

# THERMAL INSULATION LABORATORY TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK



Textilbetrieb Mai 1982.

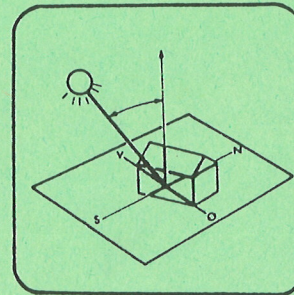
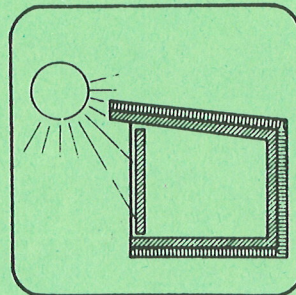
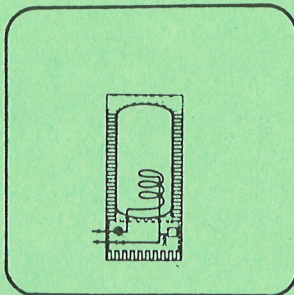
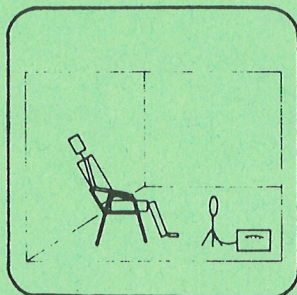
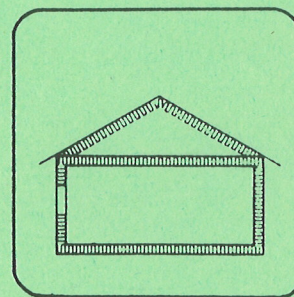
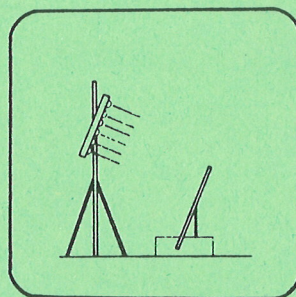
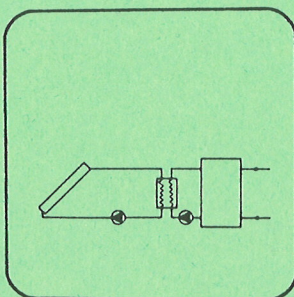
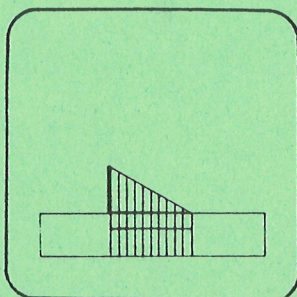
## Ein Vorschlag zur Kennzeichnung von Steppdecken

Neue Methode zur Bewertung von Wärmedämm- und Komforteigenschaften

THOMAS LUND MADSEN

PER DRENGSGAARD

Report no. 157





# Ein Vorschlag zur Kennzeichnung von Steppdecken

Neue Methode zur Bewertung von Wärmedämm- und Komforteigenschaften

THOMAS LUND MADSEN,  
LABORATORIUM FÜR WÄRMEISOLIERTECHNIK, TECHNISCHE UNIVERSITÄT VON  
DÄNEMARK  
PER DRENGSGAARD, NF ENTWICKLUNGSCENTER, NORTHERN FEATHER  
INTERNATIONAL LTD.

Seit vielen Jahren wird in den Ländern des europäischen Kontinents die Steppdecke als hervorragendes Mittel zur Erzielung eines hohen Schlafkomforts geschätzt, zumal sie sich dank ihrer guten wärmedämmenden Eigenschaften durchaus auch bei kalter Umgebung verwenden läßt. Um Steppdecken künftig hinsichtlich ihrer Temperaturgrenzbereiche und ihres Komfortverhaltens kennzeichnen zu können, muß man wissen, welche Faktoren unser Komfortgefühl beeinflussen und inwieweit die Steppdecke diesen Bedingungen entspricht.

Ebenso wie bei anderen Bettdecken vollzog sich die Entwicklung der Steppdecke nach den empirischen Gesichtspunkten, die zu einer bestimmten Zeit dafür ausschlaggebend waren. Natürlich standen auch hier wie bei so vielen anderen Gebieten des täglichen Lebens so vielseitige Erfahrungen zur Verfügung, daß wirklich objektive wissenschaftliche Untersuchungen nie in Angriff genommen wurden. Dies soll aber nicht heißen, daß sich solche Untersuchungen nicht für Hersteller, Verkäufer und Kunden lohnen würden. Aufgrund dementsprechend gewonnener Erfahrungen sind die Autoren in der Lage aufzuzeigen, wie man in Zukunft Steppdecken auf einfache Weise kennzeichnen kann, um es dem Verbraucher zu ermöglichen, mit einem Blick die Wärmedämmungs- und Komforteigenschaften der ihn interessierenden Decke festzustellen.

