

Luftkonvektionseinflüsse auf den Wärmedurchgang von belüfteten Fassaden mit Mineralwolledämmung

Herrn Ministerialdirigent Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e. h. Herbert Ehm zum 65. Geburtstag gewidmet

Dipl.-Phys. K. Sedlbauer, Dr.-Ing. H. M. Künzel

1. Problemstellung

Der Gesamtwärmetransport in einem mehr als 95 % aus Luft bestehenden Mineralwolldämmmaterial hängt von der Wärmeleitung innerhalb der Fasern und der Luft, von der Strahlung in der Luft sowie von der Konvektion, d. h. von Luftbewegungen innerhalb oder durch das Material hindurch ab. Das thermische Verhalten von wärmegeprägten Bauteilen wird somit auch von der Art und Stärke der Luftbewegungen beeinflusst, d. h. von der freien oder erzwungenen Konvektion an der Oberfläche oder im Material sowie von verschiedenen Dämmstoffeigenschaften wie Dichte, Dicke und Luftdurchlässigkeit. Konvektive Vorgänge werden bei Labormessungen zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit z. B. im Plattengerät nicht praxisgerecht erfasst, können aber am Gebäude die Wärmedämmwirkung verringern, wie in [1] für ein Dach gezeigt wurde. Dort ergab sich für mittlere Windgeschwindigkeiten eine Minderung des Wärmeschutzes von bis zu 10 %. In [2] wurde in Abhängigkeit von der Dachlänge und der damit verbundenen thermisch angetriebenen Strömungsgeschwindigkeit im Luftspalt ebenfalls eine Zunahme des Wärmedurchgangs in ähnlicher Größenordnung gemessen. Diese Erkenntnisse aus dem Bereich der Dachtechnik lassen sich zwar nicht ohne weiteres auf Wandkonstruktionen mit belüfteten Fassaden übertragen, dennoch sind auch dort Konvektionseinflüsse zu vermuten. Ob sie von ähnlicher Größenordnung wie im Dachbereich liegen, wird in der vorliegenden Arbeit genauer betrachtet.

2. Zielsetzung und Vorgehensweise

Zunächst sollen die thermodynamischen Randbedingungen, die eine Luftströmung in belüfteten Fassaden hervorrufen, diskutiert werden. Dazu sind Ergebnisse messtechnischer Untersuchungen, ergänzt durch rechnerische Variationen, systematisch aufgearbeitet und zusammengestellt worden. Zunächst wird auf die sich im Luftspalt einstellenden Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen in Abhängigkeit von äußeren Randbedingungen wie Wind und solare Einstrahlung eingegangen.

Dipl.-Phys. K. Sedlbauer, Dr.-Ing. H. M. Künzel, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. mult. Dr. E. h. mult. Karl Gertis)

Danach werden neuere messtechnische Untersuchungen zum Einfluss von Luftkonvektion auf den Wärmedurchlasswiderstand von belüfteten Wandkonstruktionen mit Mineralwolledämmung vorgestellt, die in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP) durchgeführt wurden. Dabei wird auf den Einfluss von Konvektion im Dämmstoff sowie auf wärmetechnische Auswirkungen der Konvektion im Luftspalt eingegangen.

3. Funktionsweise belüfteter Außenwandkonstruktionen

Belüftete Außenwandkonstruktionen werden aus architektonischen wie aus Gründen des Schlagregenschutzes und zur Überbrückung großer Wandunebenheiten verwendet. Die Luftströmung hinter der Bekleidung wird, vor allem bei gutem Wärmeschutz der Wandkonstruktion, ausschließlich durch Auftriebskräfte infolge von solarer Zustrahlung oder durch Winddruckdifferenzen erzeugt. Mit Hilfe der Belüftung soll in die Konstruktion eingedrungene Schlagregen- sowie Baufeuchte oder durch Diffusion eingebrachte Raumluftfeuchte abgeführt werden. Normative Regelungen, wie z. B. DIN 18516 [3], beschreiben belüftete Wandkonstruktionen mit vorgehängten Fassaden. So werden dort die feuchtetechnischen Anforderungen an eine Hinterlüftung als erfüllt angesehen, wenn die Außenwandbekleidungen mit einem Abstand von mindestens 20 mm von der Außenwand angeordnet wird. Darüber hinaus sind nach [3] für hinterlüftete Außenwandbekleidungen Be- und Entlüftungsöffnungen mit Querschnitten von mindestens 50 cm² je 1 m Wandlänge vorzusehen.

Da durch die vorgehängte Fassade die direkte Windanströmung der darunter liegenden Außenwand verringert wird, darf gemäß DIN 4108-4, Tab. 5 [4] für solche Konstruktionen ein auf 12,5 W/m²K reduzierter äußerer Wärmeübergangskoeffizient angenommen werden.

4. Durchgeführte Untersuchungen

Verschiedene Typen belüfteter Fassaden wurden in [5] und [6] hinsichtlich der strömungs- und wärmetechnischen Einflüsse theoretisch sowie in [7] bis [11] messtechnisch untersucht. Neu-

ere Messungen [12] geben Auskunft über den Einfluss der thermodynamischen Randbedingungen auf die Wärmedämmwirkung solcher Konstruktionen. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht dieser Untersuchungen mit Angabe des Zeitraumes der Messungen bzw. Berechnungen, der bauphysikalischen Fragestellungen, der untersuchten Wandaufbauten sowie der verwendeten Vorsatzschalen und Orientierungen.

