

Bauphysik

Autor(en): **Sagelsdorff, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **94 (1976)**

Heft 15: **SIA-Heft, 2/1976: Flachdächer**

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73081>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Bauphysik

Von R. Sagelsdorff, Dübendorf

DK 69.024.3

Allgemeines

Das Flachdach muss in seinem gesamten Aufbau als ein Ganzes betrachtet werden. Für diesen Bauteil ergeben sich Anforderungen aus verschiedenen Bereichen (Bild 1). In jedem Bereich können die Aufgaben bestimmt und Kriterien für die Wahl oder Beurteilung eines Dachtyps aufgestellt werden. In der Tabelle 1 sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, solche Kriterien zusammengestellt. Zwei Beispiele dienen zur Erläuterung:

Im Bereich «Statik» ist ein mögliches Kriterium die Durchbiegung der Flachdachkonstruktion. Diejenige Konstruktion ist z. B. «besser», welche bei gleicher Belastung geringere Verformungen aufweist. Für Stahl- und Holzkonstruktionen sind in den Normen SIA 161 und 164 zulässige Höchstwerte angegeben. Besonders zu beachten sind die Durchbiegungen von leichten Profilblechdächern mit kleinem Gefälle, wo u. U. bei Schnee und Regen das Wasser wegen der Durchbiegung nicht abfließt und das Dach zusätzlich belastet, was wiederum die Durchbiegung vergrößert.

Im Bereich «Kosten» ist die Wirtschaftlichkeit ein Kriterium. Ein einfacher Vergleich von Mehrkosten für eine zusätzliche Wärmedämmung und dadurch erzielte Heizkosteneinsparung je m² Bauteil ist wohl leicht möglich. Für eine echtere, umfassendere Beurteilung – z. B. auch bei Sanierungen von bestehenden Bauten – ist aber sicher die wirtschaftliche Wärmedämmung im Rahmen des Gesamtgebäudes zu bestimmen.

Die Bauphysik liefert eine ganze Reihe von Beurteilungskriterien. In den Empfehlungen SIA 271 für Flachdächer sind

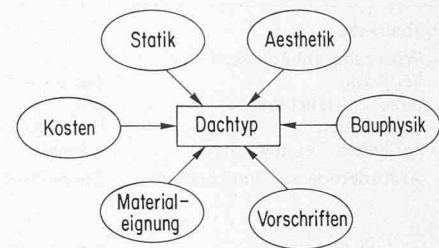


Bild 1. Bereiche für die Beurteilung einer Dachkonstruktion

dazu nach Möglichkeit Angaben für Berechnungen und zulässige Grenzwerte aufgenommen.

Einheiten

In der Empfehlung SIA 271 werden die neuen SI-Einheiten (Système Internationale) verwendet. In Tabelle 2 sind die darin vorkommenden Grössen mit den neuen und alten Einheiten zusammengestellt. Zudem ist der Umrechnungsfaktor vom alten in das neue System angegeben. Zwei Beispiele dienen wiederum zur Erläuterung:

k-Wert:

Angabe im alten System 0,75 kcal/h m² °C
 Umrechnung ins neue System 0,75 · 1,163 = 0,87 W/m² K

