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

Band: 13 (1988)

Artikel: Betonsandwichwände: Wechselwirkungen zwischen Bauphysik und Konstruktuion

Autor: Cziesielski, Erich

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-13125

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: 08.08.2025

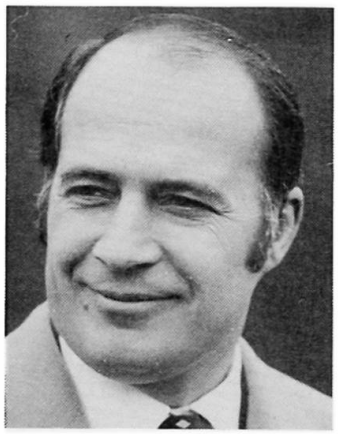
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Betonsandwichwände
Wechselwirkungen zwischen Bauphysik und Konstruktion

Sandwich Walls Made of Concrete
Relations between building physics and building construction

Murs sandwich en béton
Relations entre la construction et la physique du bâtiment

Erich CZIESIELSKI
Prof. Dr.
Technische Universität Berlin



Erich Cziesielski, geboren 1938, Studium des Bauingenieurwesens an der TU Berlin. Promotion an der Universität Hamburg. – Industrietätigkeit in Betonfertigteilwerken. -- Professur an der Technischen Universität Berlin: Bauphysik und Konstruktionen des Ingenieurhochbaues. Ingenieurbüro in Partnerschaft.

ZUSAMMENFASSUNG
Es wird zu aktuellen Problemen Stellung genommen und es werden Weiterentwicklungsmöglichkeiten von Betonsandwichwänden aufgezeigt. Behandelt werden: Wärmebrücken durch Verbindungsmittel, Fugen, Ausbildung von Frostschürzen, transparente Wärmedämmungen, inkorporierte Heizungen, Sanierung von Korrosionsschäden durch Wärmedämmung.

SUMMARY
The paper deals with sandwich walls made of concrete, especially with actual problems and the possibility of the further development of such sandwich walls. The points treated are: thermal bridges, joints, thermal insulation in the earth (frost protection) transparent thermal insulation, incorporation of heating systems, repairing of corrosion damage by thermal insulation.

RÉSUMÉ
L'auteur prend position sur des problèmes actuels et montre des possibilités de perfectionnement dans le domaine des murs sandwich en béton. Les sujets abordés sont: les ponts thermiques dûs aux moyens de raccordement, les joints, l'isolation thermique dans la terre (gel), les isolations thermiques transparentes, les chauffages incorporés, la réparation des dégâts de corrosion par une isolation thermique.

1. ZWECK UND ZIEL DES BEITRAGES

Die Bauphysik ist die mathematisch naturwissenschaftlich Grundlage für das Konstruieren. Die Wechselwirkungen zwischen der Bauphysik und dem Konstruieren sollen am Beispiel von Betonsandwichwänden dargestellt werden. Hierbei soll zunächst auf folgende aktuelle Fragestellungen eingegangen werden:

a. Stellen die stählernen Verbindungsmittel zwischen Vorsatzschale und tragender Wand Wärmebrücken dar?
b. Fugenausbildung,
c. Ausbildung von Frostschürzen,
d. Sanierung von Korrosionsschäden.

Weiterhin sollen mögliche Weiterentwicklungen bei Außenwänden aufgezeigt werden:

1. Wände mit inkorporierten Heizungen/Kühlsystemen,
2. Transparente Wärmedämmungen.

2. AKTUELLE FRAGESTELLUNGEN BEI BETONSANDWICHWÄNDEN

2.1 Wärmebrücken

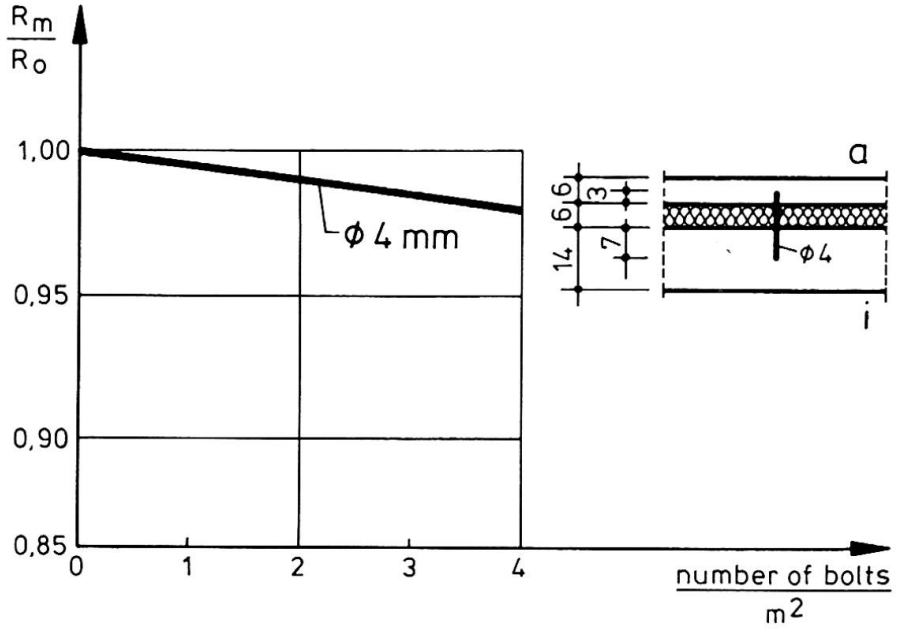
Bei der Konstruktion mit Betonfertigteilen ist in der Regel der erforderliche Wärmeschutz ohne besonderen Aufwand zu erreichen. Problematisch ist hingegen die quantitative Beurteilung von Wärmebrücken. - Entsprechend dem heutigen Wissensstand gibt es zwei Möglichkeiten, um den Einfluß von Wärmebrücken zu erfassen:

a. Versuchstechnische Verfahren nach der Heizkastenmethode,
b. analytische Verfahren.

Zur systematischen Erfassung von Wärmebrücken und zur Aufzeigung von Phänomenen wurden bisher beide Verfahren angewendet und die hinreichende Übereinstimmung beider Verfahren hinsichtlich der Ergebnisse nachgewiesen. Wegen des erheblichen Versuchsaufwandes und der bei den Versuchen bestehenden Fehlermöglichkeiten haben sich in letzter Zeit die analytischen Verfahren durchgesetzt, wenn auch die Erfassung räumlicher Wärmeströme an geometrisch komplizierten Konstruktionen Schwierigkeiten bereitet.

Um den Einfluß der Wärmebrückenwirkung von stählernen Verankerungen zwischen Vorsatzschale und tragender Wand zu erfassen, wurden sowohl Versuche als auch Berechnungen durchgeführt. Für stabförmige Verbindungsmittel sind in den Bildern 1 bis 3 die Ergebnisse dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die Verankerungen auf den Wärmedurchlaßwiderstand und die innere sowie äußere Oberflächentemperaturen einen nur geringen Einfluß besitzen, wenn man von einer bauüblichen Anzahl von Verankerungsstählen ausgeht ($n \leq 4$ Stähle/m^2).

Zur Abtragung des Eigengewichtes der Betonvorsatzschalen von Sandwichwänden werden Ankerkonstruktionen unterschiedlichster Bauart verwendet (Bild 4). Meß- und Rechenergebnisse zeigen, daß die Abminderung des Wärmedurchlaßwiderstandes durch die Anker relativ gering ist. Der prozentuale Einfluß eines solchen Ankers auf den Wärmedurchlaßwiderstand einer Außenwand wird auch von der Fläche der Außenwand bestimmt: Je nach Art des Ankers und der Größe der



R_m $[\frac{m^2 \cdot K}{W}]$ thermal resistance with bolts

R_o $[\frac{m^2 \cdot K}{W}]$ thermal resistance without bolts

Bild 1 Wärmedurchlaßwiderstand einer Wand mit Wärmebrücken (R_m) bezogen auf den Wärmedurchlaßwiderstand einer Wand ohne Wärmebrücken (R_o)