Die neueren messtechnischen Untersuchungen an kompletten Wandaufbauten [12] wurden in den Jahren 1994 und 1995 durchgeführt. Bild 1 zeigt schematisch die einzelnen west- bzw. ostorientierten Wandaufbauten. Die betrachteten Konstruktionen (Varianten siehe Tabelle 2) bestehen von außen nach innen aus folgenden Schichten:

- Fassadenplatte aus Faserzement mit unterschiedlicher Höhe
- Luftspalt der Dicke 30 mm, ab 31. Jan. 1995 ohne Luftspalt
- mit und ohne Vlies
- Mineralwollendämmung aus 80 mm Glaswolle oder Steinwolle
- Mauerwerk aus 17,5 cm Kalksandstein mit Innenputz.

Zur Klärung der Auswirkungen äußerer Temperaturverhältnisse sowie Strahlungs- und Windbedingungen und der daraus resultierenden Strömungsgeschwindigkeiten im Luftspalt und am Dämmstoff anliegenden Druckdifferenzen auf den Wärmedurchgang werden verschiedene konstruktive Varianten miteinander verglichen (Tabelle 2). Dabei sind Varianten ohne (Fas-

sadenplatten befinden sich direkt auf dem Dämmstoff) bzw. mit 30 mm breitem vertikalen Luftspalt sowie großformatige Fassadenplatten (2850 x 1265 x 6 mm³) und kleinformatige (600 x 1265 x 6 mm³) untersucht worden.

Um die Messergebnisse richtig interpretieren zu können, wird in [12] angegeben, wie groß der Unsicherheitsbereich für die ermittelten wärmetechnischen Kennwerte werden kann, der sich aus den Messungenauigkeiten für den Wärmestrom und die am Dämmstoff anliegende Temperaturdifferenz sowie aus Schwankungen der Dämmstoffdicke im eingebauten Zustand ergibt. Die dabei ermittelte Standardabweichung der Wärmeleitfähigkeit $\Delta\lambda$ von 0,003 W/mK entspricht einer messtechnischen Unsicherheit $\Delta\lambda/\lambda$ von etwa 8 % und bedeutet, daß der Dämmstoff mit $\lambda = 0,04$ W/mK in einer Messung, welche mit den genannten Messabweichungen behaftet ist, λ -Werte zwischen 0,037 und 0,043 W/mK aufweisen kann.

5. Ergebnisse der Untersuchungen

5.1. Luftgeschwindigkeiten im Luftspalt

Nach theoretischen Untersuchungen von Gertis [5] wird die Strömungsgeschwindigkeit im Luftspalt hinter der Bekleidung durch zwei gegenläufig wirkende Antriebskräfte bestimmt:

- Durch thermischen Auftrieb infolge solarer Zustrahlung (Strömung von unten nach oben durch);

| Autor(en) | Literatur | Zeitraum der Messungen | Untersuchungsziele | Konstruktion | Luftschicht [mm] | Vorsatzschale | Ausrichtung |
|--------------------------|-----------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|-------------|
| Gertis, Künzel | [7] | 68 bis 70 | Wärme, Feuchte, Wölbung | Holzaußenwandelement | 25 | Asbestzement + Kunststoffbeschichtung | West + Ost |
| Gertis | [5] | vor 72 (Berechnungen) | Wärme Feuchte, Strömung | verschiedene | variabel | variabel | West + Ost |
| Schwarz | [8] | etwa 70 | Temp, Strömung | Hochhausfassade | 40 | Asbestzement | West |
| Künzel, Mayer, Hoffmann | [9] | 73 bis 75 | Temp, Feuchte, Form, Strömung | Leichtbauwand belüftet (Schlitz+Drainage) + nicht belüftet | 40 | Klinker | West + Ost |
| Künzel, Mayer, Popp | [10] | 73 bis 75 | Temp, Feuchte, Strömung | Gasbetonwand mit unterschiedlichen Belüftungen, Farben | 40 | verschiedene | West + Ost |
| Künzel, Mayer | [11] | 73 bis 75 | Temp, Feuchte, Strömung | unterschiedliche Belüftungen, Plattengrößen | 10,20,40 | Asbestzement | West + Ost |
| Silberstein, Langlais | [13] | vor 91 (Recherche) | Wärmestromdichte | hinterlüftete Fassaden, (auch Decken, Dächer) | k.A. | z.T. luftdichter Windschutz | k.A. |
| König, Sedlbauer | [6] | 93 bis 96 (Berechnungen) | Temp, Wärme, Strömung | Kalksandsteinmauerwerk, Plattenbauweise | 20 bis 80 | Faserzementvorsatzschalen; WDVS | variabel |
| Sedlbauer, Kießl, Künzel | [12] | 94 bis 95 | Temp, Konvektion, Strömung | Kalksandsteinmauerwerk | 30 | Faserzementvorsatzschalen mit/ohne Fugen | West + Ost |

