# Belüftungsquerschnitte und Windrichtung bei zweischaligen, flachen Kaltdächern

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

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 43

PDF erstellt am: **29.03.2024**

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Belüftungsquerschnitte und Winddichtung bei zweischaligen, flachen Kaltdächern

Von Heinz Bangerter, Zürich

**Im Rahmen der laufenden Revision der Empfehlung SIA 271 «Flachdächer» ist vorgesehen, auch einige Aussagen zur Konstruktion von durchlüfteten Kaltdächern 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 Kaltdach* 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 vorfabrizierte 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 Kaltdach 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 *quasiflachen 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 W/m²K nicht überschritten werden; unter Vernachlässigung der Wärmeübergangswiderstände und allfälliger Deckenverkleidungen ist deshalb ein Durchlasswiderstand $d/\lambda$ der Wärmedämmung von min. 2,5 m²K/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.

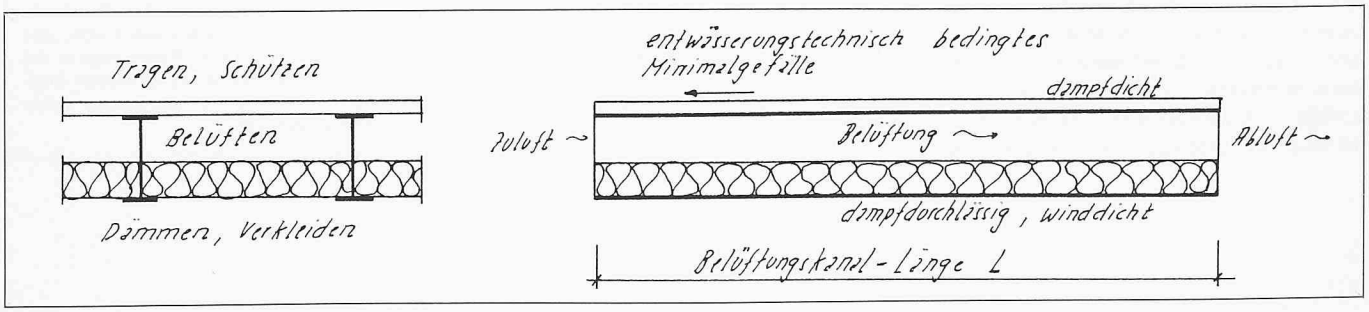
Aus brandschutztechnischen Gründen ist dabei im allgemeinen eine unbrennbare Mineralfaserdämmung mit ~0,04 W/mK - und mit zwangsläufig sehr geringem Diffusionswiderstand - vorzusehen. Aus dieser Forderung ergibt sich eine minimale Dämmstärke von 10 cm, die ohne dampfbremsende Kaschierung einen Diffusionswiderstand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

a) Die *Winddichtigkeit* sei in einer ersten Betrachtung gegeben.
b) Als *Bemessungsklima* gelten die Winterbedingungen nach Empfehlung SIA 180: Wohnraum +20 °C/50% relative Feuchtigkeit, Belüftungsquerschnitt −10 °C/80% relative Feuchtigkeit.
c) Die *minimale Windgeschwindigkeit* im Belüftungsquerschnitt betrage nach [1] 0,01 m/s («praktische Windstille»).

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



d) Der *Diffusionswiderstand* der unteren Dachschale entspreche in einer ersten Betrachtung dem Wert $\mu \cdot d = 0{,}1$ entsprechend 10 cm Mineralfaser ohne dampfbremsende Kaschierung.

