Eine neue Methode zur einfachen Diffusionskontrolle bei Aussenwänden

Autor(en): **Sagelsdorff, Ralph**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 37

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75522

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

Eine neue Methode zur einfachen Diffusionskontrolle bei Aussenwänden

Von Ralph Sagelsdorff, Dübendorf

Die Diffusion durch Aussenwände wird oft überbewertet; für normale Verhältnisse ergeben sich keine Probleme. In Empfehlungen und Normen (SIA 180, DIN 4108) werden Nachweise gefordert, die doch einen gewissen Aufwand erfordern und die auf unrealistischen Annahmen für das Aussenklima beruhen. Hier wird eine einfachste Methode für die Diffusionskontrolle vorgeschlagen, die auf der «sicheren» Seite liegt und die konstruktionsunabhängige Kennwerte benutzt, die ortsbezogen sind und von der relativen Raumluftfeuchte abhängen. Solche Kennwerte können leicht aufgrund der vorhandenen Klimadaten bestimmt werden. Nach dieser neuen Methode berechnet sich ohne Temperatur- oder Diffusionsdiagramme die max. kondensierende Wassermenge in der Kondensationsperiode, und es wird eine einfache Regel angegeben zur Vermeidung eines Restkondensates in der Jahresperiode.
Für den vorliegenden Vorschlag wurden provisorische Kennwerte für Zürich und Davos aufgrund der Terminwerte 1950–1970 berechnet. Für eine definitive Fassung müssten diese überprüft, für höhere Raumluftfeuchten und weitere Stationen ergänzt werden.

Verwendete Symbole und Einheiten

T	= Temperatur [°C]
p	= Dampfdruck [Pa]
g	= Wasserdampfstromdichte [mg/m² h]
G	= Wasserdampfmenge [g/m²]
d	= Dicke einer Baustoffschicht [m]
μ	= Diffusionswiderstandszahl einer Baustoffschicht
S_D	= Diffusionswiderstand, d.h. diffusionsäquivalente Luftschichtdicke [m]
n	= Anzahl Tage
m	= Verhältniszahl
φ	= relative Luftfeuchte [%]
A, B	= Koeffizienten, ortsbezogen [g/m]

Indices:
- k für Kondensationsperiode
- j für Jahresperiode (Kondensationsperiode + Austrocknungsperiode)
- i innen
- a aussen

Bedeutung der Wasserdampfdiffusion

Viele Architekten haben die Entwicklung zu vermehrten bauphysikalischen Nachweisen mit einigem Unbehagen verfolgt. Die *Bedeutung der Bauphysik* in unserer Zeit wird durchaus anerkannt [1] - auch die Verantwortung des Architekten für ein energiebewusstes Bauen. Ein solches setzt Kenntnisse und Erfahrungen in vielen Bereichen voraus, wobei Wetterschutz, Wärmedämmung, passive Sonnenenergienutzung einige der wichtigen sein dürften. Die Normen und Empfehlungen des SIA stellen dabei den «Stand der Technik» dar. Hoffen wir, dass diese sich auf *das Notwendige beschränken,* einfach anwendbar bleiben und dem Architekten einen grossen Spielraum in der Gestaltung seiner Werke gewähren. In diesem Sinne sind auch die Vorschläge für die Revision der Empfehlung SIA 180 «Wärmeschutz im Hochbau» zu beurteilen.

Hier greife ich nun ein Problem heraus, das heute meines Erachtens zu überdenken ist: *Wasserdampfdiffusion durch Aussenwände und Dächer.* Dabei geht es hauptsächlich um die Fragen der Dampfsperre und der Bilanz «Kondensation im Winter - Austrocknung im Sommer».

Es sind dazu kritische Artikel in der Fachpresse [2] erschienen, es werden eher verwirrende Methoden publiziert, und die Baubehörde von Basel-Stadt verlangt sogar einen «Diffusionsnachweis» mit der Baueingabe. *Wie wichtig* ist denn die Diffusion durch die Baustoffe?

Die Erfahrung mit vielen Bauschäden zeigt, dass die folgenden Zustände gefährlich sind:

A) Eindringen von Wasser in flüssiger Form in die Konstruktion, von wo es nur dampfförmig durch Diffusion austrocknen kann (Beispiel: Eindringen von Schlagregen durch Risse im Mauerwerk).

B) Durchtritt von feuchter warmer Raumluft durch Luftundichtigkeiten in der Konstruktion, wo an den äusseren kalten Teilen grosse Mengen von Wasser kondensieren können (Beispiel: luftdurchlässige Fugen und Anschlüsse bei leichten Schrägdächern mit Holzbalken).

C) Einschliessen von Bauteilen mit noch hoher Baufeuchtigkeit durch zu dichte Schichten (Beispiel: Anbringen einer Aussenwärmedämmung auf ein zu feuchtes Mauerwerk).

D) Kondensation infolge Diffusion in Konstruktionen, die einem dauernden gleichgerichteten Diffusionsgefälle ohne «Erholung» ausgesetzt sind, wie z.B. Aussenwände von Kühlhäusern, für klimatisierte Fabrikationsräume mit hoher relativer Feuchte, Hallenbäder, Wärmedämmung von Kühlwasserleitungen.

Solche Zustände sind durch geeignete Massnahmen zu verhindern: im Fall A durch einen Wetterschutz und die Wahl der geeigneten Baustoffe, im Fall B durch eine *Luft*sperre, im Fall C durch genügende Austrocknungszeiten und Wetterschutz im Bauzustand und im Fall D durch die Anordnung einer Dampfsperre.

Der Architekt kann diese Massnahmen planen aufgrund seiner Ausbildung und Erfahrung. Er braucht dazu keine hohen bauphysikalischen Berechnungen.