Tab. 1: Übersicht über die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen

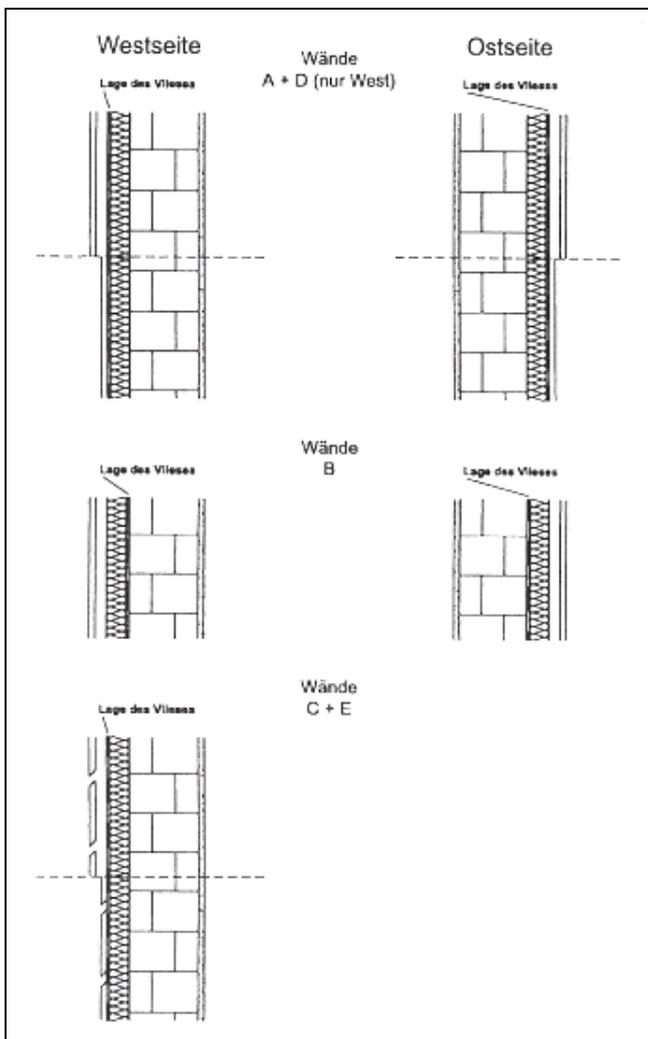


Bild 1: Schematische Darstellung der Versuchsaufbauten mit Angabe der Bezeichnung der entsprechenden Wände, der Lage der Vliese sowie der Orientierung.

- durch am Luftspalt vertikal anliegende Winddruckdifferenz (Strömung meist von oben nach unten).

Bild 2 zeigt die Temperatur- und Strömungsverhältnisse an einer nach Westen orientierten Versuchswand mit kleinformati- gen Fassadenbekleidungs-elementen (0,6 m x 0,3 m) aus As- bestzement mit dunkler Oberfläche [11]. Die Tagesverläufe der Luftgeschwindigkeit im Luftspalt verdeutlichen den Einfluss von Wind und Strahlung. Zu erkennen ist, dass der Mittelwert der Luftgeschwindigkeit der Sonnenstrahlung bzw. der Temperaturdifferenz zwischen Spaltluft und

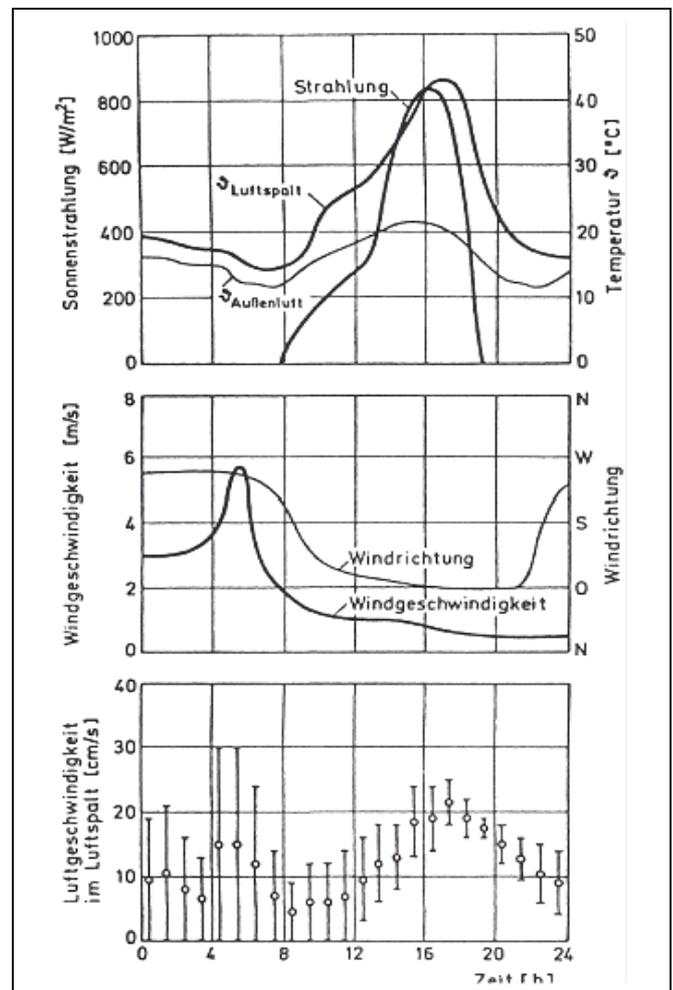


Bild 2: Zeitverlauf der Luftgeschwindigkeit im Luftspalt einer nach Westen orientierten Versuchswand aus [11] mit Angabe der Sonneneinstrahlung, der Temperaturen der Außenluft sowie der Geschwindigkeit und Richtung des Windes.