Dampfdurchlasswiderstand $\frac{d}{\lambda_D} = \frac{1}{\Lambda_D}$

Tabelle 1. Kriterien für die Wahl oder Beurteilung eines Dachtyps

Bereich	Beurteilungskriterien	besonders zu beachten
Statik	Durchbiegungen Verformungen infolge Temperaturunterschiede Tragfähigkeiten dynamisches Verhalten (Wind, Erdbeben)	bei leichten Dächern (Entwässerung) Fugen bei vorfabrizierten Dachplatten Hochbaulager für Dachdecken Mitwirkung des Flachdaches am Tragsystem des Gebäudes Zusammendrücken der Wärmedämmplatten unter Nutzlast hohe Gebäude gefährdeter grosse Windsogkräfte möglich, besonders am Dachrand
Ästhetik	Nutzbarkeit der Dachfläche Sicht aus Nachbargebäuden und aus dem Gelände auf Dachflächen	
Bauphysik	Wasserdichtigkeit raumseitige Oberflächentemperatur für Behaglichkeit (Winter, Sommer) Kondensation an raumseitiger Oberfläche Diffusion: – Kondensation im Dachinnern – Austrocknung – Hinterlüftung bei Kaldächern Luftdurchlässigkeit Wärmeverluste (Heizenergie) Schallschutz	Anschlüsse, Verletzbarkeit der Dachhaut Eindringen der Sonnenenergie im Sommer, Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung durch Trägheit (leichtere Dächer ungünstiger) Raumluftfeuchtigkeit, Wärmebrücken vermeiden bei dampfdichterer Dachhaut entsprechende Dampfsperre Speicherfähigkeit der Wärmedämmung für Kondenswasser Angriff der Dachhaut durch Kondenswasser Korrosion durch Kondenswasser untere Schale bei leichten Kaldächern, Anschlüsse
gesetzliche Vorschriften	Bauordnungen der Gemeinden kantonale Gebäudeversicherungen	leichte Dächer (Lärmquelle innen oder aussen) Terrassen über bewohnten Räumen
Materialeignung	Einbauwert } übernommen von Gebrauchswert } B. Wick Schadenwert } «Materialwahl»	Brandschutz, Hagel, Sturm Schutz bei Einbau vor Witterung Beanspruchung und Schutz im fertigen Bauwerk Risiko von Bauschäden und Möglichkeiten der Behebung
Kosten	Baukosten Unterhaltskosten (Schadenbehebung) Gesamtkosten (Wirtschaftlichkeit)	Planungszeit, Bauzeit wirtschaftliche Wärmedämmung im Rahmen des Gesamtgebäudes

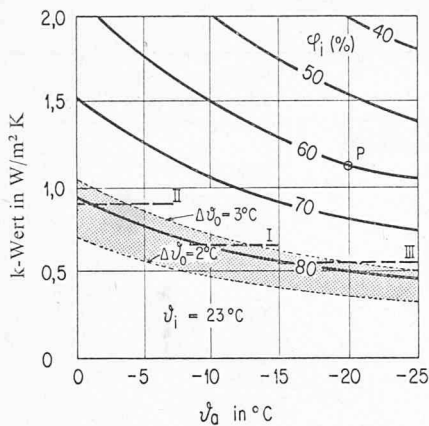


Bild 4. Maximale k -Werte

Ausgezogene Linie: k -Werte, die für die angegebene Raumlufffeuchtigkeit φ gerade keine Oberflächenkondensation ergeben (Annahme $\alpha_i = 6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Beispiel Punkt P: bei Aussenlufttemperatur -20°C und Raumluffbedingungen $23^\circ \text{C}/60\%$ genügt ein k -Wert von $1,14 \text{ W/m}^2$ zur Verhinderung einer Oberflächenkondensation.

Gerasterte Fläche: max. k -Wert-Bereich für einen behaglichen Zustand (Annahme $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, Oberflächentemperatur $2 \div 3^\circ \text{C}$ unter Raumlufftemperatur).

Gestrichelte Linie: max. k -Werte gemäss Empfehlung SIA 271 für schwere Dächer

I: schweiz. Mittelland

II: Alpensüdseite, Wallis bis $H = 800 \text{ m ü. M.}$

III: Alpengebiete und II über 800 m ü. M.