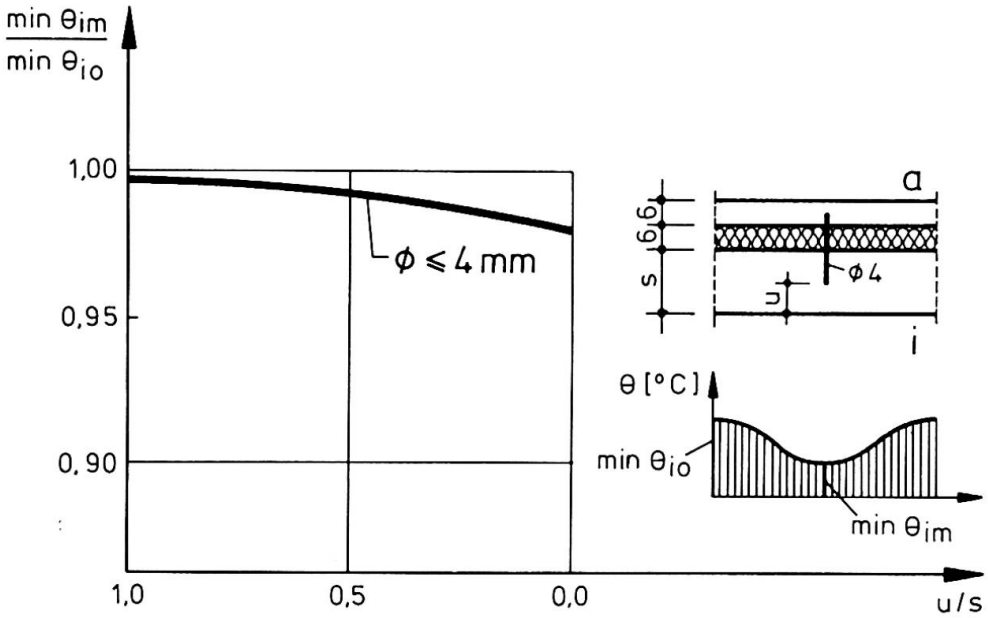


Bild 2 Innere Oberflächentemperatur an der Wärmebrücke (θ_{im}) bezogen auf die Temperatur im "ungestörten" Wandbereich (θ_{io})

Wände wird durch den Anker der Wärmedurchlaßwiderstand um maximal 3 % gemindert.

Näherungsweise wird empfohlen - insbesondere bei den heute vorherrschenden größeren Dicken der Wärmedämmstoffe -, den errechneten Wärmedurchlaßwiderstand einer Betonsandwichwand insgesamt um ca. 5 % zu mindern (2 % für die vier Stähle Ø 4/m² und ca. 3 % für den tragenden Anker).

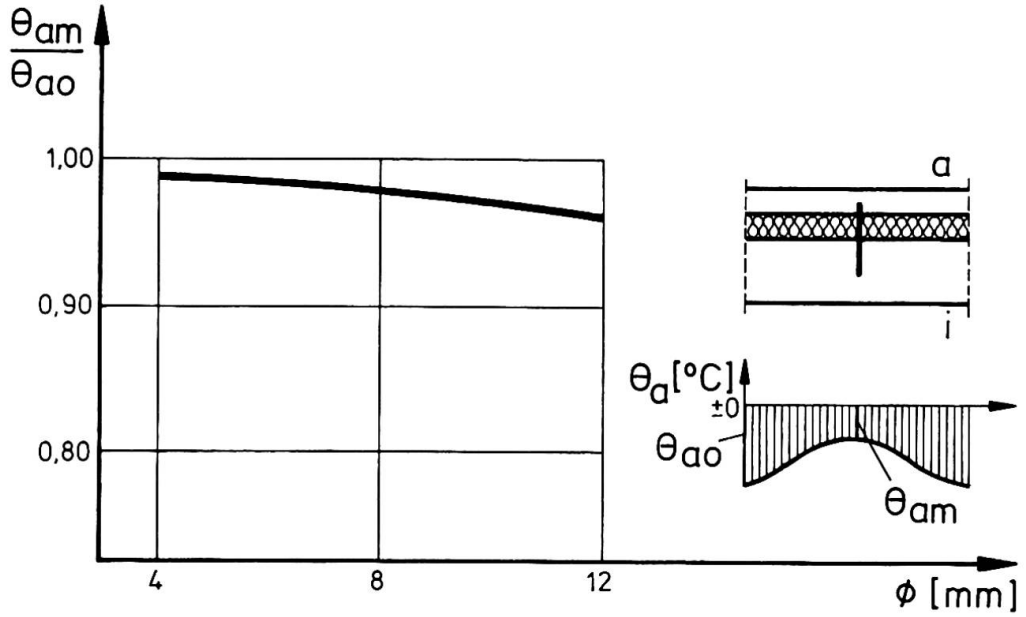


Bild 3 Äußere Oberflächentemperatur an der Wärmebrücke (θ_{am}) bezogen auf die Außenlufttemperatur (θ_{ao})