Im Bereich der Eintrittsöffnung am Dachrand stellt sich demnach zwischen Wohnraum und Belüftungsebene folgender *Diffusionsstrom* ein:

$$\frac{0{,}5 \cdot 2338 \text{ Pa} - 0{,}8 \cdot 260 \text{ Pa}}{\mu \cdot d \sim 0{,}1 \text{ m}} \cdot$$

$$\cdot\ 0{,}64 \text{ mg/h Pa} = 6{,}15 \text{ g/m}^2\text{h}$$

Im Bereich der *Austrittsöffnungen* ist der Partialdruck der «Aussenluft» unbedeutend grösser (entsprechend ~100% RF statt 80%, da sich die Zugluft im Hohlraum bis hierhin annähernd gesättigt haben wird), so dass an diesem Dachende ein etwas kleinerer Diffusionsstrom von etwa 5,8 g/m²h resultiert.

Im Mittel kann demnach mit einer stündlichen Diffusionsmenge über die gesamte Belüftungskanal-Länge L von etwa 6,0 g/m²h·L gerechnet werden, womit der durchziehende Luftstrom von 80% RF beim Eintritt auf max. ~100% beim Austritt angereichert werden kann.

Theoretisch erhöht sich die Luftstromfeuchte allerdings entsprechend einer degressiv-zunehmenden *e*-Funktion; wird aber zur Vereinfachung der Rechnung der minimal erforderliche Diffusionswiderstand der unteren Dachschale anhand einer linearen Feuchtigkeitszunahme des Luftstroms bemessen, so liegt man dadurch mit kleiner Reserve auf der sicheren Seite.

Das «Rest-Fassungsvermögen» an Feuchtigkeit der in den Belüftungshohlraum einströmenden Aussenluft beträgt $(1\text{–}0{,}8) \cdot (g_{s\text{–}10\,°C} = 2{,}14 \text{ g/m}^3) \sim 0{,}43 \text{ g/m}^3$.

Es sind somit stündlich $6{,}0 \cdot L \text{ (g/m}^3\text{ h)} \cdot 0{,}43^{-1} \text{ (g/m}^3) = 13{,}95 \cdot L \cdot h^{-1}$ Luftwechsel nötig, um die anfallende Feuchtigkeit abzuführen.

Bei einer minimalen Luftgeschwindigkeit von 0,01 m/s entsprechend 36 m/h müsste somit ein Lüftungsquerschnitt von $13{,}95 \cdot L \text{ (m}^3\text{/h)} \cdot 36^{-1} \text{ (m/h)} = 0{,}38 \cdot L \text{ (m}^2\text{)}$ vorgesehen werden.

Bei durchgehenden Lüftungsschlitzen also:

$$h_{schlitz} : L_{schlitz} = 0{,}38 : 1$$

$$\rightarrow (h_{schlitz} > 1/300 \cdot L_{schlitz} = 0{,}003 \cdot L)$$

Wird also die Lüftungsschlitz-Vorschrift nach E271 als konstruktiv vernünftig und die Windgeschwindigkeit = 0,01 m/s als rechnerisch höchstzulässig angesehen, so muss zwangsläufig der Diffusionswiderstand $\mu \cdot d$ der unteren Dachschale entsprechend verstärkt werden:

$$\mu \cdot d_{erf} = 0{,}38 \cdot 0{,}0033^{-1} \cdot (\mu \cdot d_{vorh} = 0{,}1) \cong 11{,}5 \text{ m}$$

Nach SIA 381/1 «Baustoffkennwerte» könnte der geforderte Wert an sich mit einer auf die Mineralfaserdämmung aufgebrachten, PE-beschichteten Kraftpapierkaschierung erreicht werden ($\mu \cdot d \sim 13{,}5$ m).

Man kann sich hierzu allenfalls noch fragen, was zu geschehen hätte, wenn die durch die untere Schale durchdiffundierende Raumluftfeuchte selbst bei «theoretischer Windstille» abgeführt werden müsste. Offensichtlich könnte in diesem Fall dazu bloss das Partialdruckgefälle im Luftschlitz selber herangezogen werden. Bei gegebenem Lüftungsquerschnitt entsprechend h:L = (1/300):1 ergäbe sich aber nach dem Ansatz in Bild 2 ein riesengrosser, minimal erforderlicher Diffusionswiderstand der Wärmedämmung.

