Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 12 (1984)

Artikel: Wirkung lüftungstechnisch angekoppelter Pufferzonen

Autor: Petzold, Karl

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-12175

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 20.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Wirkung lüftungstechnisch angekoppelter Pufferzonen

Effect of Ventilation-Coupled Buffer Zones

Effet combiné de zones-tampons et de la technique de la ventilation

Karl PETZOLD
Prof. Dr.
Technische Universität
Dresden, DDR

ZUSAMMENFASSUNG
Die Luft, die zum Lüften der Gebäude benötigt wird, kann über zweischalige Dächer, Abluftfenster, unbeheizte Nebenräume, verglaste Veranden und andere Pufferzonen angesaugt und/oder abgeführt werden. Dadurch wird der Heizenergiebedarf verringert. Eine Methode wird angegeben, mit der die Einsparung an Heizenergie berechnet werden kann, die dadurch zu erzielen ist.

SUMMARY
The air required for ventilating buildings can be drawn in and/or conducted away through roofs with two shells, air-outlet windows, unheated adjoining rooms, glazed verandas and other buffer zones. This results in a reduction of the heating energy required. A method is given for calculating the saving of heating costs to be achieved.

RESUME
L'air nécessaire à l'aération des édifices peut être aspiré et/ou éliminé par des toits à double enveloppe, de fenêtres doubles, des espaces adjacents non-chauffés, des vérandas et par d'autres zones-tampons. Le besoin en énergie de chauffage peut être ainsi diminué. Une méthode est proposée pour le calcul de l'économie de l'énergie de chauffage grâce au système des zones-tampons.

Der Heizenergiebedarf eines Gebäudes kann bekanntlich dadurch verringert werden, daß man die Luft, die zum Lüften des Gebäudes benötigt wird, zusätzlich durch mehrschalige Außenbauwerksteile oder Pufferzonen strömen läßt. Beispielsweise kann die Außenluft durch den Dachraum eines zweischaligen Daches angesaugt werden (Fall E); ein Teil der Transmissionswärme, die über das Dach abströmt, wird dann "zurückgewonnen". Oder man läßt die Abluft, die aus den Räumen abzuführen ist, nicht unmittelbar ins Freie entweichen, sondern führt sie über den Kanal ab, der von den Flügeln mehrschaliger Fenster gebildet wird (Fall R); damit wird dann ein Teil der abfließenden Transmissionswärme "zurückgehalten" /1/. Auch Wintergärten, unbeheizte Nebenräume und andere Pufferzonen können auf diese Weise lüftungstechnisch an die beheizten Räume des Gebäudes angekoppelt werden. Die energetische Wirkung, die mit einer solchen lüftungstechnischen Ankoppelung zu erzielen ist, wird im folgenden untersucht.

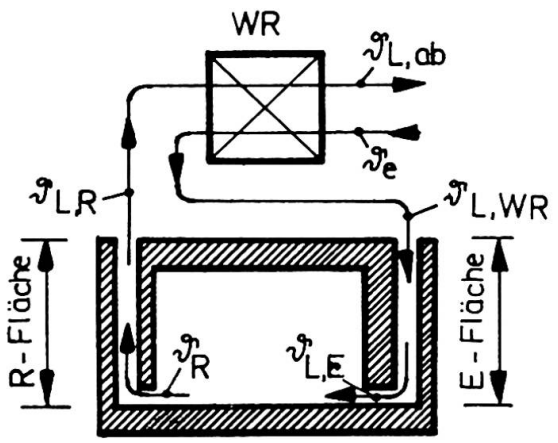

Bild 1 Anordnung durchlüfteter Außenbauwerksteile in einem Gebäude. Zuordnung der Wärmerückgewinnungsanlage (WR) nach Schaltung 1.