## Physiologische Grundlagen

Bedingt durch Stoffwechselvorgänge geben alle lebenden Organismen Wärme ab. Beim Menschen bewegt sich die so erzeugte Wärme zwischen  $45 \text{ W/m}^2$  beim Schlafen und  $400$  bis  $500 \text{ W/m}^2$  während eines kurzen Zeitraumes sportlicher Höchstleistung.

Diese Wärme wird an die Umgebung abgegeben, während gleichzeitig eine konstante Körpertemperatur von etwa  $37^\circ\text{C}$  aufrechterhalten wird.

Oft ist es schwierig, die tatsächliche Wärmeabstrahlung richtig einzuschätzen. Während des Schlafes ist dies allerdings bedeutend leichter. Dies liegt daran, daß der Stoffwechsel während des Schlafes bestimmte Normen einhält und der größte Teil der erzeugten Wärme durch das Bettzeug (Steppdecke und Matratze) abgeführt wird. Das Diagramm Bild 1 zeigt, wie sich der Wärmeverlust aufteilt. Die trockene Wärme ist der eine

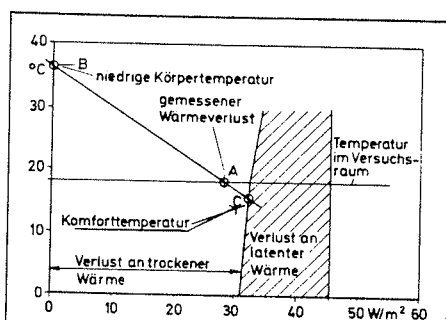


Bild 1: Das Diagramm zeigt, wie sich die bei einer schlafenden Person anfallende Stoffwechselwärme in trockene und latente Wärmeverluste aufteilt, wenn die relative Luftfeuchte im Schlafzimmer bei 50% liegt. Der Darstellung ist ferner zu entnehmen, wie man die Komforttemperatur einer bestimmten Steppdecke durch Messungen mit einer beheizten Puppe feststellen kann

Teil, der durch Ableitung, Abstrahlung und Konvektion direkt an die umgebende Luft abgegeben wird. Die latente Wärme wird für Wasserverdampfungsvorgänge verbraucht, teils im Zusammenhang mit der Atmung und teils, um auf der Haut befindliches Wasser zu evaporieren\*. Der Grund, warum die Linie, die die beiden Wärmeverlustzonen ( $\Phi_{\text{trocken}}$  und  $\Phi_{\text{latent}}$ ) trennt, leicht schräg verläuft, ist folgender: In kalter Umgebung ist der Dampfdruck der Luft niedrig (der absolute Luftfeuchtigkeitsgehalt ist auch dann gering, wenn die relative Feuchtigkeit hoch ist). Deshalb wird mehr Wärme verbraucht, um die eingeatmete Luft anzufeuchten. Die ausgeatmete Luft hat immer einen Feuchtigkeitsgehalt, der einer 100%igen relativen Luftfeuchtigkeit entspricht, und zwar bei einer Temperatur von etwa  $30$  bis  $33^\circ\text{C}$ . Es ist der Verlust an trockener Wärme, der mit einer richtig ausgewählten Steppdecke kom-

pensiert wird. Hierbei wird die Wärmebilanz so ausgeglichen, daß die schlafende Person weder schwitzt noch friert.

## Bestimmung der Wärmedämmung einer Steppdecke

Beim Messen der Wärmedämmleistung einer bestimmten Steppdecke genügt es nicht, nur die Isolierwirkung des Füllmaterials, den sogenannten  $\lambda$ -Wert ( $\text{W/mK}$ ), festzustellen. Man muß das gesamte System, also Person, Steppdecke und Umgebung, in Betracht ziehen (s. Bild 2). Die in diesem Zusammenhang zu beachtenden wesentlichsten Faktoren sind folgende:

1. Der Wärmefluß verläuft mehrdimensional, d.h., die Wärmeabstrahlung durch das isolierende Material hindurch verläuft nicht linear.
2. Ein Teil der Körperwärme geht durch die Matratze ab. Dieser Teil wird also nicht von der Isolierfähigkeit der Steppdecke beeinflusst.
3. Der Kopf befindet sich außerhalb der Steppdecke und strahlt daher mehr Wärme pro  $\text{m}^2$  ab als der Rest des Körpers.