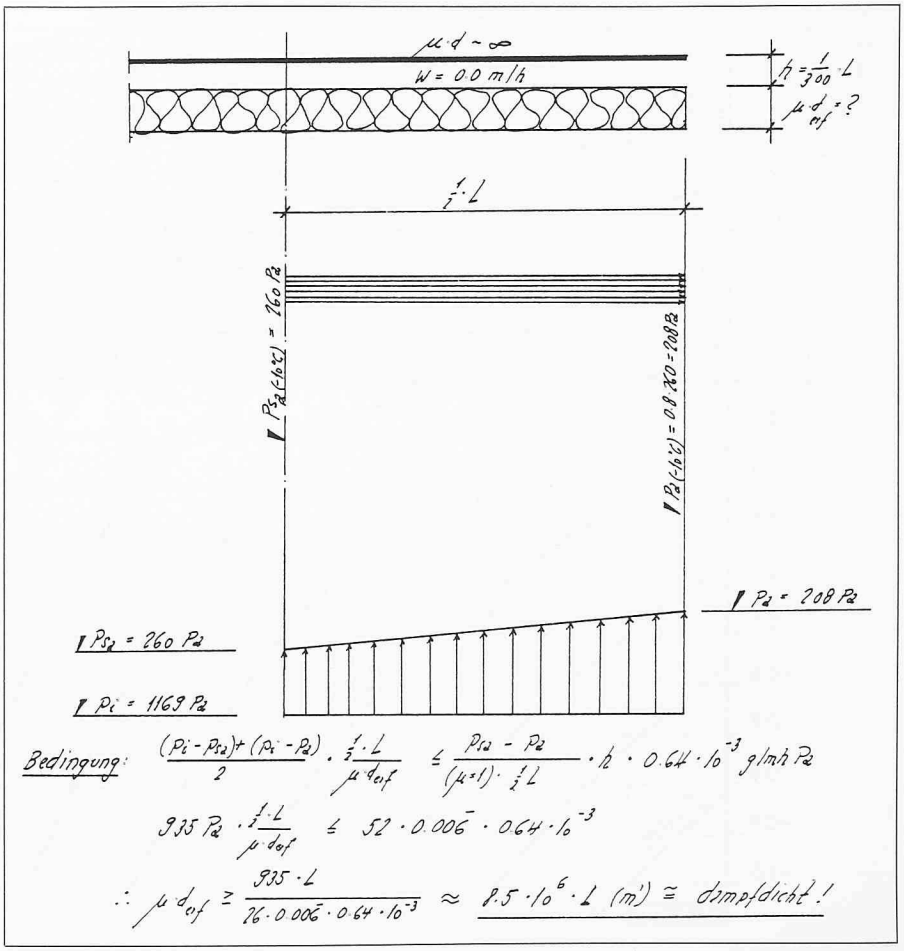
Eine «Entlüftung» allein über das Partialdruckgefälle der Luftschicht im Dachhohlraum ist also bei −10 °C Aussentemperatur völlig ausgeschlossen. Bei theoretischer Windstille müsste die untere Dachschale somit absolut dampfdicht ausgebildet werden.

## Anforderungen an die Winddichtung

Zur Verhütung von Zugserscheinungen im Wohnraum sowie zur Verhinderung von Raumwärmeverlusten und Kondensationsschäden infolge von Luftdruckunterschieden muss die untere Dachschale winddicht gegen den Belüftungshohlraum abgeschlossen werden. Aus anwendungstechnischen Gründen ist es aber, wie die Praxis beweist, überaus gefährlich, die Winddichtung allein mit der allenfalls vorhandenen Wärmedämmkaschierung erstellen zu wollen. Weit zuverlässiger scheint demgegenüber der Einbau einer *separaten* Winddichtung zu sein, wobei diese grundsätzlich unter oder über der Wärmedämmung liegend eingebaut werden kann.