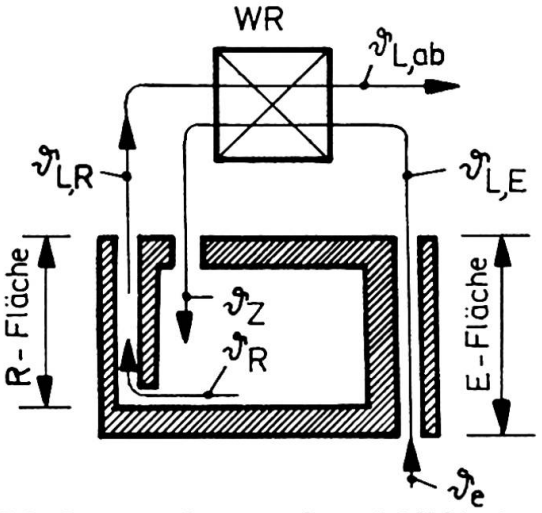

Bild 2 Anordnung durchlüfteter Außenbauwerksteile. Zuordnung der Wärmerückgewinnungsanlage (WR) nach Schaltung 2.

Mit den lüftungstechnisch angekoppelten mehrschaligen Außenbauwerksteilen und Pufferzonen können Wärmerückgewinnungsanlagen in Reihe (Bilder 1 und 2) geschaltet werden /2/. Diese beeinflussen sich gegenseitig, und diese Wechselwirkung wird analysiert, um den günstigsten Einsatzbereich eines jeden dieser Elemente festzustellen.

Behandelt werden hier nur Bauelemente, die eindeutig in einer Richtung durchströmt werden, wie das z.B. bei lüftungstechnisch angekoppelten Dächern und Abluftfenstern der Fall ist. Die Beziehungen werden für ein 2-schaliges 4-Scheibenfenster angegeben; dieses repräsentiert wohl den allgemeinsten Fall, auf den auch alle anderen Fenster sowie die Außenwände und Dächer zurückgeführt werden können. Auf Elemente und größere Räume, die ungeordnet durchströmt werden, wie z.B. Kastenfenster, Wintergärten u. dgl., sind die Ergebnisse sinngemäß zu übertragen. Berechnungsverfahren sind dafür in /3/ angegeben.

Die Energieverluste des Gebäudes sind proportional dem Wärmewert (Wärmekapazitätsstrom) des Abstromes /1//4/

$$w = w_L(1 - \phi_\vartheta) + w_T \,. \tag{1}$$

Darin ist der Wärmewert des Förderstromes $\dot{V}$ der Lüftungseinrichtungen

$$w_L = \dot{V} \cdot \varrho_L \cdot c_L/A_B, \tag{2}$$

und ϕ_ϑ der Übertragungsgrad (Rückgewinnungsgrad) der Wärmerückgewinnungsanlage. Mit dem Flächenverhältnis $f = A/A_B$ ist

$$w_T = \sum_i \left[k_0\left(1 - \frac{a_S}{\alpha_{e,g}} S\right)_0 f_0\right]_i + \sum_j \left[(\chi \cdot k \cdot f)\right]_j \tag{3}$$

der Wärmewert (Wärmekapazitätsstrom) des Transmissionswärmestromes je Einheit Bodenfläche (Bruttofläche) A_B.

Bei den j durchlüfteten Außenbauwerksteilen bewirkt die Durchlüftung eine Verringerung des Transmissionswärmestromes. Dieser Effekt wird in einem Lüftungsfaktor χ erfaßt, ebenso wie alle anderen Effekte, die eine Folge der Durchlüftung des Außenbauwerksteiles sind: die Erwärmung durch die absorbierte Energie der Sonnenstrahlung; die Vorwärmung der Zuluft, die über eine sog. E-Fläche zuströmt; und auch die Wechselwirkung mit der Wärmerückgewinnungsanlage.