Im «normalen» Hochbau werden Dampfsperren (oder «Dampfbremsen») zudem in folgenden Fällen eingesetzt:

- *zwingend* nach Norm SIA 271 in Flachdächern,
- *sinnvoll* in hinterlüfteten Holzständer-Konstruktionen o.ä. mit dampfdurchlässigen Wärmedämmstoffen (die Dampfsperre kann dann auch gleichzeitig die wichtige Luftsperre bilden),
- *fraglich* allgemein bei Verwendung von dampfdurchlässigen Wärmedämmstoffen, wozu ein Nachweis gemäss SIA 180 geführt wird. Bei einem solchen Nachweis ist es oft schwierig, die im Winter kondensierende Wassermenge zu beurteilen, da Erfahrungen über «zulässige» Grenzwerte fehlen.

Im folgenden geht es um den bauphysikalischen Nachweis bezüglich Kondensation, hier bezeichnet als *Diffusionskontrolle.*

Bei jedweden Diffusionsrechnungen muss man sich über die Grundlagen und Annahmen bewusst sein. Die Wirklichkeit des «Feuchtigkeitstransportes in porösen Stoffen» bei gleichzeitigem Wärmedurchgang ist zu kompliziert, als dass sie «richtig» in die Praxis eingehen könnte. Es braucht viele vereinfachende Annahmen, auch für die neue Diffusionskontrolle. Diese *Annahmen* sind:

- es wird mit dem stationären Zustand gerechnet
- der kapillare Feuchtetransport wird vernachlässigt
- der Einfluss der Sonneneinstrahlung und der Abstrahlung wird vernachlässigt
- im Innern des Baustoffes wird an keiner Stelle der Dampfsättigungsdruck überschritten
- der Wasserdampfstrom g im Innern des Baustoffes folgt dem Gesetz

$$g = \frac{\text{Dampfdruckdifferenz}}{\text{Diffusionswiderstand}} \quad [\text{g/m}^2\,\text{h}]$$

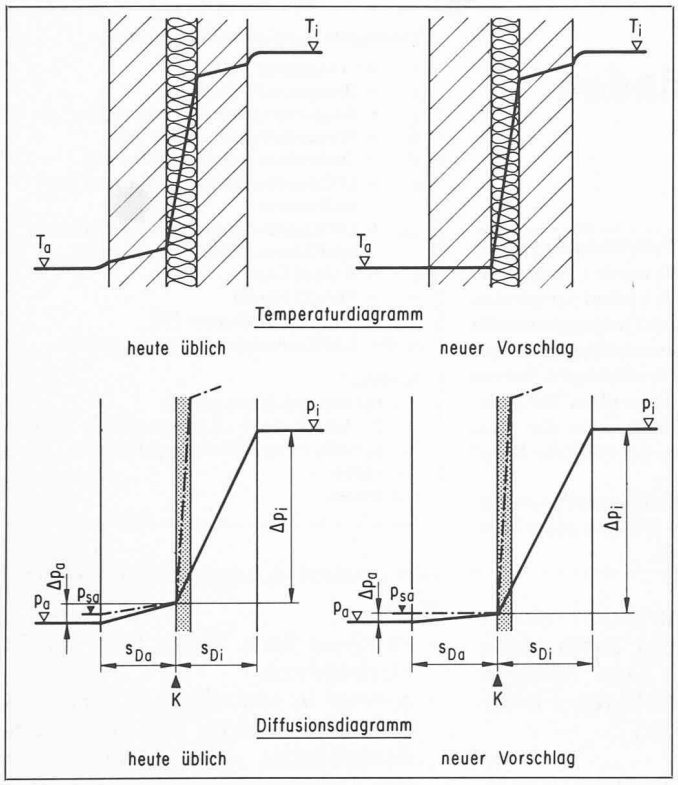


Bild 1. *Linke Seite: bisher übliche Annahmen (Δp_i und Δp_a von Konstruktion abhängig). Rechte Seite: neuer Vorschlag (Δp_i und Δp_a von Konstruktion* ***un****abhängig)*

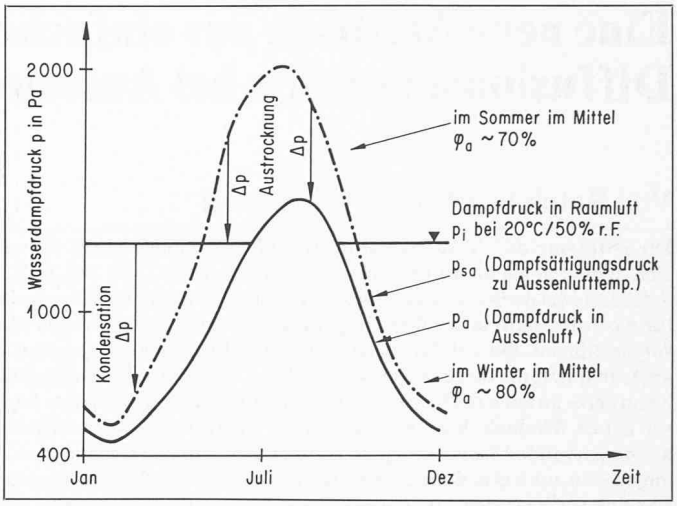
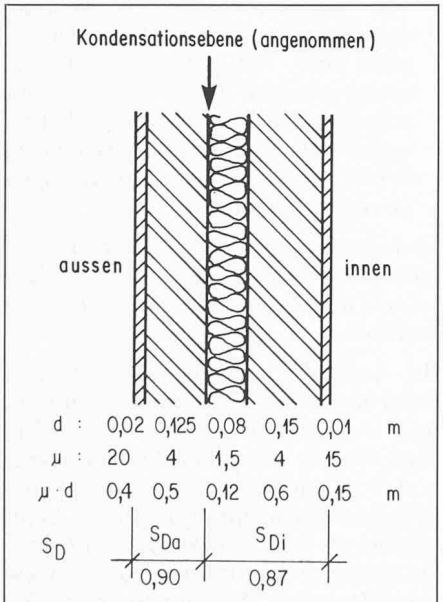