Die Wärmedämmleistung einer Steppdecke erbringt unter Verwendung einer beheizten Puppe durchaus realistische, reproduzierbare Werte. Der Wärmeverlust einer solchen lebensgroßen Puppe, deren Wärme der Hauttemperatur einer schlafenden Person entspricht, ist gleich dem zu bestimmenden Verlust an trockener Wärme (s. Bild 1).

In der Praxis wird die Messung wie folgt durchgeführt: Die Puppe wird auf eine  $0,08 \text{ m}$  dicke Polyäthematratze gelegt, und zwar innerhalb einer genau bestimmten Umgebung und bei konstanter Temperatur. Sodann wird die Puppe mit der Steppdecke zugedeckt (Bild 2). Nach einigen Stunden, wenn sich der Wärmeverlust der Puppe stabilisiert hat, wird gemessen. Jetzt kann der Punkt A in Bild 1 festgestellt werden.

Die Heizung in der Puppe ist so ausgelegt, daß die „Körper“-Temperatur bei

\* Evaporieren = eindampfen



Bild 2: Die Lage der Steppdecke auf der Puppe während des Meßvorgangs

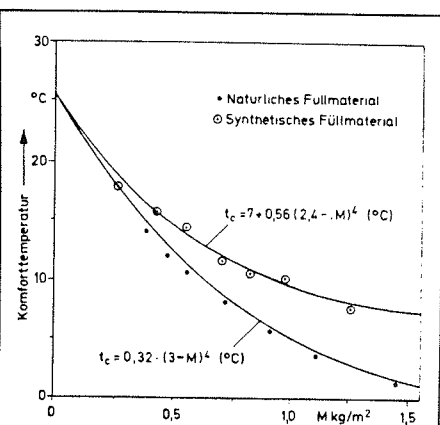


Bild 3: Darstellung der Beziehungen zwischen Füllgewicht und Komforttemperatur, festgestellt mit Hilfe einer beheizten Puppe, die mit einer oder mehreren Steppdecken bedeckt war, jeweils gefüllt mit einem spezifischen natürlichen und einem spezifischen synthetischen Material

gebungstemperatur von 36,5 °C gibt die Puppe keine Wärme ab (Punkt B). Wenn man durch die Punkte A und B eine gerade Linie zieht, so schneidet diese Linie die Kurve des Wärmeverlustes einer schlafenden Person bei Punkt C. Die Ordinate zu C ist die Raumtemperatur, die eine normale Person beim Schlafen unter dieser speziellen Steppdecke vorziehen wird.

Wie aus Bild 2 ersichtlich ist, befindet sich unter dem Kopf der Puppe kein Kissen. Auch ist die Puppe mit keinem Schlafanzug bekleidet. Dies wurde so eingerichtet, um bei der Bestimmung der Werte eine bestimmte Sicherheitsmarge einzubauen. Damit wurde der Tatsache Rechnung getragen, daß es in einer bestimmten Situation leichter ist, die Wärmedämmwirkung einer Steppdecke z.B. durch Heraushängen eines Armes zu reduzieren, als die Isolation zu erhöhen. Steppdecken, die nach dieser Methode ausgesucht werden, sind in jedem Fall leichter als die traditionell in vielen Ländern verwandten Decken.

Bild 3 veranschaulicht die ermittelte Komforttemperatur von zwei typischen Steppdeckenkonstruktionen in Abhängigkeit vom Flächengewicht des Füllmaterials (in kg/m²). Die beiden Kurven stellen eine vereinfachte mathematische Relation dar. Um das hohe Flächengewicht zu erreichen, werden zwei oder drei Steppdecken übereinander aufgelegt. Wie man sieht, verringert der so geschaffene Luftraum die Komforttemperatur. Der gleiche Effekt läßt sich erzielen, wenn die Steppdecke in einen Bettbezug gesteckt wird. Die ermittelten Werte können daher als ausreichend für eine einfache Bewertung der zu erwartenden Komforttemperatur bei einem bestimmten Flächengewicht angesehen werden.