An den Oberflächen der Schalen eines durchlüfteten Außenbauwerksteiles wird Wärme sowohl durch Konvektion als auch durch (langwellige) Strahlung übertragen. Außerdem wird Sonnenstrahlungs-Energie absorbiert.

$$K = \frac{k_1}{k};\ \frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2};\ \frac{1}{k_1} = \frac{1}{\varkappa_1} + \frac{1}{\alpha_{K,g}};\ \frac{1}{k_2} = \frac{1}{\varkappa_2} + \frac{1}{\alpha_{K,g}}$$

$$\frac{1}{\varkappa_1} = R_1 + \frac{1}{\alpha_{i,g}};\ \frac{1}{\varkappa_2} = R_2 + \frac{1}{\alpha_{e,g}};\ \alpha_{K,g} = \alpha_{K,c} + 2\,\alpha_{K,r}$$

$$P = \frac{w_L}{k \cdot f}\,\frac{K-1}{K^2}\,(1 + I);\ I = \frac{\alpha_{K,r} \cdot k}{\alpha_{K,c} \cdot \alpha_{K,g}} \cdot \frac{K^2}{K-1};\ S = \frac{\sigma_e \cdot F_G\ G}{\vartheta_R - \vartheta_e}$$

$$a_L = (K-1)\,\frac{c_1}{\varkappa_1} + \frac{c_2}{\varkappa_2};\ c_1 = 1{,}05\,\left(a_{S,a} \cdot \sigma_b\,\frac{\varkappa_1}{\alpha_{i,g}} + a_{S,b}\right)\sigma_c \cdot \sigma_d$$

$$a_1 = K\,\frac{c_1}{\alpha_{K,c}} + I\,\frac{c_2 - c_1}{\varkappa_2};\ c_2 = 1{,}05\,\left(a_{S,c} \cdot \sigma_d + a_{S,d}\,\frac{\varkappa_2}{\alpha_{e \cdot g}}\right)$$

Die Faktoren c_1 und c_2, die die Absorption der Sonnenstrahlungs-Energie beschreiben, sind hier für das 4-Scheibenfenster angegeben. Die Scheiben sind von innen nach außen mit a bis d bezeichnet. Für Fenster mit einer geringeren Zahl von Scheiben gelten diese Faktoren ebenfalls, wenn für die Scheiben n, die fehlen, die Durchlässigkeitskoeffizienten $\sigma_n = 1$ und die Absorptionsgrade $a_{S,n} = 0$ gesetzt werden. Analog ist bei Außenwänden und Dächern zu verfahren.

Im Falle R ergibt sich - wie in /1/ gezeigt - die Temperatur $\vartheta_{L,R}$ der Luft, die aus dem Kanal austritt, zu (Bild 1)

$$T_R = \frac{\vartheta_R - \vartheta_{L,R}}{\vartheta_R - \vartheta_e} = \frac{1 - a_L S}{K_R}\left[1 - \exp\left(-\frac{1}{P_R}\right)\right]. \qquad (4)$$

Ist die R-Fläche einer Wärmerückgewinnungsanlage vorgeschaltet (Bild 1), so vermindert sich deren Wirkung. Diese Minderung wird der R-Fläche angelastet. Damit ist deren effektiver Transmissionswärmestrom

$$\dot{q}''_{T,R} = \chi_R\, k(\vartheta_R - \vartheta_e) = \alpha_1(\vartheta_R - \tilde{\vartheta}_1) + \frac{w_L}{f}\cdot\phi_\vartheta\,(\vartheta_R - \vartheta_{L,R})\,. \qquad (5)$$

Der Lüftungsfaktor der R-Fläche ergibt sich daraus zu

$$\chi_R = 1 - \frac{a_L + a_1}{1+I}\,S - \frac{w_L}{k\cdot f}\left(1 - \frac{1}{K_R} - \phi_\vartheta\right) T_R\,. \qquad (6)$$