Bild 3. *Für Diffusionskontrolle angenommene Dampfdruckdifferenz $\Delta p_i = p_i - p_{sa}$*

Bild 2. *Beispiel: Verputztes Zweischalenmauerwerk mit Mineralfaser-Wärmedämmung*



Für Zürich und $\varphi_i = 50\%$ aus Tabelle 1:
$A_k = 1280$ g/m
$B_k = 510$ g/m
$m_j = 0{,}38$

Max. Kondensatmenge:

$$G_k = \frac{A_k}{S_{Di}} - \frac{B_k}{S_{Da}} =$$

$$\frac{1280}{0{,}87} - \frac{510}{0{,}9} = \underline{905\ \text{g/m}^2}$$

Nachweis Jahresbilanz:

$S_{Di} > m_j \cdot S_{Da}$

$m_j \cdot S_{Da} = 0{,}38 \cdot 0{,}9 = 0{,}34$ m

Mit $S_{Di} = 0{,}87$ ist die Bedingung erfüllt.

- die Übergangswiderstände an den Wandoberflächen werden vernachlässigt.

Diese Aufzählung allein genügt als Begründung, dass Diffusionsberechnungen nur grobe Beurteilungskriterien, Kontrollen sein können. Es ist vernünftig, wenn sie eher auf der sicheren Seite liegen. Es ist für mich die Begründung für eine weitere Vereinfachung.

Bisherige Methode

Die heute gültige Empfehlung SIA 180 definiert für den Nachweis bezüglich Kondensation/Austrocknung folgende Annahmen:

Kondensationsperiode: 60 Tage mit
$T_a = -10$ °C $\quad \varphi_a = 80\%$
$T_i = 20$ °C $\quad \varphi_i = 50\%$

Austrocknungsperiode: 90 Tage mit
$T_a = T_i = 12$ °C
$\varphi_a = \varphi_i = 70\%$

Der Nachweis wird heute üblicherweise in folgenden *Arbeitsgängen* durchgeführt:

- Bestimmung des Temperaturverlaufes durch den Wandquerschnitt für $T_a = -10$ °C, $T_i = 20$ °C (rechnerisch oder graphisch)
- Bestimmung des Dampfdrucksättigungsverlaufes, wobei die Werte aus einer Tabelle entnommen werden
- Erstellung des Diffusionsdiagrammes zur Festlegung der Kondensationszone
- Berechnung der kondensierenden Wassermenge bei diesen Bedingungen und Umrechnung auf die ganze Dauer von 60 Tagen
- Berechnung der austrocknenden Wassermenge und Erstellung der Bilanz.

Ein Temperaturverlauf und Diffusionsdiagramm sind in Bild 1, jeweils auf der linken Seite, als typisches Beispiel aufgeführt.

Neuer Vorschlag

Beim neuen Vorschlag müssen *keine Diagramme* mehr gezeichnet werden, hingegen muss die Lage der Kondensationsebene oder -zone angenommen werden (dies ist praktisch immer leicht zu beurteilen: kaltseitig der Wärmedämmschicht, vgl. Abschnitt «Praktischer Vorschlag für den Diffusionsnachweis»). Die so festgelegte Kondensationsebene unterteilt den gesamten Diffusionswiderstand der Wand $S_D = \Sigma\, \mu \cdot d$ in 2 Teile: S_{Di} raumseitig und S_{Da} aussenseitig.

Aus einer Tabelle sind die Kennwerte A_k und B_k für den Klimaort und die gewählte Raumluftfeuchte zu entnehmen (Beispiel: für Zürich und Davos siehe Tabelle 1). Die maximal am Ende einer Kondensationsperiode durch Diffusion kondensierende Wassermenge berechnet sich einfach zu:

$$G_k = \frac{A_k}{S_{Di}} - \frac{B_k}{S_{Da}} \ [\text{g/m}^2]$$

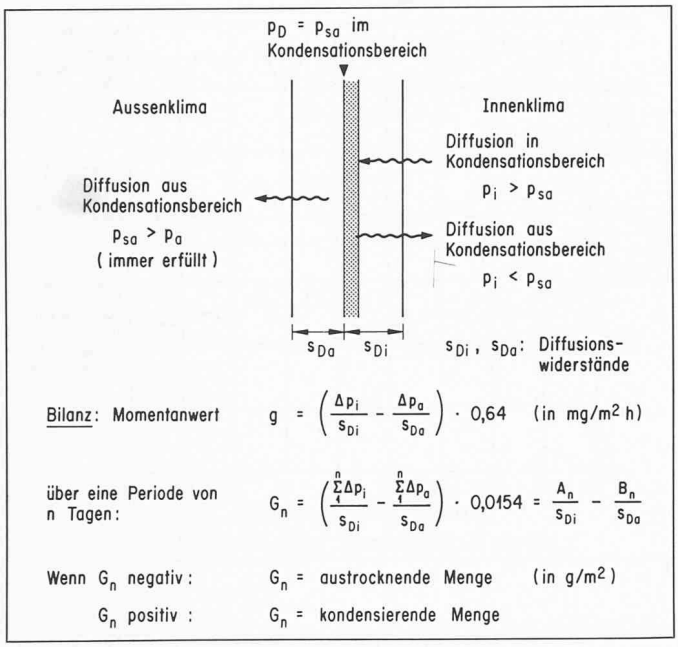


Bild 4. Bestimmung der Bilanz für den Kondensationsbereich

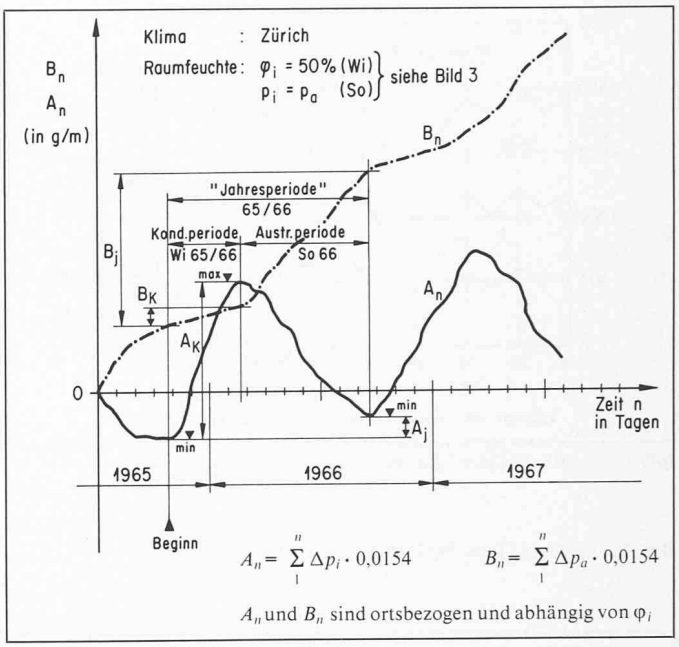


Bild 5. Typischer Verlauf der aufsummierten Dampfdruckdifferenzen

Die Tabelle enthält weiter pro Ort und Raumluftfeuchte zwei Verhältniszahlen *m*. Diese können benutzt werden zum Nachweis, dass über eine Periode kein Restkondensat verbleibt:

für Kondensationsperiode:

$S_{Di} > m_k \cdot S_{Da}$

für Jahresperiode:

$S_{Di} > m_j \cdot S_{Da}$

Ein Berechnungsbeispiel für verputztes Zweischalenmauerwerk mit Mineralfaser-Wärmedämmung ist in Bild 2 dargestellt.

Tabelle 1. Provisorische Kennwerte aufgrund der Terminwerte 1950–1970 (sind noch zu überprüfen)

Raumluft $T_i = 20$ °C φ_i (siehe Bild 3)	*Diffusionskennwerte*					
	Zürich			Davos		
	A_k [g/m]	B_k [g/m]	m_k m_j	A_k [g/m]	B_k [g/m]	m_k m_j
40%	640	190	2,94 *	1380	430	3,81 0,92
50%	1280	510	4,04 0,38	2270	700	4,30 2,16
60%	2010	620	4,67 1,14	3310	720	4,55 3,89

* in keinem Fall Restkondensat

Formeln: Kondensatmenge am Ende der Kondensationsperiode: $G_k = \frac{A_k}{S_{Di}} - \frac{B_k}{S_{Da}}$

Kein Kondensat am Ende der Kondensationsperiode, wenn $S_{Di} > m_k \cdot S_{Da}$

Kein Kondensat nach Austrocknung wenn $S_{Di} > m_j \cdot S_{Da}$

S_{Di}, S_{Da} = Diffusionswiderstände $\Sigma \mu \cdot d$ [m]; G = Wassermenge [g/m²]

Herleitung des neuen Vorschlages

Grundlage

Als Vereinfachung wird angenommen, dass die Temperatur in der Kondensationsebene der Aussenlufttemperatur entspricht. Dies ist in Bild 1 auf der rechten Seite dargestellt. Mit dieser Annahme, die auf der sicheren Seite liegt, ist Δp_i und Δp_a nur noch vom Aussenklima (T_a, φ_a) und vom Innenklima abhängig. Während das Aussenklima gegeben ist, muss das Innenklima im Jahresablauf noch definiert werden. Für die Diffusionskontrolle interessiert p_i, der Dampfdruck der Raumluft. In Bild 3 ist dieser und die Dampfdruckdifferenz $\Delta p_i = p_i - p_{s,a}$ dargestellt:

Im Winter (Kondensationsperiode) ergibt sich p_i aus φ_i bei 20 °C. Im Sommer (Austrocknungsperiode) ist die Annahme sinnvoll, dass der höhere Luftaustausch einen Ausgleich $p_i = p_a$ bewirkt. Mit den Werten p_i und p_a kann die Bilanz für den als feucht angenommenen Kondensationsbereich (zuströmende Menge minus wegströmende Menge) berechnet werden. Die Formeln sind in Bild 4 aufgeführt.

Der Faktor 0,64 in der Formel für den Momentanwert ergibt sich aus der Umrechnung des Diffusionswiderstandes S_D in (d/λ_D):

$$\frac{d}{\lambda_D} = \frac{S_D}{\lambda_{DL}} = \frac{S_D}{0{,}64}$$

(λ_{DL} bei 0 °C und 1013 mbar)

Es wäre leicht möglich, die für jeden Ort und Tag richtigen Werte in der Ausrechnung $\Sigma\Delta p$ zu berücksichtigen, z.B. $\Sigma\ \Delta p \cdot \lambda_{DL,\,eff}/0{,}64$, wobei $\lambda_{DL,\,eff} = f$ (Temperatur und Barometerdruck).