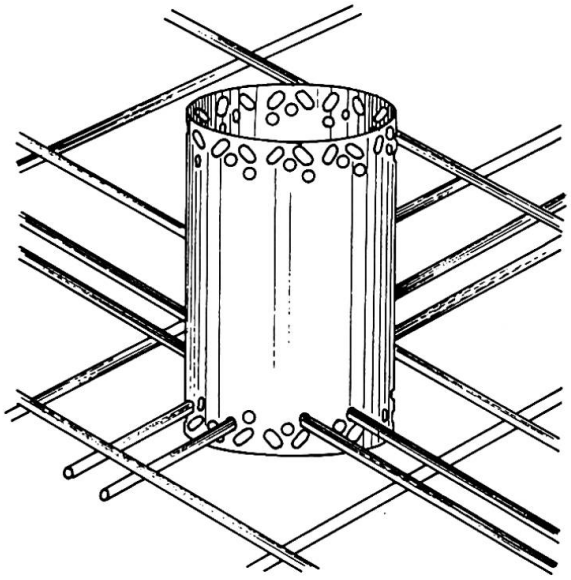


Bild 4 Anker zum Abtrag des Eigengewichts der Vorsatzschale ("Manschettenanker" - System deha)

Diese Empfehlung steht nur scheinbar im Widerspruch zu in der Literatur [1] angegebenen Meßergebnissen; dort wurden Abminderungen des Wärmedurchlaßwiderstandes zwischen 13 % und 41 % für eine 1 m^2 große Wand angegeben. Geht man von bauüblichen Größen der Außenwände von A ≥ 5 m^2 aus und werden die durch falsch verlegte Wärmedämmplatten verursachten Wärmeverluste ausgeschlossen, so kann auch mit diesen Ergebnissen die pauschale Empfehlung bestätigt werden, den Wärmedurchlaßwiderstand einer Betonsandwichkonstruktion um 5 % abzumindern, um den Einfluß sämtlicher stählerner Verankerungsstähle zu erfassen. Bei dieser Empfehlung wird vorausgesetzt, daß die beim Einlegen der Wärmedämmplatten im Bereich der Anker beschädigte Wärmedämmung nachgebessert wird und daß die Wärmedämmplatten zweilagig verlegt werden.

2.2 Fugen

Es gehört zum Stand der Technik bei Betonsandwichwänden, die Fugen entweder mit Dichtungsmasse zu schließen, was als problematisch bekannt ist, oder belüftete Fugen auszuführen. Bei den belüfteten Fugen treten in letzter Zeit dann Probleme auf, wenn im Bereich der Horizontalfuge die Betonüberdeckung zu gering ausgeführt wurde (Korrosion der Bewehrung, s.Abschnitt 2.3, Bild 7). Es besteht die Möglichkeit, die belüfteten Fugen z.B. mit einbetonierten PVC-Profilen auszuführen (Bild 5), wobei die Probleme der Betonüberdeckung weitgehend vermieden werden. - Eine Alternative besteht darin, die Fugen mit vorgefertigten Bändern z.B. aus Polysulfid zu überkleben (Bild 6). Die bisherigen Erfahrungen seit ca. 15 Jahren in Deutschland bestätigen diese Art der Fugenabdichtung.