Sind keine Wärmerückgewinnungsanlagen eingesetzt ($\phi_\vartheta = 0$), ist der Lüftungsfaktor $\chi_R < 1$; denn die Durchlüftung verringert den Transmissionswärmestrom. Diese Verringerung ist umso stärker und der Lüftungsfaktor χ_R wird umso kleiner, je größer der Luftdurchsatz je Flächeneinheit ist (Bild 3). Der Lüftungsfaktor χ_R wird auch umso kleiner, je geringer der Anteil ist, den der Strahlungsaustausch zwischen den beiden Schalen am gesamten Wärmetransport hat. Deswegen ist es günstig, wenn der Strahlungsaustausch durch strahlungsreflektierende Schichten an den Oberflächen der Schalen (sog. Infrarot-Schichten) vermindert wird und/oder wenn die Strömungsgeschwindigkeit im Kanal groß und damit auch der konvektive Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_{K,c}$ groß ist (Bild 3). Günstig ist im Falle R weiterhin eine annähernd gleichmäßige Verteilung der Wärmeleitwiderstände (Wärmedämmung) auf Innen- und Außenschale ($K_R = 2$). Besteht ein Fenster aus drei Scheiben, sollte die Aussenschale mit zwei Scheiben ausgerüstet werden. Eine solche Verteilung ergibt nicht nur die energetisch beste Wirkung, sondern dadurch wird auch die Gefahr verringert, daß sich an der Außenschale Tauwasser niederschlägt.

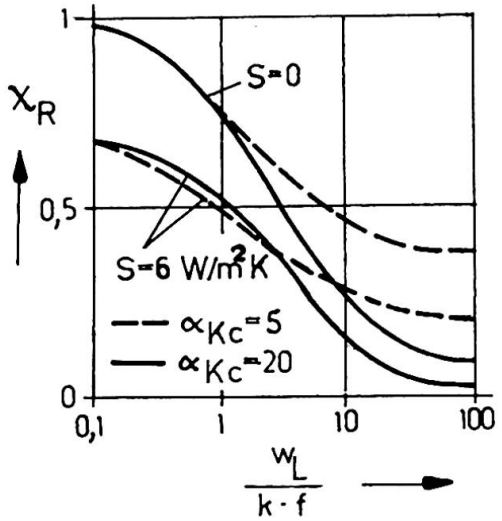

Bild 3 Lüftungsfaktor χ_R für ein 2-schaliges Abluftfenster aus klarem Tafelglas (Außenschale: 2 Scheiben; Innenschale: 1 Scheibe). $\alpha_{K,r} = 5$ W/m²K; $\alpha_{K,c}$ in W/m²K. ($\phi_\vartheta = 0$.)

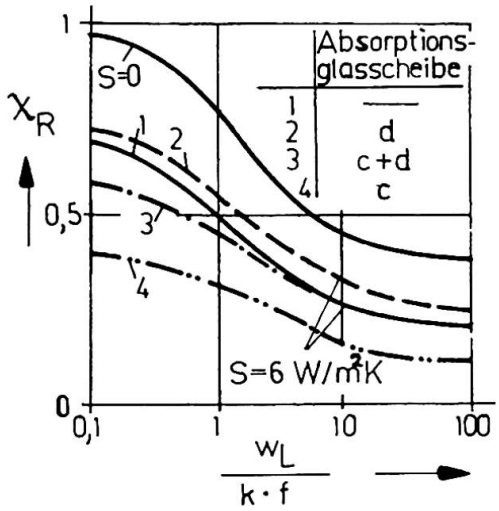

Bild 4 Lüftungsfaktor χ_R für ein 2-schaliges Abluftfenster. $\alpha_{K,r} = 5$ W/m²K; $\alpha_{K,c} = 5$ W/m²K. 1: Klares Tafelglas; 2...4: mit Absorptionsglasscheiben

Absorbiert das Außenbauwerksteil Sonnenstrahlungsenergie, so erhöht sich seine Temperatur, und es verringern sich seine Verluste. Dieser Effekt ist umso wirksamer, je mehr absorbierte Sonnenstrahlungsenergie an die im Kanal strömenden Luft übertragen wird. Der Lüftungsfaktor ist deswegen besonders klein, wenn die Scheibe c (Bild 4), die den Kanal nach außen begrenzt, aus Absorptionsglas besteht (Kurve 4 in Bild 4).