Für die Bilanz über *n* Tage enthält der Faktor 0,0154 die Anzahl Stunden pro Tag (Δp sind Tagesmittel) und die Umrechnung von *mg* auf *g*:

$$\frac{0{,}64 \cdot 24}{1000} = 0{,}0154$$

Die $\Sigma\Delta p$ sind «Pascaltage» etwa analog zu den «Heizgradtagen», wobei die Koeffizienten *A* und *B* wegen den Umrechnungen die Einheit g/m besitzen. *A* und *B* können nun für jede Jahresperiode bestimmt werden. Bild 5 zeigt einen typischen Verlauf. Die «Jahresperiode», die Kondensations- und Austrocknungsperiode umfasst, wird durch den Verlauf von *A* festgelegt. In diesem Sinne heisst Austrocknen Diffusion aus Kondensationszone nach aussen *und* innen ($p_i < p_{sa} \rightarrow A$ nimmt ab). In der Kondensationsperiode erfolgt eine Diffusion aus dem Raum zur Kondensationszone ($p_i > p_{sa} \rightarrow A$ nimmt zu). In dieser Periode muss nicht immer eine innere Kondensation auftreten: nur dann, wenn $\Delta p_a / S_{Da} < \Delta p_i / S_{Di}$.

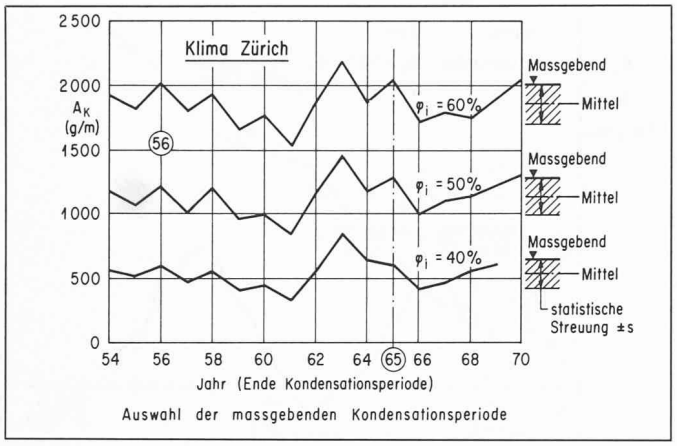


Bild 6. A_k für die Jahre 1954–1970 für das Klima Zürich

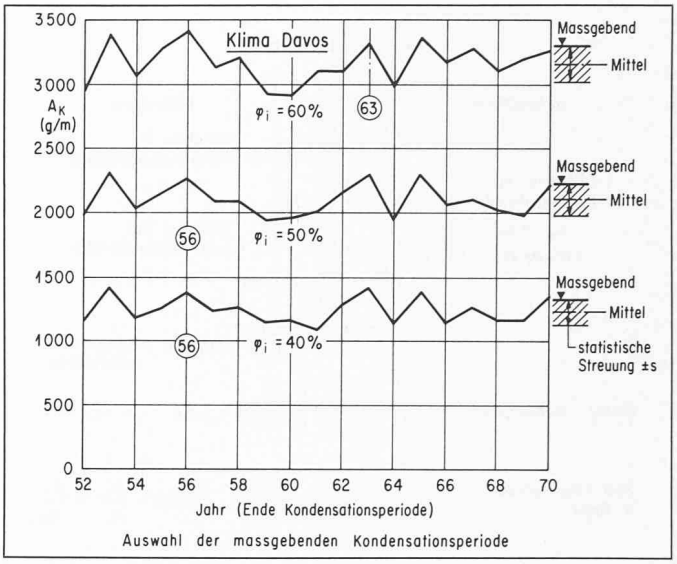


Bild 7. A_k für die Jahre 1952–1970 für das Klima Davos

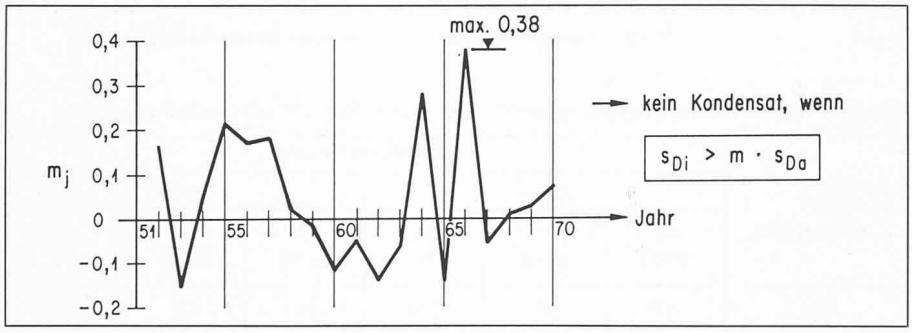


Bild 8. Verhältnis $m_j = A_j/B_j$ für die Jahre 1950–1970 für das Klima Zürich ($\varphi_i = 50\%$)

Tabelle 2. Fehler bei der abgekürzten Diffusionskontrolle für homogene Wandkonstruktionen

Wandkonstruktion	*Aussenluft* Temp. [°C]	*Raumluft* Temp. [°C]	*Raumluft* r. F. [%]	*Beurteilung*
homogene, wärmedämmende Wand *ohne* Aussenschicht	0	20	< 85	keine Kondensation
	−10	20	< 60	keine Kondensation
homogene, wärmedämmende Wand *mit* dichterer Aussenschicht	0	20	< 65	Kondensation $f^* \approx 0\%$
	−10	20	< 45	Kondensation $f \approx 0\%$
	−10	20	≈ 60	Kondensation $f \approx 7\%$
	Kond.-periode	20	50–60	Kondensation $f \approx$ einige %

* Fehler f neuer Vorschlag gegenüber heute üblicher Methode

In der Tabelle 1 sind die massgebenden Werte für Zürich und Davos aus der Periode 1950–1970 ausgewählt worden. Die Streuung der Werte, Mittelwerte sowie Auswahl der massgebenden Periode ist für Zürich in Bild 6 und für Davos in Bild 7 dargestellt.