### Kennzeichnung von Steppdecken

Der Verwender, der Hersteller und der Verkäufer dürften von einer Kennzeichnung der Steppdecken zweifellos profitieren. Hierfür zu verwendende Etiketten sollten nicht nur das Material sowie Reinigungs- und Pflegevorschriften berücksichtigen, sondern auch den Behaglichkeitsgrad angeben, nämlich inwieweit die betreffende Steppdecke ihre Hauptfunktion, den Wärmekomfort während des Schlafes innerhalb der Wärmeverhältnisse, die der Verbraucher in seinem Schlafzimmer voraussichtlich vorfindet, aufrechtzuerhalten, erfüllt.

Eine solche Kennzeichnung sollte die folgenden beiden wichtigen Informationen enthalten:

- Einen Komfortindex, aus dem hervorgeht, welchen Grad an Komfort die betreffende Steppdecke beim täglichen Gebrauch bietet.
- Eine Komforttemperatur und einen Temperaturbereich, der anzeigt, innerhalb welcher Grenzen die Mehrzahl der Verbraucher (z.B. 90%) voraussichtlich den erwünschten Schlafkomfort erreicht, wenn die Steppdecke in üblicher Weise verwendet wird.

#### Komfortindex

Die Erhaltung der bereits genannten Wärmebilanz ist eine notwendige, aber nicht immer ausreichende Voraussetzung für komfortable Schlafverhältnisse. Es wäre z.B. möglich, die Wärmebilanz auch mit Hilfe einer Mineralwollauflage von ausreichender Dicke aufrecht zu erhalten, aber hierbei dürfte sich kaum das Gefühl eines angenehmen Wärmekomforts einstellen.

Dieses Komfortgefühl hängt in erster Linie von folgenden Eigenschaften ab:

- dem Gewicht der Steppdecke,
- dem „Warenfall“ der Steppdecke, d.h.

ihrer Fähigkeit, sich in geeigneter Weise über die schlafende Person legen zu lassen, und von

- der Eignung der Steppdecke zur Aufrechterhaltung eines gleichmäßigen Isoliereffekts über den ganzen Körper der schlafenden Person hinweg.

Das Gewicht der Steppdecke sollte hinsichtlich ihrer Wärmedämmeigenschaften bewertet werden. Je leichter eine Steppdecke bezogen auf die bedeckte Fläche ist und je höher ihre Wärmedämmwirkung, um so komfortabler wird sie sich im Gebrauch erweisen.

In der Praxis bedeutet dies, daß das von einer bestimmten Steppdecke erzeugte Komfortgefühl sich umgekehrt proportional zu ihrem Gewichtsvolumen und ihrem  $\lambda$ -Wert verhält.

Die beiden anderen erwähnten Eigenschaften beziehen sich auf die Konstruktion der Steppdecke und auf die Art des Füllmaterials, nämlich ob es sich um ein natürliches oder synthetisches Material handelt. Den Einfluß der Konstruktion ermittelt man durch einen Vergleich der Komforttemperaturen, die sich ergeben, wenn man eine Anzahl von Steppdecken mit gleicher Füllung, gleichem Gewicht und gleicher Größe, aber verschiedenen Konstruktionen unter Verwendung einer beheizten Puppe untersucht. Die beste Konstruktion ist diejenige, die bei der Puppe den geringsten Wärmeverlust verursacht.

Den Einfluß des Füllmaterials kann man durch Versuche mit verschiedenen Füllungen bei sonst gleichbleibenden Bedingungen feststellen.

Zahlreiche Messungen, die mit Hilfe einer beheizten Puppe durchgeführt wurden, haben ergeben, daß die Konstruktion der Steppdecke einen signifikanten Einfluß auf die Wärmedämmfähigkeit ausübt, die sich bei einem bestimmten Gewicht ergibt. Weiterhin wurden unterschiedliche Wärmedämmeigenschaften bei natürlichen und synthetischen Füllmaterialien unter sonst gleichen Versuchsbedingungen festgestellt. Es wird daher die Einführung eines Faktors vorgeschlagen, der diese Unterschiede ausgleicht. Wir wollen ihn den Hüllfaktor ( $k_{\text{Hülle}}$ ) nennen. Er ist dimensionslos und sollte nur dazu verwendet werden, verschiedene Konstruktionen und Füllmaterialarten bezüglich ihrer gegenseitigen Relation festzulegen. Eine Zusammenstellung der  $k_{\text{Hülle}}$ -Werte enthält Tafel 4.

