

Belüftungsquerschnitte und Windrichtung bei zweischaligen, flachen Kaltdächern

Autor(en): **Bangerter, Heinz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 43

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74887>

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.

Belüftungsquerschnitte und Winddichtung bei zweischaligen, flachen Kaldächern

Von Heinz Bangerter, Zürich

Im Rahmen der laufenden Revision der Empfehlung SIA 271 «Flachdächer» ist vorgesehen, auch einige Aussagen zur Konstruktion von durchlüfteten Kaldächern zu machen; die heutige E271 legt einzig – und ohne nähere Begründung – die zu wählenden Belüftungsquerschnitte fest. Der nachfolgende Artikel befasst sich mit dieser wichtigen Frage sowie mit der Frage der Winddichtung aus bauphysikalischer und applikatorischer Sicht etwas eingehender. Anregungen und Kritik der Leserschaft werden im Hinblick auf eine fundierte Reglementierung dieses bedeutungsvollen Dachsystems gerne entgegengenommen.

Verständigung

Ein *durchlüftetes Kalddach* besteht grundsätzlich aus *drei Funktionsebenen*:

- der unteren, raumabschliessenden, wärmedämmenden und winddichten Dachschale,
- der statisch auf Wind-, Nutz- und Schneelast bemessenen, oberen Dachschale als Witterungsschutz und
- einer dazwischenliegenden, bauphysikalisch bemessenen Belüftungsebene mit entsprechend dimensionierten Zuluft- und Abluftöffnungen an den Dachrändern.

Die Belüftungsebene hat die Aufgabe, die durch die untere Dachschale durchdiffundierende Feuchtigkeit der warmen Raumluft mittels natürlicher Konvektion an die Aussenluft abzuleiten.

Derartige Dachsysteme werden häufig bei *Holzkonstruktionen* oder bei *Stahlprofil-Dächern*, also bei ausgesprochenen *Leichtbau-Dächern*, angetroffen. Denkbar sind auch entsprechend vorgefabrizierte Dachelemente, wobei hier allerdings der Abdichtung, der Wärmedämmung und der Winddichtung im Fugenbereich ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist.

Während die Abdichtung der oberen Dachschale grundsätzlich mit denselben Materialien und nach denselben Kriterien erfolgt wie beim konventionellen Warmdach – selbstverständlich jedoch ohne Wärmedämmung unter

der Abdichtung – und an dieser Stelle nicht weiter erörtert wird, ergeben sich für die untere und mittlere Funktionsebene ein paar spezifische Probleme.

Das durchlüftete Kalddach ist in seiner reinsten, d. h. auf die wesentlichen Funktionen reduzierten Form in Bild 1 dargestellt. Es wird also nachfolgend nur der *ungünstigere Fall eines quasi-flachen Daches ohne Firstentlüftung* untersucht, wo die obere Dachschale mit fugenloser Abdichtung als wasserdampfundurchlässig angesehen werden muss.

Geneigte Pultdächer oder Satteldächer mit Firstentlüftung weisen demgegenüber dank thermischem Auftrieb im Belüftungsquerschnitt günstigere Entlüftungsverhältnisse auf.

Anforderungen an die Wärmedämmung

Infolge der Leichtbauweise des Daches sollte ein maximaler k -Wert der unteren Dachschale von $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschritten werden; unter Vernachlässigung der Wärmeübergangswiderstände und allfälliger Deckenverkleidungen ist deshalb ein Durchlasswiderstand d/λ der Wärmedämmung von min. $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ vorzusehen. Zur Minimierung der Kostensumme aus Wärmedämmkosten und den von der Dämmstärke abhängigen Heizenergiekosten je Quadratmeter Dachfläche über die

festgelegte Nutzungsdauer des Daches kann unter Umständen ein wesentlich grösserer Durchlasswiderstand resultieren.