Nachweis für «kein Restkondensat»

In einer Periode ist die Bilanz von zuströmender minus wegströmender Wassermenge ausgeglichen, wenn

$$G = \frac{A}{S_{Di}} - \frac{B}{S_{Da}} = \frac{1}{S_{Di}} \left(A - \frac{S_{Di}}{S_{Da}} \cdot B \right) \leqq 0$$

ist.

Dies ist der Fall, wenn

$$S_{Di} > \frac{A}{B} \cdot S_{Da}$$

In der Kondensationsperiode wird das Verhältnis A_k/B_k mit m_k und in der Jahresperiode A_j/B_j mit m_j bezeichnet. Diese beiden Verhältniszahlen sind ebenfalls in der Tabelle 1 aufgeführt. Es sind dies die *maximalen* Werte in der betrachteten Periode 1950–1970.

Die einzelnen Werte für Zürich und φ_i = 50% sind in Bild 8 dargestellt. Werte unter Null bedeuten, dass in diesen Jahren unabhängig vom Aufbau der Konstruktion kein Restkondensat auftritt. Der als massgebend angenommene Maximalwert kann benutzt werden, um auf einfache Weise den notwendigen Diffusionswiderstand einer Dampfsperre zu bestimmen.

Beispiel:

Klima Zürich:
$\varphi_i = 50\%$, $m_j = 0{,}38$

Flachdach mit bituminöser Dachhaut:
$(\mu \cdot d) \simeq S_{Da} = 280$ m

Für Dampfsperre gilt:
$(\mu \cdot d) \simeq S_{Di} = m_j \cdot S_{Da} = 0{,}38 \cdot 280 = 106$ m

Dieser Wert wird z.B. durch eine V 60 erfüllt.

Würde für die Konstruktion verlangt, dass auch am Ende der Kondensationsperiode kein Restkondensat aufträte, müsste die Dampfsperre einen Diffusionswiderstand von $(\mu \cdot d) \simeq S_{Di} = m_k \cdot S_{Da} = 4{,}04 \cdot 280 = 1130$ m aufweisen.

Homogene Konstruktionen

Alle bisherigen Überlegungen beruhen auf einer begrenzten, zum vornherein *gegebenen Kondensationszone.* Dies trifft für die mehrschichtigen Konstruktionen mit Wärmedämmstoffen zu. Es ist nun zu überprüfen, ob homogene Wände ebenfalls mit der neuen einfachen Methode beurteilt werden können.

In Bild 9 ist der Vorschlag für die einfache Diffusionskontrolle dargestellt.

Eine homogene, wärmedämmende Wand ohne Aussenschicht ist problemlos, da eine innere Kondensation, z.B. bei $T_a = -10$ °C, erst auftritt, wenn φ_i über 60% liegt. Die Bilanz über eine wirkliche Periode wird deshalb immer günstig ausfallen, um so mehr als solche Baustoffe normalerweise porös sind und über ein sich günstig auswirkendes Wassertransportvermögen verfügen.

Dies ist nicht mehr der Fall bei dichte-

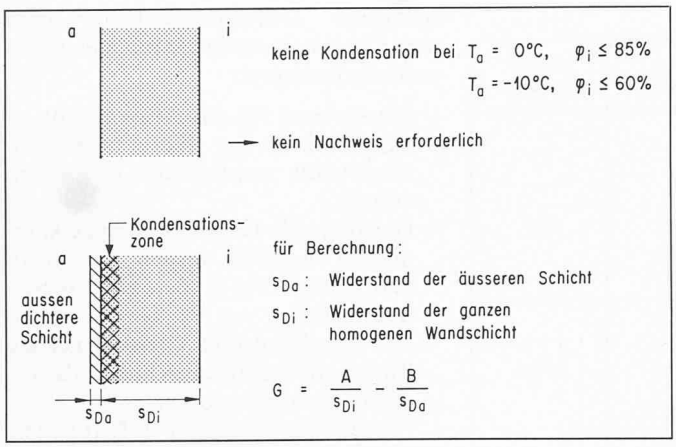


Bild 9. *Annahmen für homogene Wandkonstruktionen*

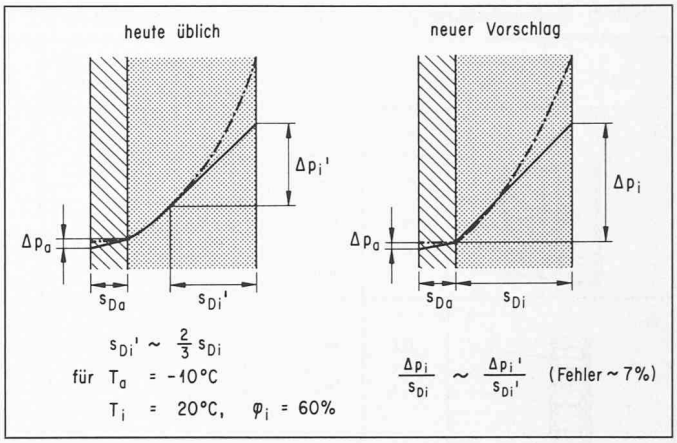


Bild 10. *Diffusionsdiagramme für homogene, wärmedämmende Wandkonstruktionen mit dichterer Aussenschicht*