Das Volumengewicht des Füllmaterials in einer Steppdecke ergibt sich aus dem Füllvermögen dieses Materials und aus der Größe des Maß-

**Tafel 1: Gemessene und festgestellte Komforttemperatur für eine Serie von Steppdecken in V-förmiger Stegkonstruktion und mit gleicher Füllung: DK 118**

M kg/m <sup>2</sup>	Gemes- sene Tempe- ratur $t$ °C	$t_{c_{nat}}$ in °C ermittelt nach Formel I	Gemessene und berech- nete Tempe- ratur $t$ $t_{c_{gem}} - t_{c_{erm}} \Delta t$
0,185	19,4	19,6	-0,2
0,278	16,8	16,9	-0,1
0,370	14,7	14,6	+0,1
0,463	11,9	12,5	-0,6
0,555	10,3	10,7	-0,4
0,741	7,4	7,6	-0,2
0,926	5,4	5,2	+0,2
1,111	3,6	3,4	+0,2
1,481	1,3	1,3	0

Anmerkung:  $\rho = 4,45 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$ .  
 $k_{Hülle} = 1,1$ , woraus sich der CQCI-Wert ergibt:

$$6,4 \left( \frac{^\circ\text{K} \cdot \text{m}^4}{\text{kg} \cdot \text{W}} \right)$$

**Tafel 2: Gemessene und festgestellte Komforttemperatur für eine Serie von Stegsteppdecken mit gleicher synthetischer Füllung: P3 „Superloft“**

M kg/m <sup>2</sup>	Gemes- sene Tempe- ratur $t$ in °C	$t_{c_{synth}}$ in °C ermittelt nach Formel II	Gemessene und berech- nete Tempe- ratur $t$ zu $t_{c_{synth}}$ $\Delta t$
0,28	17,5	17,8	-0,3
0,42	15,0	15,0	0
0,56	14,4	12,8	+1,6
0,70	11,5	11,0	+0,5
0,84	10,5	9,7	+0,8
0,98	9,7	8,8	+0,9
1,26	7,4	7,6	-0,2

Anmerkung:  $\rho = 5,0 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda = 0,049 \text{ W/mK}$ .  
 $k_{Hülle} = 1,0$ , woraus sich der CQCI-Wert ergibt:

$$4,1 \left( \frac{^\circ\text{K} \cdot \text{m}^4}{\text{kg} \cdot \text{W}} \right)$$

**Tafel 3: Festgelegte Meßwerte für verschiedene synthetische Füllungen (nach Mitteilung der Technischen Universität von Dänemark)**

Füllung	$\lambda$ (W/mK)	$\frac{\rho F_p}{\text{kg/m}^3}$
P3 Standard	ICI	5,5
P3 „Superloft“		
Dacron Hollofill		
Dacron 88		
	DuPont	5,7
		3,8

**Tafel 4:  $k_{Hülle}$ , ermittelt auf Basis gemessener Werte von  $t_c$ ,  $\rho$  und  $\lambda$**

Konstruktion	$k_{Hülle}$
Steppdecke mit V-förmigen Stegen (natürl. Füllung)	1,1
Steg-Steppdecke (synth./natürl. Füllung)	1,0
Karo-Steppdecke (natürl. Füllung)	1,0
Durchgesteppte Decke, Doppelkonstruktion	1,0
Steppdecke mit leicht schrägen Stegen (synth. Füllung)	1,0
Durchgesteppte Decke (synth. Füllung)	0,8
Sackartige Steppdecke ohne Stege	0,8

dem das Füllvermögen festgestellt wird (vgl. Bild 4).

Nun sind die Parameter bekannt, die in ihrer Gesamtheit die Komforteigenschaften einer Steppdecke bestimmen. Der benötigte Komfortindex CQCI (Continental Quilt Comfort Index) errechnet sich wie folgt:

$$\text{CQCI} = \frac{\text{Hüllfaktor}}{\text{Volumengewicht} \cdot \text{Leitfähigkeit}} = \frac{k_{Hülle}}{\rho \cdot \lambda} = \frac{k_{Hülle} \cdot h}{303 \cdot \lambda} = \left[ \frac{^\circ\text{K} \cdot \text{m}^4}{\text{kg} \cdot \text{W}} \right]$$

Wenn der Hüllfaktor für die verschiedenen Steppdeckenkonstruktionen durch Messungen an der heizbaren Puppe festgestellt worden ist, kann der Komfortindex CQCI in Zukunft allein aufgrund der Informationen über die Eigenschaften des Füllmaterials ermittelt werden.