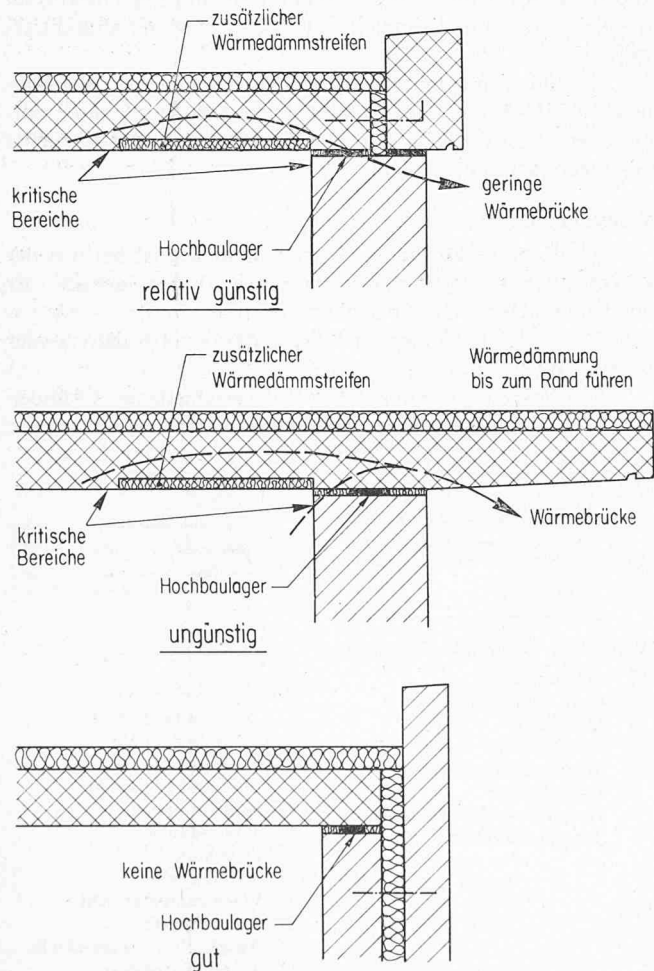


Bild 5. Wärmedämmung am Flachdachrand

Bauphysik, welche einige Beurteilungskriterien liefert. Die in der Tabelle 1 aufgeführten Kriterien: Kondensation an Oberfläche, Behaglichkeit und Trägheit werden im folgenden näher betrachtet.

Kondensation

In Bild 4 sind die maximalen k -Werte für Kondensationsfreiheit in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur dargestellt. Parameter ist die relative Luftfeuchtigkeit φ_i der Raumluff ($\vartheta_i = 23^\circ \text{C}$, $\alpha_i = 6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Die Kondensationsfreiheit ist für normale Verhältnisse keine schwere Bedingung. Bei -20°C Aussenlufttemperatur und 60% relativer Raumlufffeuchtigkeit genügt dazu schon ein k -Wert von $1,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ($0,98 \text{ kcal/h m}^2$). Dies gilt für die ebene Dachfläche. Kritisch sind hingegen die Wärmebrücken an den Dachrändern, wo oft Kompromisse notwendig werden. Dort bestehen dann kältere Stellen, wo sich auch ohne Kondensation der Staub der Raumluff vermehrt ablagert und dunklere Stellen bildet. Beispiele dazu sind in Bild 5 dargestellt.

Für eine Bemessung der Wärmedämmung muss die massgebende Aussenlufttemperatur ϑ_{min} eingesetzt werden. Sie ist in der Empfehlung SIA 180, Wärmeschutz im Hochbau, als das 5-Tages-Mittel definiert, welches das kälteste Tagesmittel einschliesst, und diese Werte sind für die Stationen der MZA in einer Tabelle aufgeführt. Sie entsprechen auch etwa den 3-Tagesmitteln, die statistisch 1mal in 20 Jahren unterschritten werden. In der neuen Empfehlung SIA 271 für Flachdächer wurde als Vorschlag nun eine Karte aufgenommen, welche die Schweiz in 3 Klimazonen einteilt mit Angabe der Winterbemessungstemperaturen. Für die Berggebiete sind sie in Abhängigkeit der Höhe über Meer zu berechnen. Bild 6 gibt den Vergleich zwischen den Werten gemäss Tabelle in der Empfehlung SIA 180 und den nach dem neuen Vorschlag berechneten Werten für die Alpensüdseite (Zone II: Tessin, Wallis).