Ist der R-Fläche eine Wärmerückgewinnungsanlage nachgeschaltet, ist also $\phi_\vartheta > 0$, wird die Wirkung der Durchlüftung des Außenbauwerksteiles gemindert. Der Lüftungsfaktor kann sogar $\chi_R \geqq 1$ werden, wenn die Abkühlung der Luft in der R-Fläche den Wärmerückgewinnungseffekt in der Wärmerückgewinnungsanlage um einen größeren Betrag vermindert als in der R-Fläche selbst zurückgewonnen wird. In diesem Falle ist es besser, auf die R-Fläche zu verzichten und allein die Wärmerückgewinnungsanlage einzusetzen. Die Hintereinanderschaltung einer R-Fläche und einer Wärmerückgewinnungsanlage lohnt sich nur, wenn der Lüftungsfaktor $\chi_R < 1$ ist. Dazu muß T_R nach Gl. (4) hinreichend klein sein. Das ist der Fall, wenn die Wärmedämmung in der Außenschale konzentriert wird, und zwar muß sein:

$$K_R\,(1 - \phi_\vartheta) > 1. \qquad (7)$$

Wird durch ein mehrschaliges Außenbauwerksteil Außenluft angesaugt (Fall E), so sind zwei Schaltungen möglich, und zwar Schaltung 1 nach Bild 1 und Schaltung 2 nach Bild 2. In der E-Fläche erwärmt sich die angesaugte Außenluft. Diese Erwärmung wird als Energiegewinn der E-Fläche gutgeschrieben. Dann erhält man mit der Abkürzung

$$T_E^* = \frac{1}{K_E}\left[1 - \exp\left(-\frac{1}{P_E}\right)\right] \qquad (8)$$

den Lüftungsfaktor der E-Fläche für die Schaltung 1:

$$\chi_{E,1} = 1 - \frac{a_L + a_1}{1+I}\,S - \frac{w_L}{k \cdot f}\left[1 - \frac{1 - a_L \cdot S}{K_E} - \phi_\vartheta \cdot (1 - T_R)\right] \cdot T_E^* \qquad (9)$$

Sind weder Sonnenstrahlung ($S = 0$) noch Wärmerückgewinnungsanlagen ($\phi_\vartheta = 0$) vorhanden, unterscheidet sich die energetische Wirkung einer E-Fläche nicht von der einer R-Fläche; es wird $\chi_E = \chi_R = \chi_0$. Sonnenstrahlung verringert den Lüftungsfaktor, und zwar ist deren Wirkung an einer E-Fläche größer als an einer R-Fläche (Bild 5). Für den Fall, daß keine Wärmerückgewinnungsanlagen vorhanden sind, erweisen sich kleine Werte K_E als günstig ($K_E = 1{,}1 \ldots 1{,}5$). Die Wärmedämmung ist dann also vor allem in der Innenschale zu konzentrieren, und die Außenschale muß "dünn" bleiben. Dann ist es möglich, die absorbierte Energie der Sonnenstrahlung zu einem großen Teil für die Raumheizung zu nutzen, besser zumindest, als das mit einschaligen Außenbauwerksteilen gelingt. Bei sehr großen Luftdurchsätzen je Flächeneinheit kann sogar $\chi_E < 0$ werden (Bild 5). Im Mittel über die Heizdauer überwiegt dann der Strahlungsgewinn gegenüber den Verlusten, und die E-Fläche wird zum "Sonnenkollektor". Da die Sonnenstrahlung bei den E-Flächen besser genutzt wird als bei den R-Flächen, sollten die E-Flächen bevorzugt dort angeordnet werden, wo das Strahlungsdargebot groß ist. Die Dachflächen und - sofern sie unverschattet sind - die nach Süden orientierten Außenwände eignen

sich besonders dafür. Fenster eignen sich besser als R-Flächen (Abluftfenster); denn sie absorbieren die Sonnenstrahlungsenergie nicht so grut wie z.B. Dachflächen. Außerdem ist das Abluftfenster im Sommer leichter gegen Sonnenstrahlung zu schützen als das Zuluftfenster /5/.