In der britischen Industrienorm BSI für Steppdecken (BS 5335: 1976) wird ein absoluter Analogwert angegeben. Er

wird als Verhältnis von Wärme zu Gewicht (WTWR) bezeichnet und errechnet sich wie folgt:

$$\text{WTWR} = \frac{\text{Wärme (Hüllfähigkeit)} \cdot \text{Länge (cm)} \cdot \text{Breite (cm)}}{\text{Masse (g)}} \left( \frac{^\circ\text{K} \cdot \text{m}^4}{\text{kg} \cdot \text{W}} \right)$$

Dieses Verhältnis (WTWR) ist in der gleichen Industrienorm enthalten wie der Komfortwert CQCI und hängt entsprechend von der Wärmedämmfähigkeit der Steppdecke ab. Es gibt jedoch zwei Gründe, die es ratsam erscheinen lassen, den CQCI-Wert vorzuziehen:

- Der CQCI-Wert einer bestimmten Konstruktion kann allein aufgrund der Informationen über die Eigenschaften des Füllmaterials ermittelt werden.
- Die britische Methode für die Festlegung des Hüllfähigkeitswertes berücksichtigt nicht die Möglichkeit, die Steppdecke um den Körper drapieren zu können. Diese Eigenschaft ist jedoch im Hüllfaktor enthalten.

Ermittlung der Komforttemperatur

dergegebenen Verlaufskurven und aufgrund von Informationen über den CQCI-Wert kann die zu erwartende optimale Komforttemperatur einer bestimmten Steppdecke festgestellt werden. Die beiden Kurven gelten für mit jeweils natürlichem bzw. synthetischem Material gefüllte Steppdecken einer bestimmten Konstruktion. Wenn wir jedoch annehmen, daß eine Steppdecke gleicher Konstruktion ein Füllmaterial enthält, das die zweifache thermische Leitfähigkeit oder das zweifache Volumengewicht hat, muß man davon ausgehen, daß in beiden Fällen das doppelte Füllgewicht erforderlich sein wird, um die gleiche Komforttemperatur zu erhalten. Auf der Basis der Verlaufskurven in Bild 3 ergibt sich die folgende mathematische Formel zur Ermittlung der Komforttemperatur ( $t_c$ ):

$$t_c = k_1 + k_2 (k_3 - \text{CQCI} \cdot M)^4 (^\circ\text{C})$$

$k_1$ ,  $k_2$  und  $k_3$  können ermittelt werden, wenn  $\rho$  und  $\lambda$  bekannt sind und  $k_{Hülle}$  festliegt.

Die Tafeln 1 und 2 enthalten die Werte für Steppdecken mit natürlichem bzw. synthetischem Füllmaterial. Aufgrund dieser Daten wurden die beiden Konstantensätze in der vorstehenden Formel für die beiden Füllungstypen errechnet. Die Basis für die Ermittlung von  $k_{Hülle}$  beruhte auf dem Wert 1,0 für eine normale Stegsteppdecke.

$$t_{c_{nat}} = 2,45 \cdot 10^{-4} (18 - \text{CQCI} \cdot M)^4 (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$t_{c_{synth}} = 7 + 2,85 \cdot 10^{-3} (9 - \text{CQCI} \cdot M)^4 (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Ein möglicher Grund für die größere Abweichung der gemessenen und ermit-

telten Temperaturen bei der mit synthetischem Material gefüllten Steppdecke könnte sein, daß das Volumengewicht bei Steppdecken mit hohem Flächengewicht größer ist. Eine einfache Messung der Dicke einer Steppdecke, die man auf eine ebene Fläche legt, zeigt, daß kein Zusammenhang zwischen Flächengewicht und Dicke besteht.

Die Tafel 3 erlaubt einen Vergleich zwischen festgelegten Meßwerten für eine Reihe synthetischer Füllstoffe.

In Tafel 4 schließlich findet man die Werte, die für  $k_{Hülle}$  für andere bekannte Steppdeckenkonstruktionen festgelegt worden sind.  $k_{Hülle}$  wird ermittelt durch Einsetzen der gemessenen Komforttemperaturen gemäß den Formeln (1) und (2).