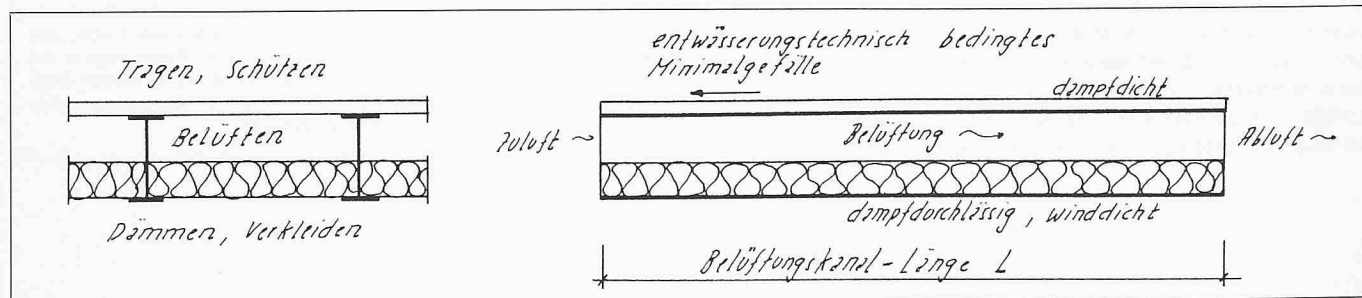
Aus brandschutztechnischen Gründen ist dabei im allgemeinen eine unbrennbare Mineralfaserdämmung mit $\sim 0,04 \text{ W/mK}$ – und mit zwangsläufig sehr geringem Diffusionswiderstand – vorzusehen. Aus dieser Forderung ergibt sich eine minimale Dämmstärke von 10 cm , die ohne dampfbremsende Kaschierung einen Diffusionswiderstand $\mu \cdot d$ von bloss etwa $0,1 \text{ m}$ aufweist.

Anforderungen an die Belüftungsebene

Bei praktisch horizontalen Dächern, deren obere Schalen fugenlos und diffusionsdicht abgedeckt sind, muss die durch die untere Dachschale diffundierende, feucht-warme Raumluft horizontal und ohne thermischen Auftrieb abgeführt werden. Für diesen Fall legt die heute gültige E271 fest, dass die Zuluft- bzw. die Abluftöffnungen an den Dachrändern – damit selbstverständlich auch die Belüftungsgrösse im Dachquerschnitt – mindestens je einem Dreihundertstel der Dachfläche zu entsprechen hätten. Bei dieser Forderung wird jedoch keinerlei Bezug genommen auf das vorherrschende Raum- und Aussenklima sowie auf den Diffusionswiderstand und die Winddichtigkeit der unteren Dachschale. Um den Geltungsbereich dieser Belüftungsquerschnitte näher abzugrenzen, müssen nun verschiedene *Berechnungsannahmen* getroffen werden:

- Die *Winddichtigkeit* sei in einer ersten Betrachtung gegeben.
- Als *Bemessungsklima* gelten die Winterbedingungen nach Empfehlung SIA 180: Wohnraum $+20^\circ\text{C}/50\%$ relative Feuchtigkeit, Belüftungsquerschnitt $-10^\circ\text{C}/80\%$ relative Feuchtigkeit.
- Die *minimale Windgeschwindigkeit* im Belüftungsquerschnitt betrage nach [1] $0,01 \text{ m/s}$ («praktische Windstille»).

Bild 1. Schnitte durch ein durchlüftetes Kalddach. Links: Querschnitt, rechts: Längsschnitt

