenraumes vor sommerlicher Überhitzung durch die Verwendung von Alu-Folie zurückzuführen. Ähnliche Versuche zur Verbesserung des Stallklimas wurden auch in der Schafhaltung durchgeführt, wo ebenfalls wertvolle positive Erkenntnisse gewonnen wurden.



**Bild 9.** Temperaturverlauf unter sommerlichen Grenzbedingungen für einen Stall mit leichter Dachkonstruktion (Alu-Blech-Eindeckung und Alu-Folie an der Deckenunterseite); Phasenverzögerung des Temperaturganges  $\psi$  zwischen Deckenober- und -unterseite.

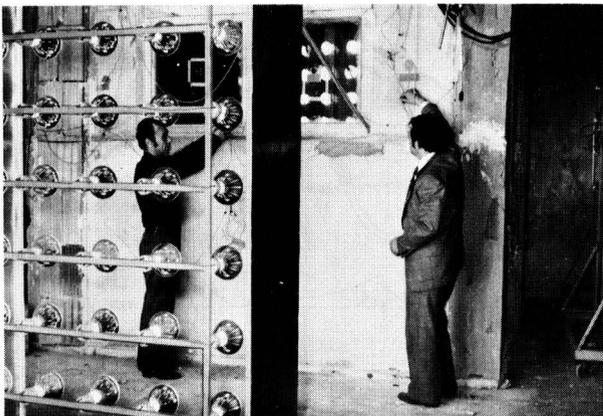


**Bild 10.** Temperaturverlauf unter sommerlichen Grenzbedingungen für eine leichte Wandplatte mit Außenoberfläche aus Alu-Blech. Phasenverzögerung des Temperaturganges  $\psi$  zwischen Wandaußen- und -innenfläche.



**Bild 11.** Temperaturverlauf für den Fußboden eines Schweinestalls mit leichtem Außenmantel (Typ Monta Holič) unter sommerlichen Grenzbedingungen.

Die Wirksamkeit der optischen Eigenschaften der Baumaterialien für Versuchsställe bei einer räumlichen Wärmeausbreitung unter nichtstationären Verhältnissen kann auch unter Laborbedingungen in einem Klimaraum mit einer künstlichen "Sonne" orientierungsweise untersucht werden. Die von uns verwendete Einrichtung ist auf Bild 12 dargestellt. Für eine objektive praxisbezogene Bewertung wird die Untersuchung gleichzeitig auch an Objekten unter Betriebsbedingungen in einer gegebenen Klimazone vorgenommen.



**Bild 12.** Versuchsobjekt und "künstliche Sonne" bei der Untersuchung optischer Eigenschaften von Baustoffen in einem großen Klimaraum des Instituts für Bauwesen und Architektur der Slowakischen Akademie der Wissenschaften in Bratislava.

### Schlußbemerkungen

Bei Großbauten mit leichter Außenwandkonstruktion ist es erforderlich, daß bei der Projektierung und Beurteilung der Schutz des Innenraumes vor sommerlicher Überhitzung als Folge der Sonneneinstrahlung stärker berücksichtigt wird. Eine der Möglichkeiten für den Schutz gegen Sonneneinstrahlung ist die Ausnutzung der optischen Eigenschaften von Baustoffen. Der Beitrag widmet sich der Theorie der Messung und der Bestimmung der Albedo von Baustoffen, d.h. der Bestimmung des Absorptions-, Reflexions- und Emissionsgrades sowie der Strahlungskonstanten.

Wie die Praxis bestätigt hat, trägt die Ausnutzung der optischen Eigenschaften von Baustoffen zum Schutz des Innenraumes von Viehställen vor Sonneneinstrahlung im Sommer bei und führt so zu einer höheren Produktionsleistung der eingestellten Tiere.

### Schrifttum

- [ 1 ] Janáč, K.: Príspevok k teórii predurčovania tepelnej ochrany a optimálnej klímy veľkokapacitných stajní (Ein Beitrag zur Theorie der Vorbestimmung des Wärmeschutzes und optimalen Klimas von Großraumviehställen). Ústarch SAV, Bratislava 1978.
- [ 2 ] Gorskij, G.Ju. u. L.A. Anufriev: Anotacionyj sbornik naučnoissledovatel'skich rabot vypolne nych v r. 1962–1963 god. Orel 1964.
- [ 3 ] Janáč, K.: Grundsätze für den Entwurf von Viehställen unter Beachtung der wärmetechnischen Forderungen im Hinblick auf die Winter- und Sommerverhältnisse. ALB – Berichtsheft 28, Frankfurt am Main 1966.
- [ 4 ] Ottlot, H.P.: Pogloščeniya tepla ložem životnych. Tallin 1957.
- [ 5 ] Poljak, G.L.: Teorija lucistogo obmena. NAV, ZSSR, 1938.
- [ 6 ] Janáč, K.: Der Einfluß verschiedener Fußbodenkonstruktionen auf das Stallmilieu bei intensiver Geflügelhaltung. Monatshefte für Veterinärmedizin – VEB, G. Fischer Verlag, Jena 22 (1967) H. 20, S. 833/37.
- [ 7 ] Janáč, K.: Otázky výskumu priestorovej klímy budov, (Fragen zur Untersuchung des Raumklimas in Gebäuden). Architektura a urbanizmus Bd. 8 (1974), Nr. 3, S. 43/57.
- [ 8 ] Janáč, K. u. K. Bähr: Verwendung leichter Baustoffe beim Stallbau. Bauzeitung, 1968, Nr. 2, S. 92/95.
- [ 9 ] ON 734502: Tepelná bilanca, větrání a osvětlení stájových prostorů, (Wärmebilanz, Belüftung und Beleuchtung von Stallräumen. Praha 1968.
- [ 10 ] ČSN 730565: Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov, (Wärmetechnische Eigenschaften von Baukonstruktionen und Gebäuden). Praha 1978.
- [ 11 ] Janáč, K.: Stavby pre chov oviec (záverečná správa), (Bauten für die Schafzucht (Schlußbericht)). Ústarch SAV, Bratislava 1968.