Behaglichkeit

In Bild 4 ist ebenfalls ein maximaler k -Wert-Bereich für einen Behaglichkeitszustand eingetragen. Dafür darf der Temperaturunterschied zwischen Raumluff und Oberfläche nicht grösser sein als 2 bis 3°C [1].

Es zeigt sich, dass diese Bedingung strenger ist als diejenige der Kondensationsfreiheit. Allerdings sind hier mildere Wintertemperaturen massgebend. Wegen der meistens vorhandenen Trägheit der Konstruktion kommen hier nicht die Tagesextrem-, sondern die Tagesmittelwerte in Frage. Dabei kann sicher dem Bewohner statistisch gesehen ein unbehaglicher Tag im Jahr zugemutet werden. Dieses Tagesmittel liegt um einige Grade höher als die vorhin aufgeführte Winterbemessungstemperatur; für Bern z.B. -11°C anstelle von -15°C .

Ein k -Wert von $0,65 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ($0,56 \text{ kcal/h m}^2$) liegt dafür gut im behaglichen Bereich.

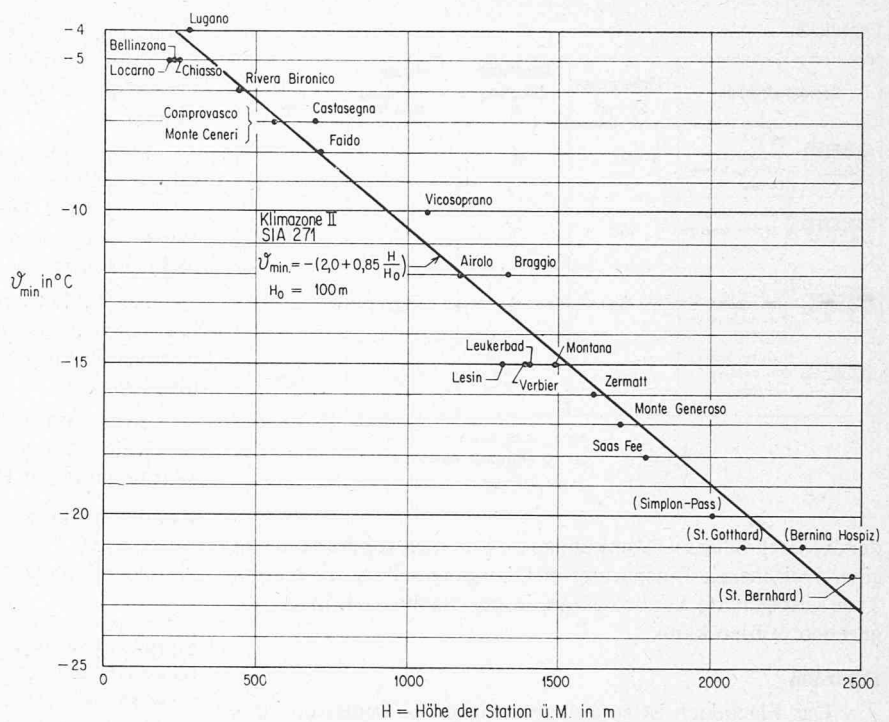
In der Empfehlung SIA 271 für Flachdächer wird aufgrund der vorangehenden Überlegungen ein maximaler k -Wert vorgeschrieben. Diese Werte sind für schwere, träge Konstruktionen in Bild 4 eingetragen. Bei leichteren Dächern muss die fehlende Trägheit durch eine bessere Wärmedämmung kompensiert werden, so z.B. für das schweizerische Mittelland (Zone I):

		max. k -Wert in	
		$\text{W/m}^2 \text{ K}$	kcal/h m^2
Schwere Dächer	$> 300 \text{ kg/m}^2$	0,65	0,56
Mittlere Dächer	100 bis 300 kg/m^2	0,50	0,43
Leichte Dächer	$< 100 \text{ kg/m}^2$	0,40	0,34