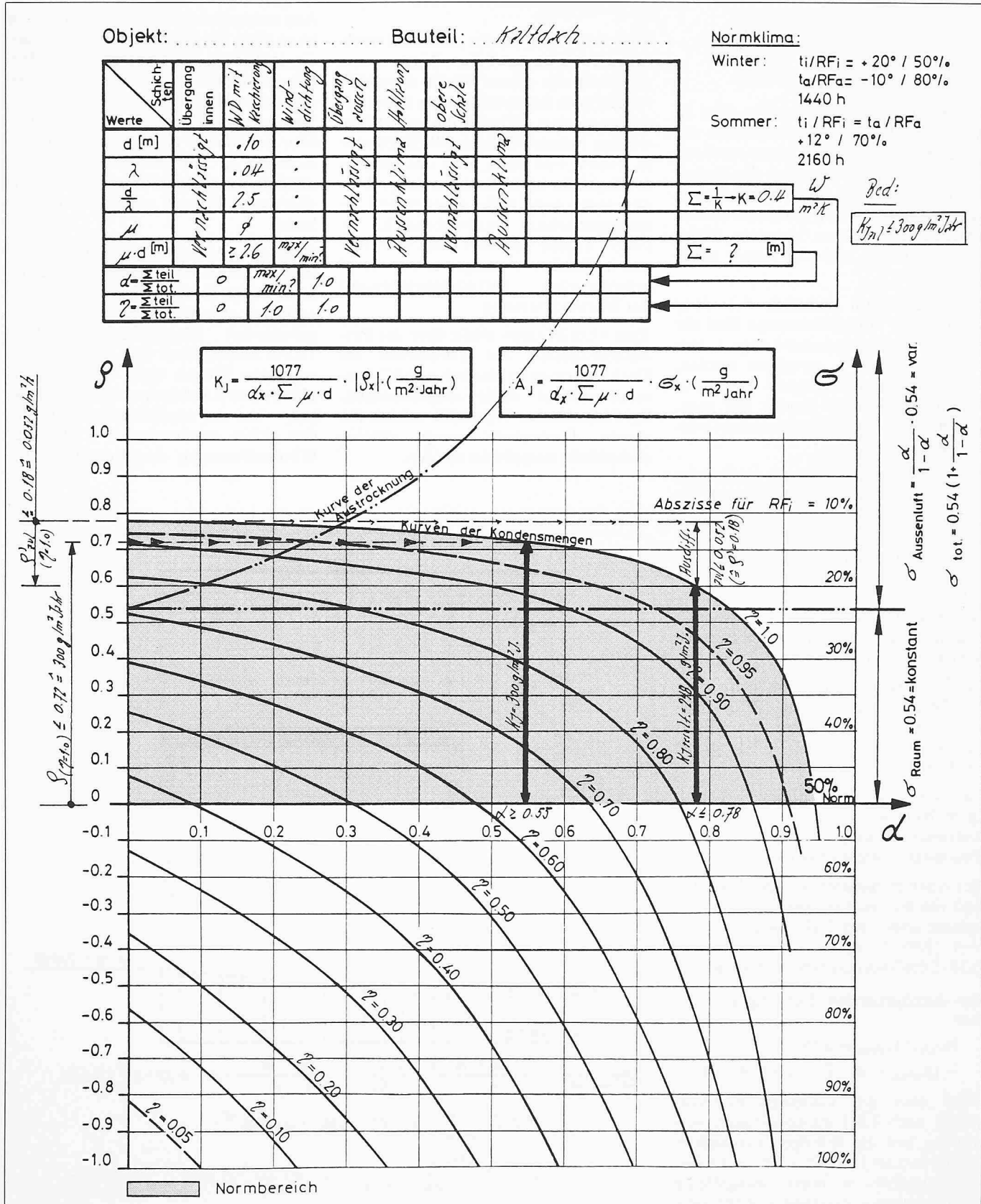


steht bei ungeschickter Materialwahl die Gefahr einer unzulässigen Kondensationsanreicherung in der Wärmedämmung und eine möglicherweise verhinderte Austrocknung (über den Belüftungsquerschnitt) im Sommer. Ein bescheidenes Mass an Kondensat – analog jeder konventionellen Warmdach- oder

Fassadenkonstruktion – kann jedoch ohne weiteres in Kauf genommen werden. Zur Festlegung der Anwendungsgrenzen werden die folgenden Berechnungsannahmen getroffen:
 a) SIA-Normklima
 Winter +20/50%; -10 °C/80% 1440 h
 Sommer +12/70%; +12 °C/70% 2160 h

b) Windgeschwindigkeit im Belüftungsquerschnitt 0,01 m/s
 c) 10 cm Mineralfaser-Wärmedämmung mit minimaler, warmseitiger Papierkaschierung $\mu \cdot d < 2,6$ m (SIA 381/1)
 d) Zulässige Kondensationsmenge 300

Bild 3. Normdiagramm zur Berechnung von Kondensation und Austrocknung nach Empfehlung SIA 180 sowie Fälle mit $RF_i \neq 50\%$



g/m² Jahr entsprechend 0,3 Volumenprozent = max. zul. Einbaufeuchte
 e) Vollständige Austrocknung bei «Sommerklima»
 f) Temperatur unter der Winddichtung entsprechend Aussentemperatur, Temperaturabfall innen : Winddichtung = 100%, $\eta = 1,0$.