Außenluft erfolgt. Die Schwankung ist dabei relativ gering (siehe die in Bild 2 eingetragene Standardabweichung der gemessenen Luftgeschwindigkeit). Hingegen steigt bei zunehmender Windanströmung in erster Linie die Schwankungsbreite der Luftgeschwindigkeit an, weniger deren Mittelwert. Dies wird bestätigt durch die in Bild 3 dargestellten Differenzen der Staudrücke am oberen und unteren Plattenrand einer Fassadenbekleidung mit 3,6 m Höhe und 5,5 m Höhe (ebenfalls aus [11]) sowie deren

| Wand | Dämmstoff | Luftschicht in mm | Vorsatzschale | Höhe der Faserzementplatten in mm | Vlies zwischen Dämmstoff und Luftspalt | Ausrichtung |
|------|------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------------|--------------|
| A | Glaswolle | 0 oder 30 ¹⁾ | großformatig | 2850 | mit | West und Ost |
| B | Glaswolle | 0 oder 30 ¹⁾ | großformatig | 2850 | ohne ²⁾ | West und Ost |
| C | Glaswolle | 0 oder 30 ¹⁾ | kleinformati- g | 600 | mit | nur West |
| D | Steinwolle | 0 oder 30 ¹⁾ | großformatig | 2852 | mit | nur West |
| E | Steinwolle | 0 oder 30 ¹⁾ | kleinformati- g | 600 | mit | nur West |

Tab. 2: Übersicht über die in den Untersuchungen der Wandkonstruktionen berücksichtigten Varianten ¹⁾ 30 mm Luftspalt bzw. kein Luftspalt; ²⁾ Vlies befindet sich zwischen Mauerwerk und Dämmstoff

Schwankungsbreite in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit an einem strahlungslosen Tag. Es ergaben sich bei der 5,5 m hohen Wandfläche geringe mittlere negative Druckdifferenzen, während sie bei kleinerer Wandhöhe um Null schwankten. Es konnte also kein eindeutiger Anstieg der Druckdifferenzen mit zunehmender Windgeschwindigkeit festgestellt werden, aber eine deutliche Zunahme der Druckdifferenzschwankungen. Künzel [11] schließt daraus auf keine kontinuierliche Hinterlüftung des Spalts in eine Richtung. Dies wird durch Untersuchungen von Schwarz [8] bestätigt. An einer Hochhausfassade wurde die Belüftung hinter der Vorsatzschale ermittelt mit dem Ergebnis, dass sich bei Zunahme der Windgeschwindigkeit die treibenden Druckdifferenzen an der Fassade nur in geringem Maße erhöhen, die Geschwindigkeitschwankungen aber zunehmen und es "nur" zu einem pulsierenden Luftaustausch über die Fugen und nicht zu einer gerichteten Luftströmung im Spalt kommt. Zusammenfassend für die verschiedenen Untersuchungen zeigt Tabelle 3 die messtechnisch ermittelten maximalen Strömungsgeschwindigkeiten im Luftspalt bei starker sowie mittlerer Windgeschwindigkeit und solarer Einstrahlung. Die Ergebnisse können wie folgt interpretiert werden:

- Theoretische Berechnungen zeigen hinsichtlich der thermisch bedingten Strömungsgeschwindigkeiten im Luftspalt eine in der Tendenz gute Übereinstimmung mit den messtechnisch ermittelten Werten; unter praktischen Bedingungen werden durch thermischen Auftrieb nach oben gerichtete Strömungen von weniger als 1,0 m/s erreicht.
- Die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten im Luftspalt durch Windanströmung betragen konstruktionsabhängig 0,6 m/s. Aufgrund der Böigkeit des Windes kann aber keine eindeutige Vorzugsrichtung festgestellt werden, d. h. vor allem bei zunehmender Windgeschwindigkeit kommt es zu pulsierenden Strömungen.
- Bei mittleren äußeren Windgeschwindigkeiten von etwa 2 bis 3m/s (Durchschnittswert für das Bundesgebiet) treten insgesamt nur geringe Strömungsgeschwindigkeiten bis etwa 0,3 m/s auf (siehe letzte Spalte in Tabelle 3).