Es muss an dieser Stelle deutlich darauf hingewiesen werden, dass dies obere Grenzwerte sind und heute aus zwei Gründen niedrigere k -Werte in Frage kommen:

Bild 6. Winterbemessungstemperaturen δ_{\min} für Alpensüdseite. Eingetragene Punkte: Werte gemäss Empfehlung SIA 180 «Wärmeschutz im Hochbau»

δ_{\min} : Tiefste Aussentemperatur für Baukonstruktions-Berechnungen gemäss SIA 180



- aus wirtschaftlichen Gründen (Mehrkosten für zusätzliche Wärmedämmung werden wettgemacht durch Einsparungen an Heizenergie)
- aus energiepolitischen Gründen (Umweltschutz, Schonung der unersetzbaren Energiequellen, Auslandsabhängigkeit).

Es kann aber nicht Aufgabe einer technischen SIA-Empfehlung über Flachdächer sein, solche Probleme, die zudem das Gebäude als Ganzes betreffen, zu lösen.

Trägheit

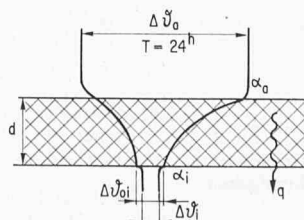
Ein Flachdach hat die Eigenschaft, die an der äusseren Oberfläche auftretenden veränderlichen Einflüsse, besonders Lufttemperaturschwankungen und Sonneneinstrahlung, in ihrer Grösse vermindert und zeitlich verzögert ins Rauminnere abzugeben. Als Kenngrössen wurden dafür die Begriffe Amplitudendämpfung ν und Phasenverschiebung η definiert. In Bild 7 sind die beiden üblichen Definitionen dargestellt. In der 1. Definition, die auch in der Empfehlung SIA 180, Wärmeschutz im Hochbau, übernommen wurde, gehen auch die Wärmeübergangsverhältnisse mit ein, während für die 2. Definition die Raumlufttemperatur der Oberflächentemperatur folgt (d.h. die Wärmestromdichte an der inneren Oberfläche $q_{oi} = 0$).

Amplitudendämpfungen gemäss der 1. Definition werden üblicherweise mit etwas undurchsichtigen Näherungsformeln [2] berechnet. Die Werte gemäss der 2. Definition können genau z.B. mit komplexen Zahlen berechnet werden [3]. In Bild 7 ist eine träge wärmespeichernde Schicht (Beton) mit einer Wärmedämmschicht (Polystyrol-Hartschaum) verglichen. Je nach Berechnung ergeben sich beträchtliche Unterschiede für die Amplitudendämpfung.

Kennwerte für verschiedene mehrschichtige Dachkonstruktionen, berechnet nach [3], sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Die dafür benutzten Materialkennwerte finden sich in Tabelle 4.

Heute begnügt man sich aber oft nicht mehr damit, die Bauteile für sich allein zu betrachten, sondern man untersucht das instationäre Verhalten des ganzen Raumes oder sogar des ganzen Gebäudes. Für solche umfassende Arbeiten, welche Wand- und Dachkonstruktionen, Fenster, Innenbauteile, Heizsystem, Lüftungsverhältnisse und Aussenklima mit Sonneneinstrahlung berücksichtigen, eignen sich besonders Rechenprogramme, vgl. z.B. [4].