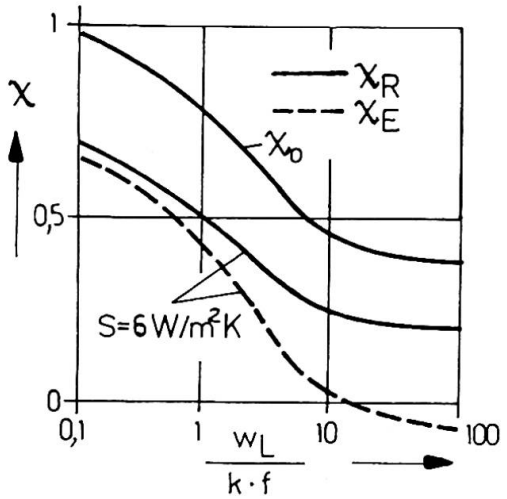

Bild 5 Vergleich der Lüftungsfaktoren χ_R und $\chi_{E,1}$ für ein 2-schaliges Fenster. Parameter wie Bild 3.

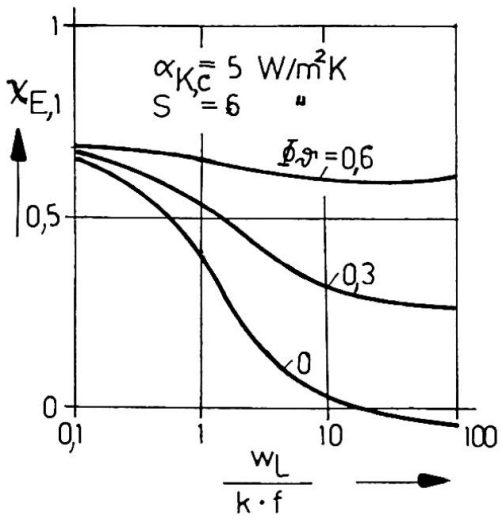

Bild 6 Einfluß des Rückgewinnungsgrades ϕ_ϑ der Wärmerückgewinnungsanlage auf den Lüftungsfaktor $\chi_{E,1}$ eines 2-schaligen Fensters. Parameter wie Bild 3.

Wärmerückgewinnungsanlagen mindern auch die Wirkung der E-Flächen (Bild 6). Die in der Wärmerückgewinnungsanlage erwärmte Luft kühlt sich u.U. in der E-Fläche wieder ab, wenn der Wert K_E zu klein ist. Damit der Lüftungsfaktor $\chi_{E,1} < 1$ ist und die E-Fläche noch einen Nutzen hat, muß sein

$$K_E > \frac{1 - a_L S}{1 - \phi_\vartheta (1 - T_R)} . \qquad (10)$$

Für die Schaltung 2 nach Bild 2 ergibt sich ein Lüftungsfaktor

$$\chi_{E,2} = 1 - \frac{a_L + a_1}{1+I} S - \frac{w_L}{k \cdot f} \left(1 - \frac{1 - a_L S}{K_E}\right)\left(1 - K_E \phi_\vartheta\right) T_E^* \qquad (11)$$

Bei Schaltung 2 verhalten sich E-Flächen qualitativ ebenso wie bei Schaltung 1. Anders als $\chi_{E,1}$ ist aber der Lüftungsfaktor $\chi_{E,2}$ unabhängig von T_R; er wird also von einer evtl. vorhandenen R-Fläche nicht beeinträchtigt. Damit bei Schaltung 2 ein Nutzen eintritt, muß

$$K_E \cdot \phi_\vartheta < 1 \qquad (12)$$

sein. Die Schaltung 2 ist günstiger als Schaltung 1, wenn K_E klein ist, wenn also die Außenschale nur wenig wärmegedämmt ist. Bei großen Werten K_E hingegen ist die Schaltung 1 vorzuziehen.