5.2. Untersuchungen an kompletten Wandaufbauten

Bei den im IBP durchgeführten neueren messtechnischen Untersuchungen an kompletten Wandaufbauten [12] wurden Strömungen im Luftspalt, Wärmeströme und Temperaturverhältnisse bei den unterschiedlichen Varianten (siehe Tabelle 2) messtechnisch untersucht mit dem Ziel, die Abweichung des Gesamtwärmestroms durch die Wandkonstruktion infolge der o. g. meteorologischen Einflussfaktoren zu ermitteln. Generell können sich am Dämmstoff anliegende Druckdifferenzen (Luv/Lee-Effekte) sowie Bewegungen der Luft im Spalt auf die wärmetechnischen Kennwerte auswirken. Bild 4 zeigt die Verläufe der Außenlufttemperatur, Globalstrahlung sowie Windgeschwindigkeit im Messzeitraum. Die Ergebnisse aus [12] können wie folgt zusammengefasst und interpretiert werden.

Konvektion im Dämmstoff

Untersucht wurden die Auswirkungen von am Dämmstoff anliegenden Druckdifferenzen durch windbedingte Luv-/ Lee-Erscheinungen mittels Vergleich der Wärmeströme durch eine West- (windangestörmte Seite) und eine Ostwand. Die Dichtheit der Konstruktion wird in den Untersuchungen durch Anbringen eines Vlieses im Übergangsbereich zwischen Luftspalt und Dämmung variiert. Der Einfluss kann aus Bild 5 abgeleitet werden. Man erkennt, dass die Differenz des Wärmestroms zwi-

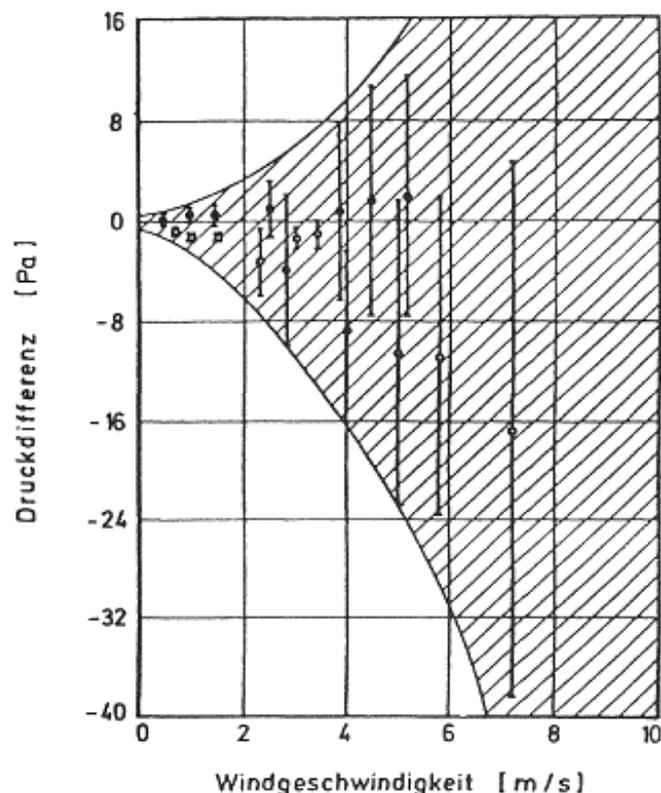


Bild 3: Differenz der Staudrücke am oberen und unteren Plattenrand der Fasadeneinkleidungen mit 3,6 m Höhe (Mittelwerte als Punkte) und 5,5 m (Kreise) in Abhängigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit (Stundenmitte) an einem Tag ohne Sonnenstrahlung, aus [11].

schen der West- und Ostwand bei sonst gleichem Aufbau bei Glaswolle mit Vlies nur sehr gering ausfällt, d.h. etwa um den Wert 0 schwankt. Bei fehlendem Vlies liegt der Wärmestrom durch die Westwand im Schnitt um 1 W/m² höher als im Osten. Das zwischen Luftspalt und Dämmung eingebrachte Vlies verhindert also die Erhöhung des Wärmestroms auf der West- gegenüber der Ostseite weitgehend.

Als Zusammenfassung der Langzeitversuche sind die über die jeweiligen Messzeiträume gemittelten Wärmeleitfähigkeiten der

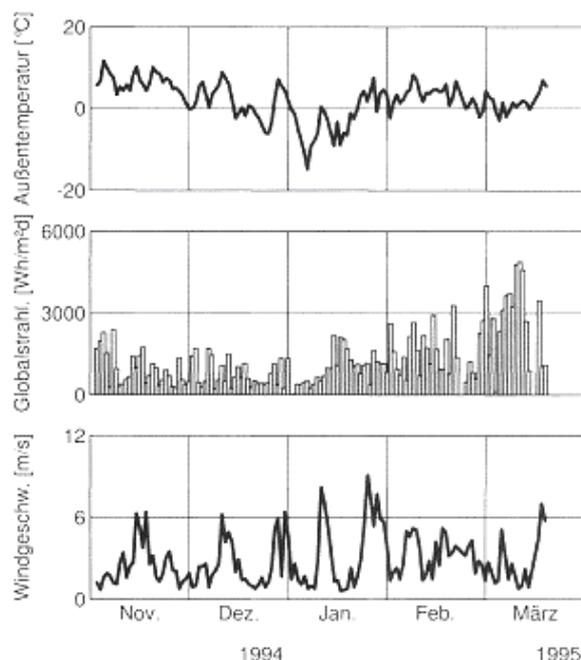


Bild 4: Zeitliche Verläufe für Außenlufttemperatur, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit im Messzeitraum.