Die Vorteile eines Wärmespeichervermögens liegen in unserem Klima nicht nur in einer Dämpfung und Verzögerung

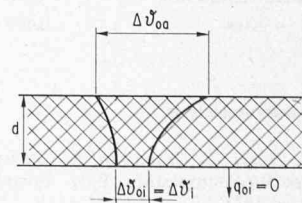


1. Definition gemäss SIA 180:

$$\text{Amplitudendämpfung } \nu = \frac{\Delta \vartheta_o}{\Delta \vartheta_{oi}}$$

Näherungslösung z.B. nach F. Eichler mit:
 $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\alpha_o = 12 \text{ W/m}^2\text{K}$

Beton	$d = 15 \text{ cm}$	$\nu_1 = 4,6$	$\eta_1 = 4,0 \text{ h}$
Wärmedämmung (PS-Hartschaum)	$d = 6 \text{ cm}$	$\nu_1 = 12,8$	$\eta_1 = 1,7 \text{ h}$



2. Definition

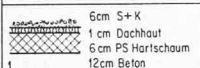
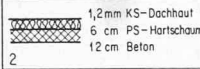


$$\text{Amplitudendämpfung } \nu = \frac{\Delta \vartheta_{oa}}{\Delta \vartheta_{oi}}$$

Genau Lösung z.B. durch komplexe Darstellung der Temperaturschwingungen:

Beton	$d = 15 \text{ cm}$	$\nu_2 = 1,4$	$\eta_2 = 4,0 \text{ h}$
Wärmedämmung (PS-Hartschaum)	$d = 6 \text{ cm}$	$\nu_2 = 1,0$	$\eta_2 = 1,7 \text{ h}$

Bild 7. Instationäre Kennwerte für eine einschichtige Konstruktion

Tabelle 3.

Dachkonstruktion	Flächenmasse kg / m ²	Amplituden- dämpfung ν	Phasen- verschiebung η in h	k-Wert in W/m ² K
 1	385	46	9,7	0,47
 2	290	36	7,1	0,50
 3	130	2,5	7,6	0,43
 4	35	3,2	7,1	0,29

$$\nu = \frac{\Delta \vartheta_0}{\Delta \vartheta_{01}}$$

mit $\alpha_0 = 12 \text{ W/m}^2\text{K}$
und für konstanten Wärmestrom
an der Innenhaut

der äusseren Klimaschwankungen im Sommer, sondern auch in einer Heizenergie-Einsparung in Übergangszeiten, wo die am Tage gespeicherte Sonnenwärme in der Nacht nach innen abgegeben werden kann.

Diffusion

Das Flachdach ist so aufzubauen und zu bemessen, dass infolge der Wasserdampfdiffusion keine Nachteile entstehen. Solche Nachteile sind:

- in einer Winterperiode übermässige Kondensation von Wasserdampf in der Wärmedämmung, welche bei zu hohem Wassergehalt ihre Wärmedämmwirkung einbüsst
- Angriff der Dachhaut von unten her durch Kondenswasser
- erschwerte Austrocknung von allenfalls vorhandener Baufeuchtigkeit [6]
- Anreicherung von Kondenswasser im Inneren über die Jahre, wenn die im Winter kondensierte Wassermenge im Sommer nicht mehr austrocknet.

Die normalen nichtbelüfteten Warmdächer sind hier von Natur aus gefährdet, da die auf der kalten Seite der Wärme-

dämmung liegende Dachhaut auch dem Durchgang von Wasserdampf einen Widerstand entgegengesetzt. Es wird deshalb eine Dampfsperre auf der warmen Seite der Wärmedämmung notwendig.

Die Empfehlung SIA 271 gibt in einem Anhang das Verfahren nach Glaser [5] wieder für die Untersuchung der Diffusionsvorgänge. Damit kann die im Winter kondensierende Wassermenge und die im Sommer austrocknende Menge berechnet werden.

Am Ende einer Kondensationsperiode darf der Wassergehalt einen in der Empfehlung für die verschiedenen Wärmedämmstoffe angegebenen Maximalwert in Volumen % nicht überschreiten.