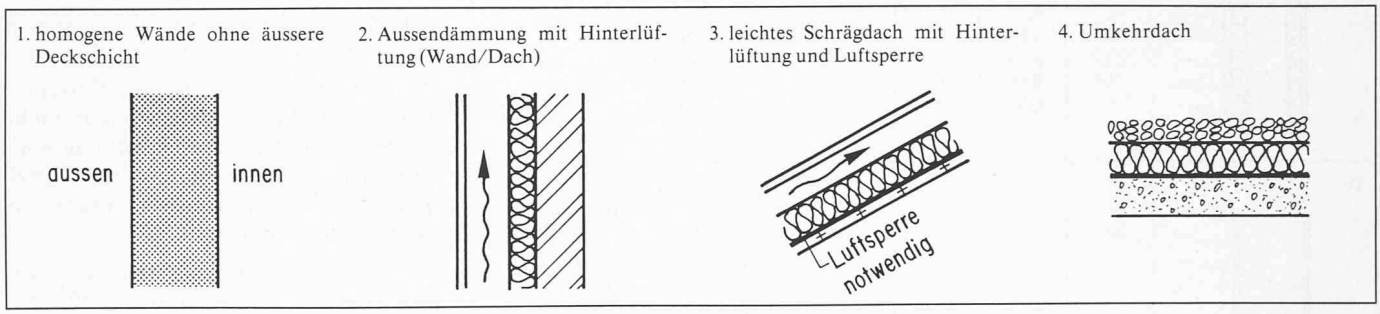


Bild 11. *Beispiele für Konstruktionen, die keine Diffusionsnachweise erfordern*

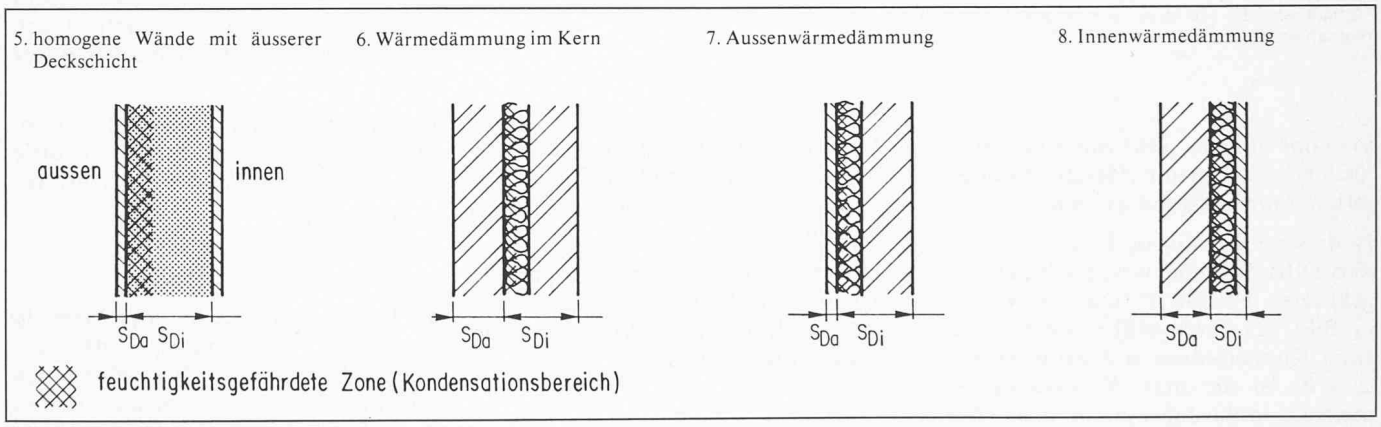


Bild 12. *Beispiele für Konstruktionen mit Diffusionsnachweis nach abgekürztem Verfahren*

ren Aussenschichten. Bild 10 zeigt, dass bei $T_a = -10$ °C und $\varphi_i = 60\%$ der neue Vorschlag zu merklichen Fehlern führt. Für die gesamte Kondensationsperiode jedoch ist der Fehler annehmbar (Zusammenstellung in Tabelle 2).

Praktischer Vorschlag für den Diffusionsnachweis

Für den Diffusionsnachweis kann unterschieden werden:

- Konstruktionen, die keinen Nachweis erfordern
- Konstruktionen, für die ein abgekürztes Verfahren aufgrund der «Pascaltage» möglich ist
- Konstruktionen, für die eine Berechnung nach der Methode von *Glaser* notwendig ist.

Konstruktionen, für die *kein Diffusionsnachweis* erforderlich ist, sind in Bild 11 dargestellt. Konstruktionen, für die ein *abgekürztes Verfahren* aufgrund der Pascaltage möglich ist, zeigt Bild 12. Das Verfahren ist im Abschnitt «Neuer Vorschlag» beschrieben. In den in Bild 12 dargestellten Querschnitten sind jeweils die Aufteilung der Wand in die Widerstände S_{Di} und S_{Da} sowie die feuchtigkeitsgefährdete Zone angegeben.

Konstruktionen, für die eine *Berechnung von Glaser* notwendig ist, sind grundsätzlich alle Konstruktionen, wo die Kondensationszone nicht eindeutig

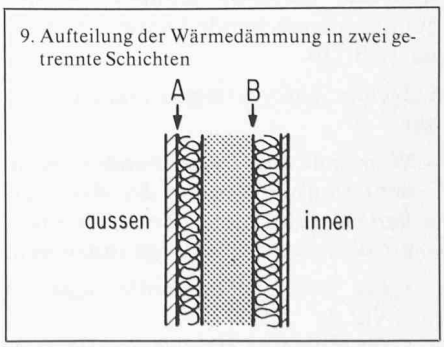
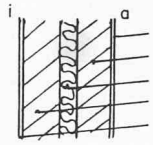
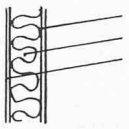
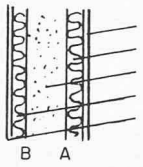
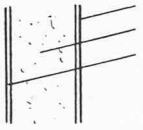


Bild 13. *Beispiel für Konstruktionen mit Berechnung nach Glaser*

festgelegt werden kann und wo eine solche auch in wärmeren Wandzonen auftritt (Beispiel: Bild 13). Die Möglichkeit einer inneren Kondensation besteht bei diesem Beispiel sowohl in Zone A wie

Tabelle 3. In Kondensationsperiode ausgeschiedene Wassermengen [g/m²]