| Autor(en) | Literatur | Luftschicht [mm] | maximale Strömungsgeschwindigkeit im Luftspalt [m/s] | | |
|--------------------------|-----------|------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| | | | thermisch bedingt | aufgrund starken Wind ¹⁾ | aufgrund mittleren Wind ²⁾ |
| Gertis | [5] | variabel | 0,9 ³⁾ | -2,5 ³⁾ | -0,2 ³⁾ |
| Schwarz | [8] | 40 | <0,6 | <0,5 | <0,4 |
| Künzel, Mayer, Hoffmann | [9] | 40 | k.A. | <0,6 ⁴⁾ | <0,2 ⁴⁾ |
| Künzel, Mayer, Popp | [10] | 40 | <0,25 | <-0,4 | -0,1 |
| Künzel, Mayer | [11] | 10,20,40 | <0,5 | <0,7 ⁴⁾ | <0,3 ⁴⁾ |
| Silberstein, Langlais | [13] | k.A. | k.A. | <0,2 | <0,2 |
| Sedlbauer, Kießl, Künzel | [12] | 30 | 0,4 | k.A. | 0,2 |

Tab. 3: Übersicht über die messtechnisch ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten im Luftspalt

¹⁾ negatives Vorzeichen bedeutet: Abwärts gerichtete Strömungsgeschwindigkeit; ²⁾ Annahme einer mittleren Windgeschwindigkeit von 2,5 m/s (Durchschnitt für die BRD); ³⁾ in dieser Untersuchung wurden Berechnungen und keine Messungen durchgeführt; ⁴⁾ keine Angabe der Strömungsrichtung

untersuchten Varianten unter Zugrundelegung folgender Beziehung:

$$\lambda_D = \frac{q \cdot s_D}{\Delta\vartheta_D} \quad (1)$$

berechnet worden. Dabei sind:

λ_D : effektive Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs [W/mK]

q: über den Messzeitraum gemittelte Wärmestromdichte [W/m²K]

s_D : Dicke der Dämmschicht [m]

$\Delta\vartheta_D$: am Dämmstoff anliegende, über den Messzeitraum gemittelte Temperaturdifferenz ($\Delta\vartheta_{Di} - \Delta\vartheta_{Da}$) [K].

Anders als bei den bisher interpretierten kurzzeitigen Effekten liegen hinsichtlich des Vergleichs der Varianten mit bzw. ohne Luftspalt die Werte der über den gesamten Meßzeitraum ermittelten Wärmeleitfähigkeiten der Dämmstoffe ($0,034 \pm 0,003$ W/mK bzw. $0,035 \pm 0,003$ W/mK) an der Grenze der Messgenauigkeit. Berücksichtigt man die ermittelten Messunsicherheiten, so kann im Sinne

einer abschließenden Beurteilung der Einfluss konvektiver Effekte in der Dämmung auf die Wärmedämmung luftdichter Wandkonstruktionen für die untersuchte Gebäudehöhe von etwa 4 m als nicht signifikant bezeichnet werden.

Konvektion im Luftspalt

Der Einfluss der Bewegungen der Luft im Spalt auf das wärmetechnische Verhalten der Gesamtkonstruktion zeigt sich in Bild 6 dadurch, daß im Zeitabschnitt mit Belüftung Differenzen der Wärmeströme zwischen den Varianten mit groß- bzw. kleinformatischen Fassadenplatten zu erkennen sind, die ohne Luftspalt (Fassadenplatte befindet sich direkt auf der Dämmschicht) nicht auftreten. Bei einer Verkleidung aus kleinformatischen Faserzementplatten liegt der Verlauf des Wärmestromes durch die Wand zeitweise um bis zu 25 % höher als bei geschoßhohen Fassadenplatten (Bild 7). Wie der Vergleich mit der im Bild. 7 unten dargestellten Windgeschwindigkeit für den Monat Januar zeigt, tritt dies vor allem in windschwachen Perioden auf. Bei starken Wind verringert sich diese Differenz. Daraus kann gefolgert werden, daß der Wärmedurchlasswiderstand der Schicht zwischen Dämmung und Bekleidung strömungsbedingt

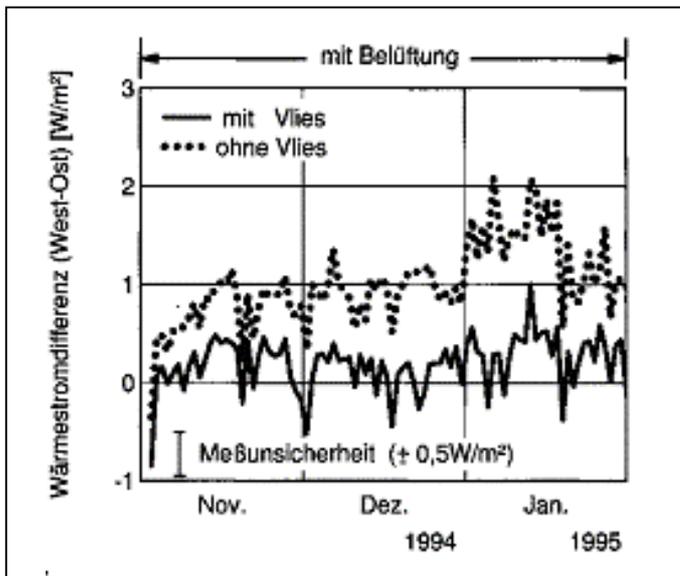


Bild 5: Zeitlicher Verlauf der Differenz der Wärmeströme durch die West- bzw. Ostwand für die Variante mit einem auf die Glaswolle zum Luftspalt hin aufgebrauchten Vlies bzw. ohne. Mit angegeben wurde die ermittelte Messunsicherheit.