Kondensations- und Austrocknungszeit werden primär durch das Klima bestimmt. Die in der Empfehlung SIA 180, Wärmeschutz im Hochbau, angegebenen Bedingungen:

Kondensation 60 Tage $\vartheta_a = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varphi_a = 80\%$
 $\vartheta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $\varphi_i = 50\%$
 Austrocknung 90 Tage $\vartheta_a = \vartheta_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\varphi_a = \varphi_i = 70\%$

können etwa für normale Innenraum- und schweizerische Mittelendverhältnisse angenommen werden. Für andere Verhältnisse müssen sie jeweils aufgrund der Klimaangaben und der Konstruktion bestimmt werden. Es besteht dazu auch ein Rechenprogramm an der EMPA, Abteilung Bauphysik, mit dem das effektive Klima unter Zugrundelegung der 5-Tages-Mittelwerte für die Jahre 1931 bis 1970 von 17 ausgewählten Stationen berücksichtigt werden kann.

Bei allen reinen Diffusionsrechnungen muss aber beachtet werden, dass vor allem zwei Einflüsse nicht enthalten sind:

- die Möglichkeit des kapillaren Feuchtigkeitstransportes
- die Wirkung der instationären Sonneneinstrahlung.

Die Erfahrung hat aber doch gezeigt, dass die reinen Diffusionsrechnungen auf der sicheren Seite liegen und somit eine gute Grundlage für die Wahl eines richtigen Dachaufbaus darstellen.

Tabelle 4. Kennwerte der Materialien der Flachdächer in Tabelle 3

Material	Rohdichte P kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit λ		spezifische Wärmekapazität c in	
		in W/m K	in kcal/h m °C	kJ/kg K	kcal/kg °C
Stahl	7800	58	50	0,42	0,10
Beton	2400	1,63	1,40	0,92	0,22
Holzfasерplatte hart	900	0,17	0,15	2,10	0,50
Steinwollplatten	200	0,041	0,035	0,84	0,20
PS-Hartschaum	40	0,035	0,030	1,47	0,35
Dachhaut Bitumen	1000	0,19	0,16	1,68	0,40
Dachhaut Kunststoff	1350	0,17	0,15	1,01	0,24
Sand + Kies	1400	1,16	1,00	0,92	0,22

Literaturverzeichnis

- [1] S. Huser, E. Grandjean, M. Suchantke: Physiologische Grundlagen des Wohnungsbaues. Eidg. Forschungskommission Wohnungsbau, Bern 1971.
- [2] F. Eichler: Bauphysikalische Entwurfslehre, I. Band. Verlag R. Müller, Köln 1973.
- [3] W. Heindl: Der Wärmeschutz einer ebenen Wand bei periodischen Wärmebelastungen. «Die Ziegelindustrie» 1966, Heft 18.
- [4] F. Haferland, W. Heindl und H. Fuchs: Ein Verfahren zur Ermittlung des wärmetechnischen Verhaltens ganzer Gebäude unter periodisch wechselnder Wärmeeinwirkung. «Berichte aus der Bauforschung», Heft 99. Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1975.
- [5] H. Glaser: Graphisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. «Kältetechnik» 11 (1959).

- [6] R. Jenisch und W. Schüle: Austrocknung nichtbelüfteter Flachdächer. «Berichte aus der Bauforschung», Heft 102. Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin 1975.

Adresse des Verfassers: R. Sagelsdorff, dipl. Ing. ETH, Abteilungsleiter, EMPA, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.

In diesem Heft befinden sich die Rubriken «Umschau», «Wettbewerbe», «Ankündigungen» und «Öffentliche Vorträge» auf den grünen Seiten.

Herausgegeben von der Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
 Redaktion: K. Meyer, M. Künzler, B. Odermatt; Zürich-Giesshübel, Staffelstr. 12,
 Telefon 01 / 36 55 36, Postcheck 80-6110

Briefpostadresse: Schweizerische Bauzeitung, Postfach 630, 8021 Zürich