				Norm SIA 180 (60 Tage -10 °C)	*Neuer Vorschlag*[2]	*mittels Computer*[3]
I 	d[1]	λ[1]	μ			
	2	0,87	20			
	12,5	0,44	4			
	8	0,04	1,5	780	905	540
	15	0,44	4			
	1	0,87	15			
II 	0,6	0,48	40			
	6,6	0,04	30	101	keine	keine
	0,6	0,48	40			
III 	2	0,87	20			
	2,5	0,04	30		nicht bestimmbar, da Kondensation in B bei −10 °C	
	20,0	1,60	70	256		keine
	2,5	0,04	30			
	1	0,87	15			
IV 	2	0,87	20			
	30	0,16	8	165	keine	keine
	1	0,87	15			

[1] d[cm]; λ [W/m K]
[2] Annahmen: A = 1280 g/m; B = 510 g/m (Zürich 50%)
[3] Annahmen: T_i = 20 °C, φ_i = 50% (Zürich Wi 64/65)

in Zone B. Im Diffusionsdiagramm nach *Glaser* kann die effektive Kondensationszone bestimmt werden.

Ist dies bei T_{min} nur in A, kann der weitere Diffusionsnachweis nach dem abgekürzten Verfahren (wie für Wand 7 in Bild 12) durchgeführt werden. Bei einer Kondensation in Zone B (oder A und B) ist die max. Kondenswassermenge und die Jahresbilanz nach *Glaser* zu bestimmen. Für die Anwendung des Verfahrens von *Glaser* und die Auswahl der mittleren Klimawerte wird auf die entsprechende Literatur verwiesen (z.B. [3]).

Folgende *Anforderungen* sind zu erfüllen:

- Während der massgebenden Kondensationsperiode darf der *Wassergehalt* der gefährdeten Zone höchstens um die folgenden Beträge zunehmen:
  - für Wärmedämmstoffe max. 3 Vol.-%
  - für Holz und Holzwerkstoffe max. 3 Masse-%
  - für übrige poröse Baustoffe mit kapillarer Feuchtigkeitstransportfähigkeit $G_{max} < 1000$ g/m²

  Die gefährdete Zone kann für den Nachweis zu $d/3$ der wärmedämmenden Schicht angenommen werden.
- Eine *Kondensation* an einer feuchtigkeitsempfindlichen Schicht ist zu vermeiden. Der Nachweis ist für T_{min} zu führen.
- Die in der Kondensationsperiode *ausfallende Wassermenge* muss auf jeden Fall in der Trocknungsperiode wieder austrocknen.

Vergleich verschiedener Methoden

In Tabelle 3 sind für 4 verschiedene Wandtypen die in der massgebenden Periode auftretenden Kondensatmengen (T_i = 20 °C, φ_i = 50%) aufgeführt, berechnet nach bestehender Empfehlung SIA, nach dem neuen Vorschlag und mittels eines Computerprogrammes aufgrund der 5-Tages-Mittel und der Glaserschen Verfahrens.

Dieser Vergleich zeigt, dass der *neue Vorschlag brauchbar* ist.

Sicherheit

In der Baustatik ist der Begriff der Sicherheit definiert, in der Bauphysik ist er jedoch noch offen. Für die vorgeschlagene Diffusionskontrolle wird eine Sicherheit durch die folgenden Annahmen bestimmt:

- Massgebend für das Aussenklima ist eine Periode der Jahre 1950–1970 ausgewählt worden, die nur selten auftritt.
- Die zulässige Kondensatmenge kann niedrig angesetzt werden (z.B. maximal einige Vol-% des gefährdeten Baustoffes).
- Die der Kontrolle zugrundegelegte Raumluftfeuchte kann höher als vorgesehen gewählt werden.
- Für die Berechnung des Diffusionswiderstandes $s = \mu \cdot d$ sind ungünstige Diffusionswiderstandszahlen μ der Baustoffe einzusetzen: hohes μ der äusseren Schichten für S_{Da}, niedriges μ der inneren Schichten für S_{Di}.

Bei allen bauphysikalischen Entscheiden gilt (und das darf auch hier nicht vergessen werden), dass *Rechnungen* allein nicht genügen, sondern *nur Grundlagen* sein können für eine verantwortungsbewusste Beurteilung.

Für den vorliegenden Vorschlag wurden provisorische Kennwerte für Zürich und Davos aufgrund der Terminwerte 1950–1970 berechnet. Für eine definitive Fassung müsste die Auswahl überprüft, für höhere Raumluftfeuchten und weitere Stationen ergänzt werden.

Es kann weiter versucht werden, wenn die Kennwerte für alle Stationen vorliegen, diese für die 3 Zonen der Schweiz:

- Mittelland
- Alpennordseite und Jura
- Alpensüdseite und Wallis

als Funktion der Höhe über Meer des Standortes formelmässig oder graphisch darzustellen. Dies würde nicht nur die Tabelle 1 ersetzen, sondern auch die Meereshöhe des Standortes einbeziehen. Abweichungen, die auf der sicheren Seite liegen, könnten ohne weiteres akzeptiert werden.

Literatur

[1] *Sagelsdorff, R.*: «Die Stellung der Bauphysik in der Praxis». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 43/1983
[2] *Barde, O.*: «Comment en finir avec les barrières de vapeur et rester crédible». Ingenieurs et architectes suisses, No. 26/1983
[3] *Jenisch, R.*: «Berechnung der Feuchtigkeitskondensation in Aussenbauteilen und die Austrocknung, abhängig vom Aussenklima». Ges. Ing. 92(1971) H. 9

Adresse des Verfassers: *R. Sagelsdorff*, dipl. Bau-Ing. ETH, Vorsteher der Abteilung Bauphysik, EMPA, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.