verändert wird, was sich bei kleinformatischen Fassadenplatten stärker auswirkt als bei den großformatigen. Die Wärmedämmwirkung der gesamten Wand erniedrigt sich bei einem hohen Fugenanteil dadurch, dass aufgrund der Böigkeit des Windes der Luftspalt mit Außenluft durchspült wird und die Wärmedurchlasswiderstände der Fassadenplatte und Luftschicht damit thermisch wirkungslos bleiben. Erst bei starkem Wind wird der Luftspalt auch bei geschoßhoher Fassadenplatte ausreichend stark belüftet.

6. Zusammenfassung und praktische Schlussfolgerungen

Der Einfluss von Luftströmungen auf die Wärmedämmwirkung von Mineralwolleplatten hinter belüfteten Bekleidungen durch am Dämmstoff anliegende Druckdifferenzen infolge Luv-/Lee-Effekte (windzugewandte Seite im Vergleich zur windabgewandten) kann aufgrund dieser Untersuchungen für kleine Gebäude unter den genannten Randbedingungen vernachlässigt werden. Da Messungen für Hochhausfassaden nach Schwarz [8] zeigen, dass der am Gebäude anliegende Staudruck mit der Höhe etwa linear zunimmt, müssen o. g. Aussagen für diese Randbedingungen messtechnisch verifiziert werden. Um eine Abminderung der Wärmedämmwirkung von Mineralwollgedämmstoffen bei Windanströmung weitgehend ausschließen zu können, ist ein zwischen Luftspalt und Mineralwollgedämmung angebrachtes Vlies ausreichend. Dies wird durch Untersuchungen in [13] bestätigt. Darüber hinaus wird dort darauf verwiesen, dass der in den meisten Fällen beobachtete Anstieg des Wärmedurchgangs in erster Linie auf schlechte Verarbeitung zurückzuführen ist und daher auf gutes "Passen" der verwendeten Dämmprodukte zu achten ist.

Die Strömungsgeschwindigkeiten im Luftkanal sind bei mittleren Windgeschwindigkeiten sehr gering (bis etwa 0,3 m/s), eine eindeutige Vorzugsrichtung kann oftmals nicht festgestellt werden. Die Untersuchungen in [12] haben darüber hinaus gezeigt, daß belüftete Bekleidungen mit kleinformatischen Fassadenplatten bei den o. g. mittleren Windgeschwindigkeiten deutlich mehr durchströmt werden als entsprechende großformatige Abdeckungen. Dadurch erhöht sich der Wärmestrom durch die Wand, da Außenbedingungen im Luft-

spalt angenommen werden müssen. Vor diesem Hintergrund sind großformatige Fassadenplatten zu empfehlen. Darüber hinaus sollten die in DIN 4108, Teil 3 [4] angegebenen Regelungen für belüftete Fassaden neu überdacht werden, da es zumindest bei großformatigen Fassadenelementen sinnvoll erscheint, die Luftschicht hinter der Bekleidung mit einem entsprechenden Wärmedurchlasswiderstand, wie er z. B. in Tabelle 2 der o. g. Norm steht, anzurechnen. Dies müsste durch weitere messtechnische Untersuchungen unter realen Klimabedingungen nachgewiesen werden. An dieser Stelle darf auch darauf verwiesen werden, dass Feuchteabfuhr nicht nur durch Belüftung der Konstruktion möglich ist, sondern auch, bei nicht belüfteter Luftschicht, durch Tauwasserbildung an der Bekleidungsplatte und Abfluss erfolgen kann. Eine zusammenfassende Beurteilung dieses bauphysikalisch in vielen Fällen sinnvollerer Konstruktionstyps wird derzeit im IBP durchgeführt und demnächst veröffentlicht.

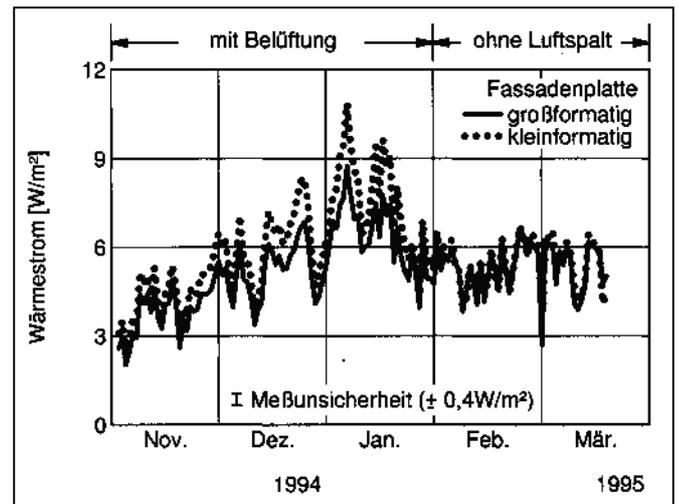


Bild 6: Zeitliche Verläufe der Wärmeströme durch die Wandkonstruktion. Unterschieden wird hinsichtlich der Varianten mit groß- bzw. kleinformatischen Fassadenplatten. Bis 31. Januar wurden die Messungen mit Belüftung durchgeführt, danach ohne Luftspalt. Mit angegeben wird die ermittelte Messunsicherheit.