Nach Bild 3 [2] bestimmt sich die jährliche Kondensmenge wie folgt:

$$K_J = \frac{1077}{\alpha \cdot \Sigma \mu \cdot d} \cdot \varrho$$

In unserem Fall beträgt $\alpha \cdot \Sigma \mu \cdot d = 2,6$ m entsprechend dem «Widerstand gegen Eindiffundieren» der papierkaschierten Wärmedämmung. Die Auflösung nach ϱ ergibt demnach:

$$\varrho = \frac{2,6 \cdot 300}{1077} \cong 0,72$$

Gemäss Diagramm muss also der Diffusionswiderstand gegen Eindiffundieren = $\alpha \cdot \mu \cdot d = 2,6$ m mindestens 55% von $\Sigma \cdot \mu \cdot d$ betragen, damit keine Kondensation > 300 g/m²J resultiert; d. h. die Winddichtung darf höchstens einen Wert

$$\mu \cdot d \leq 2,6 \cdot 0,55^{-1} - 2,6 \cong 2,1 \text{ m}$$

aufweisen.

Andererseits ist der Widerstand der Winddichtung auch nach unten begrenzt, damit die nach erfolgter Kondensation in den Belüftungsraum noch ausdiffundierende Feuchtigkeitsmenge abgeführt werden kann ($\mu \cdot d$ -Wärmedämmung ist ja mit den angenommenen 2,6 m wesentlich kleiner als die eingangs bestimmten 11,5 m für einen ungestörten, gerade noch abführbaren Diffusionsstrom).

Bei einem «Restfassungsvermögen» des Belüftungsraums von $(\frac{1}{300}) \cdot L \cdot 0,43$ g/m³ kann mit 36 m/h Belüftungsgeschwindigkeit offenbar ein Feuchtigkeitsanfall von 0,052 g/m²h zugelassen werden.

Es muss demnach gelten:

$$\frac{1077}{1440 \text{ h} \cdot 2,6} \cdot \varrho' = 0,052 \rightarrow \varrho' = 0,18$$

ϱ' entspricht in Bild 3 der zulässigen, ausdiffundierenden Feuchtigkeitsmenge bei Winterklima; gemäss Graphik bedeutet dies, dass ein Verhältnis $\alpha =$ Widerstand gegen Eindiffundieren zum Gesamt-Diffusionswiderstand = 0,78 nicht überschritten werden darf! Die Winddichtung muss demnach einen minimalen Widerstand $\mu \cdot d = 2,6 \cdot 0,78^{-1} - 2,6 \cong 0,75$ m aufweisen.

Wenn also eine Mineralfaserdämmung mit $\mu \cdot d = 2,6$ m zur Anwendung gelangt, so gilt für die obenliegende Winddichtung

$$0,75 \text{ m}' \leq \mu \cdot d \leq 2,1 \text{ m}$$

Es bleibt nun noch zu prüfen, ob der im Winter kondensierte Wasserdampf \leq

300 g/m² unter genormten Sommerklimabedingungen abgeführt werden kann. Dabei stellt sich die Frage, ob hierzu die maximal zulässige Abdeckung ($\mu \cdot d \leq 2,1$ m) der Wärmedämmung oder aber die minimal erforderliche Winddichtung ($\mu \cdot d \geq 0,75$ m) massgebend wird.

Für den ersten Fall ergeben sich nach Bild 3 die folgenden Austrocknungsanteile, mit $\alpha = 0,55$: raumwärts = $(1 - \alpha) \triangleq 45\%$ durch die Winddichtung = $55\% \triangleq 0,55 \cdot 300 \text{ g/m}^2 = 165 \text{ g/m}^2$

Bei minimaler Abdeckung der Wärmedämmung mit $\mu \cdot d = 0,75$ m wird die Kondensationsmenge nach Bild 3 nur unwesentlich kleiner: $1077/2,6 \cdot (\varrho = 0,60) = 248 \text{ g/m}^2$; die Austrocknungsanteile betragen aber, mit $\alpha = 0,78$: raumwärts = $(1 - 0,78) \triangleq 22\%$

durch die Winddichtung = $78\% \triangleq 0,78 \cdot 248 \text{ g/m}^2 = 193 \text{ g/m}^2$.

Der zweite Fall wird also für die Belüftungsebene massgebend, weil hier ein grösserer Austrocknungsanteil durch eine durchlässigere Winddichtung ($\mu \cdot d = 0,75$ statt 2,1 m) abgeführt werden muss.