Entscheidend für die energetische Wirksamkeit der durchlüfteten Außenbauwerksteile ist der Luftdurchsatz je Flächeneinheit sowie die Verteilung der Wärmeleitwiderstände auf die Innen- (R_1) und

die Außenschale (R_2), die bei R-Flächen durch K_R und bei E-Flächen durch K_E beschrieben wird. Die durchlüfteten Bauelemente und Pufferzonen sollten also thermisch sorgfältig bemessen werden.

Den Vorzug verdienen durchlüftete Außenbauwerksteile und Pufferzonen in den Fällen, in denen es genügt, eine Zuluftanlage o d e r eine Abluftanlage zu installieren. Es sind dann entweder R- oder E-Flächen zu realisieren, je nach den Voraussetzungen, die das Gebäude bietet. Bei kleineren Förderströmen können die Investitionskosten einer Wärmerückgewinnungsanlage unwirtschaftlich hoch sein; auch dann sind durchlüftete Außenbauwerksteile einsetzbar. Bei sehr großen Förderströmen hingegen sind meistens die Wärmerückgewinnungsanlagen wirksamer als die durchlüfteten Flächen. Wenn möglich, sind sie mit R- und/oder E-Flächen in Reihe zu schalten.

BEZEICHNUNGEN

A	Fläche
a_S	Absorptionsgrad
c_L	spezifische Wärmekapazität von Luft
F_G	Glasflächenanteil eines Fensters
G	Gesamtstrahlung der Sonne
k	Wärmedurchgangskoeffizient
L	Länge des durchlüfteten Kanales zwischen Luftein- und Luftaustritt
R	Wärmeleitwiderstand
T_S	dimensionslose Sonnenlufttemperatur
x	Lauflänge
$\alpha_{e,g}$	Gesamt-Wärmeübergangskoeffizient außen am Außenbauwerksteil
$\alpha_{i,g}$	Gesamt-Wärmeübergangskoeffizient innen am Außenbauwerksteil
$\alpha_{K,c}$	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient im durchlüfteten Kanal
$\alpha_{K,r}$	Strahlungsübergangskoeffizient im durchlüfteten Kanal
ϑ	Temperatur
ϑ_e	Außenlufttemperatur
ϑ_L	Temperatur der Luft im durchlüfteten Kanal
ϑ_R	Raumlufttemperatur (allgemein)
$\bar{\vartheta}_1$	mittlere Temperatur an der Oberfläche der Innenschale, die mit der Kanalluft in Berührung steht
ϱ_L	Dichte der Luft
τ	Durchlässigkeitskoeffizient des Glases für Sonnenstrahlung
τ_e	Abminderungsfaktor, der die Verschattung durch die Umgebung berücksichtigt /3/

Indizes

E Fall E: von Außenluft durchströmt

R Fall R: von Raumluft durchströmt

0 nicht-durchlüftet

1 Innenschale

2 Außenschale

LITERATUR

1. PETZOLD, K.: Raumlufttemperatur. 2. Aufl. Berlin: Verlag Technik 1983

2. PETZOLD, K.: Ökonomisch optimaler Wärmeschutz bei durchlüfteten Außenbauwerksteilen. Luft- und Kältetechnik 18 (1982) 2, S. 63-69

3. PETZOLD, K.: Zur Wechselwirkung zwischen Fugenlüftung und Transmissionswärmeverlusten von Fenstern. Stadt- und Gebäudetechnik 37 (1983) 6, S. 182-187; 7, S. 198-199; 8, S. 245-248

4. PETZOLD, K.: Zur Berechnung des Heizenergiebedarfs. Schlußbericht des 11. Kongresses der IABSE 31. Aug. bis 5. Sept. 1980 in Wien, S. 517-526

5. PETZOLD, K.: Zur Durchlässigkeit von Zwischenjalousien in Abluftfenstern. Luft- und Kältetechnik 18 (1982) 2, S. 91-93