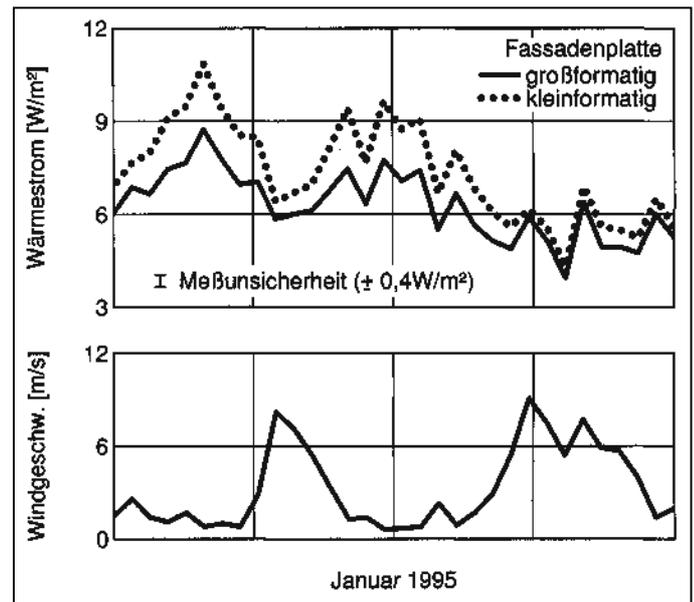


Bild 7: Zeitliche Verläufe der Wärmeströme durch die Wandkonstruktion für die Varianten mit groß- bzw. kleinformatischen Fassadenplatten (Bild oben) und der Windgeschwindigkeit. Mit angegeben ist die ermittelte Messunsicherheit.

7. Literatur

- [1] Künzel, H.; Großkinsky, T.: Untersuchungen zu Fragen im Zusammenhang mit ausgebauten Dachgeschossen - Flugschnee und Windeinwirkung. Bericht FB-26/1989 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen.
- [2] Künzel, H.; Großkinsky, T.: Untersuchungen an wärmegeprägten Satteldachkonstruktionen mit unterschiedlicher Neigung, Orientierung und Belüftung. Bericht FB-54/1994 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen.
- [3] DIN 18 516: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet. Beuth-Verlag, Berlin, Jan. 1990.
- [4] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, Beuth-Verlag, Berlin, Nov. 1991.
- [5] Gertis, K.: Belüftete Wandkonstruktionen. Thermodynamische, feuchtetechnische und strömungsmechanische Vorgänge in Kanälen und Spalten in Außenwänden. Berichte aus der Bauforschung, Heft 72, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin (1972).
- [6] König, N.; Sedlbauer, K.: Messtechnische und rechnerische Untersuchung zur Erfassung und Bewertung konstruktiv, klimatisch und stofflich bedingter Beeinträchtigungen des energiesparenden Wärmeschutzes gedämmter Außenbauteile im Neubau- und Sanierungsfall - Teilprojekt: Belüftete Außenbauteile. Bericht GB 133 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1996).
- [7] Gertis, K.; Künzel, H.: Wärme- und feuchtigkeitstechnische Untersuchungen an hinterlüfteten Holz-Außenwandelementen. Bericht B Ho 5/71 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen (1971).
- [8] Schwarz, B.: Witterungsbeanspruchung von Hochhausfassaden. HLH, Band 24 (1973), H. 12, S. 376-384.
- [9] Künzel, H., Mayer, E., Hoffmann, B.: Untersuchung der Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse bei Leichtbauwänden mit Klinker-Vorsatzschale und unterschiedlicher Belüftung bzw. Abdichtung. Bericht B Ho 9/76 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen (1976).
- [10] Künzel, H.; Mayer, E.; Popp, W.: Untersuchungen an Außenwänden mit "Eternit"-Bekleidungen. Bericht B Ho 23/80 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen (1980).
- [11] Künzel, H.; Mayer, E.: Untersuchungen über die notwendige Hinterlüftung an Außenwandbekleidungen aus großformatigen Bauteilen. Bericht B Ho 1/83 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen (1983).
- [12] Sedlbauer, K.; Kiebl, K.; Künzel, H. M.: Einfluss der Luftkonvektion auf den Wärmedurchlasswiderstand vorgehängter Fassaden mit Mineralwolle. Bericht HTB-8/1998 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen (1998).
- [13] Silberstein, A.; Langlais, C.: Zum Einfluss der Konvektion auf den effektiven Wärmedurchgangswiderstand von Baukonstruktionen mit Mineralwollgedämmstoffen, wksb 29 (1991), H. 28, S. 7-13.