Der eigentliche Nachweis, dass der durch die Winddichtung austrocknende Kondensationsanteil mit einer Querlüftung von 0,01 m/s bei genormten Sommerklimabedingungen mit innen=ausen = +12 °C/70% RF tatsächlich abgeführt wird, muss in zwei Schritten erfolgen:

1. Da sich der eintretende Luftstrom mit 70% RF gegen die Austrittsöffnung hin weiter mit Feuchtigkeit anreichert, ist zunächst zu fragen, welche minimale Partialdruckdifferenz ($\Delta p < p_{S12} \text{ °C} - p_{70\%, 12 \text{ °C}}$) hier noch vorherrschen muss, damit auch der letzte Quadratmeter Deckenfläche in der verfügbaren Zeit von 2160 h austrocknen kann.

Bedingung

$$\frac{\Delta p_{\text{erf}}}{0,75 \text{ m}} \cdot 0,64 \cdot 10^{-3} \text{ g/m h Pa} \cdot$$

$$\cdot 2160 \text{ h} \geq 193 \text{ g/m}^2 \rightarrow \Delta p_{\text{erf}} \geq 105 \text{ Pa}$$

Mit einem Sättigungsdruck bei 12 °C von 1403 Pa resultiert demnach eine maximal zulässige Feuchte am Ende des Belüftungsquerschnittes von $(1403 - 105)/1403 = 92,5\%$

2. Mit dem somit noch verbleibenden «Rest-Fassungsvermögen» entsprechend $(0,925 - 0,7) \cdot (g_{S12 \text{ °C}} = 10,68 \text{ g/m}^3) = 2,4 \text{ g/m}^3$ muss nun bei einem Luftstrom von 0,01 m/s bzw. 36 m/h die Feuchtigkeitsabfuhr gewährleistet werden.

Der stündliche Anfall beträgt $193 \text{ g/m}^2 \cdot 2160^{-1} \text{ h} = 0,09 \text{ g/m}^2$; es werden demnach $(0,09 \cdot L)/2,4 \text{ g/m}^3 = 0,0375 \cdot L$ Luftwechsel benötigt. Dar-

aus resultiert eine erforderliche Luftschlitzhöhe $h_{\text{erf}} \geq (0,0375 \cdot L/36) \cong 0,001 \cdot L < h_{\text{vorh}} = \frac{1}{300} \cdot L = 0,0033 L$. Die Feuchtigkeitsabfuhr bei genormten Sommerklimabedingungen ist also gegeben.

Zusammenfassung

Mit den vorstehenden Nachweisen wurde versucht, unter Annahme vorsichtiger Berechnungswerte die zulässigen «Konstruktionsgrenzen» von flachen, schuppenlos eingedeckten Kaldächern abzustecken. Das Ergebnis zeigt, dass bei einem durchgehenden Lüftungsquerschnitt mit einer Luftschlitzhöhe $h \geq \frac{1}{300}$ der Luftschlitzlänge unter den nach Empfehlung SIA 180 genormten Klimabedingungen funktionstaugliche Lösungen möglich sind, sofern:

entweder:

unter der Wärmedämmung aus Mineralfasern eine separate Winddichtung eingebaut wird, deren Diffusionswiderstand $\mu \cdot d \geq 11,5$ m beträgt;

oder:

die separate Winddichtung – was aus Gründen einer zuverlässigen Verarbeitung wünschbar ist – über der Wärmedämmung aufgebracht wird und dabei deren minimaler Diffusionswiderstand $\mu \cdot d = 0,75$ nicht unterschritten wird. Die Mineralfaser-Wärmedämmung muss dabei einen Mindest-Diffusionswiderstand $\mu \cdot d \geq 2,5$ m aufweisen und in jedem Fall mindestens soviel betragen wie der Wert der obenliegenden Winddichtung.

Grössere Sicherheiten werden grundsätzlich mit grösserer Diffusionsdichte der unteren Dachschale, mit grösseren Lüftungsquerschnitten und mit geeigneten, auch am First entlüfteten Dächern erzielt. Bei anderer Raumnutzung als dem Normklima entsprechend ist in jedem Fall ein individueller Nachweis auf der Grundlage der tatsächlichen Klimaverhältnisse im Jahreszyklus zu führen.

Literaturhinweise

- [1] Seiffert, K.: «Richtig belüftete Flachdächer ohne Feuchtluftprobleme». Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin
- [2] Bangarter, H.: «Diagramm für Diffusionsnachweise an mehrschichtigen Konstruktionen bei Normklima-Bedingungen». Verlag CRB/Bauhandbuch 82/3

Adresse des Verfassers: H. Bangarter, Ing. SIA, c/o Weder + Bangarter AG, Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau, Bauphysik, Waffenplatzstr. 63, 8002 Zürich