Wird sie unterseitig eingebracht, was infolge der «Über-Kopf-Arbeit» weiterhin gewisse Risiken birgt, so kann sie natürlich gleichzeitig die Funktion der geforderten Dampfbremse $\mu \cdot d \geqq 11{,}5$ m übernehmen und erlaubt damit auch den Einbau einer Mineralfaserplatte ohne Kaschierung. Wird sie dagegen – was aus applikatorischen Gründen sicher erwünscht ist – über der Wärmedämmung eingebracht, so be-

*Bild 2. Diffundierende Raumluftfeuchte bei «theoretischer Windstille»*



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:

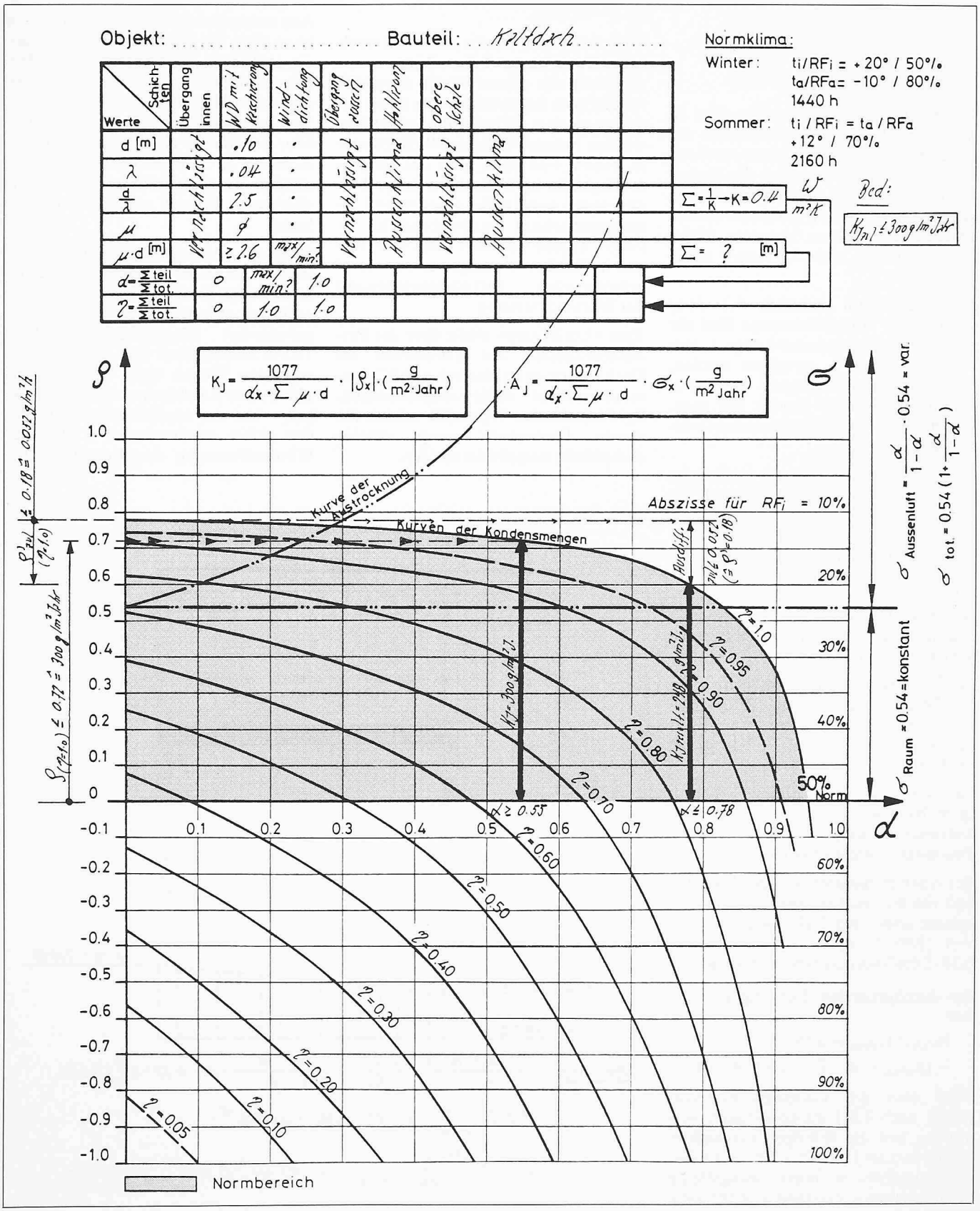
a) SIA-Normklima
Winter +20/50%; −10 °C/80% 1440 h
Sommer +12/70%; +12 °C/70% 2160 h

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 RFi ≠ 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 $\varrho$ 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

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

aufweisen.

Anderseits 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 (1/300) · L · 0,43 g/m³ kann mit 36 m/h Belüftungsgeschwindigkeit offenbar ein Feuchtigkeitsanfall von 0,052 g/m²h zugelassen werden.

Es muss demnach gelten:

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

$\varrho'$ 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

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

Es bleibt nun noch zu prüfen, ob der im Winter kondensierte Wasserdampf ≤ 300 g/m² unter genormten Sommerklimabedingungen abgeführt werden kann. Dabei stellt sich die Frage, ob hierzu die maximal zulässige Abdekkung ($\mu \cdot d \leqq 2{,}1$ m) der Wärmedämmung oder aber die minimal erforderliche Winddichtung ($\mu \cdot d \geqq 0{,}75$ 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* $= 55\% \triangleq 0{,}55 \cdot 300$ g/m² = 165 g/m²

Bei minimaler Abdeckung der Wärmedämmung mit $\mu \cdot d = 0{,}75$ m wird die Kondensationsmenge nach Bild 3 nur unwesentlich kleiner: $1077/2{,}6 \cdot (\varrho = 0{,}60) = 248$ g/m²; die Austrocknungsanteile betragen aber, mit $\alpha = 0{,}78$: raumwärts $= (1-0{,}78) \triangleq 22\%$

*durch die Winddichtung* $= 78\% \triangleq 0{,}78 \cdot 248$ g/m² = 193 g/m².

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=aussen=+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 ($\Delta_p < ps_{12\,°C} - p_{70\%,\,12\,°C}$) hier noch vorherrschen muss, damit auch der letzte Quadratmeter Deckenfläche in der verfügbaren Zeit von 2160 h austrocknen kann.

   Bedingung

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

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

   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 $(0{,}925-0{,}7) \cdot (g_{s\,12\,°C} = 10{,}68$ g/m³) = 2,4 g/m³ muss nun bei einem Luftstrom von 0,01 m/s bzw. 36 m/h die Feuchtigkeitsabfuhr gewährleistet werden.
   Der stündliche Anfall beträgt 193 g/m² · 2160⁻¹ h = 0,09 g/m²; es werden demnach $(0{,}09 \cdot L)/2{,}4$ g/m³ = $0{,}0375 \cdot L$ Luftwechsel benötigt. Daraus resultiert eine erforderliche Luftschlitzhöhe $h_{erf} \geqq (0{,}0375 \cdot L/36) \cong 0{,}001 \cdot L < h_{vorh} = 1/300 \cdot L = 0{,}0033\,L$. 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 Kaltdächern abzustecken. Das Ergebnis zeigt, dass bei einem durchgehenden Lüftungsquerschnitt mit einer Luftschlitzhöhe $h \geqq 1/300$ 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 $\mu \cdot d \geqq 11{,}5$ 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 $\mu \cdot d \geqq 2{,}5$ 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 geneigten, 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] *Bangerter, H.*: «Diagramm für Diffusionsnachweise an mehrschichtigen Konstruktionen bei Normklima-Bedingungen». Verlag CRB/Bauhandbuch 82/3

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