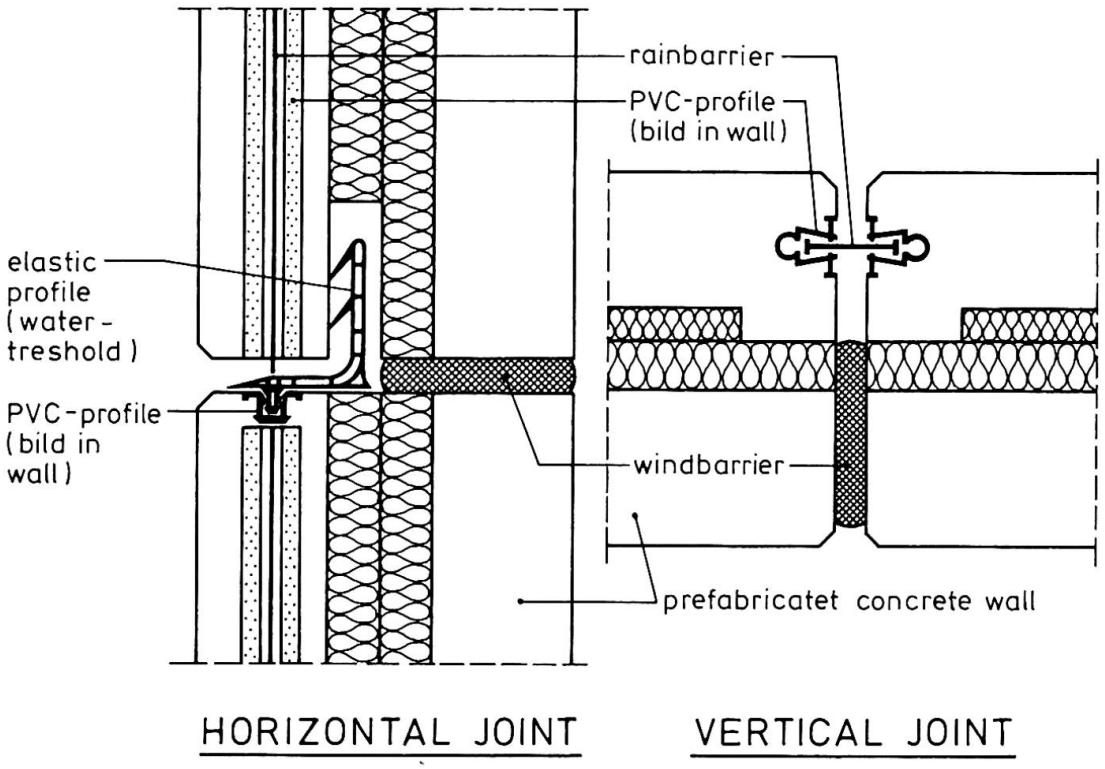


Bild 5 Belüftete Fugenkonstruktion (System Eurofit)

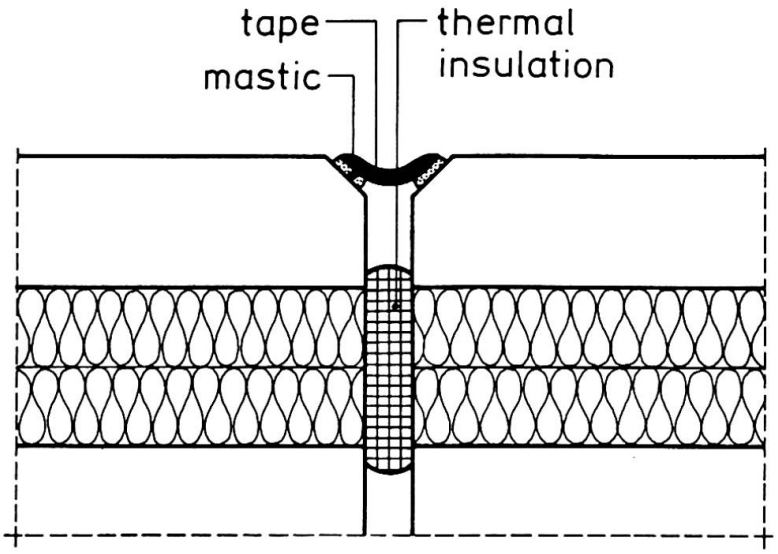


Bild 6 Abdichtung mit einem Fugenband aus Polysulfid, Silicon o.ä.

2.3 Sanierung von Korrosionsschäden

Die Bewehrung in den Vorsatzschalen - insbesondere im Bereich der Wandränder - ist in der Vergangenheit oft so verlegt worden, daß die erforderliche Betondeckung nicht eingehalten wurde. Betonabplatzungen infolge der korrodierenden Bewehrung waren die Folge (Bild 7).

Bild 7 Betonabplatzung im Bereich offener Horizontalfugen infolge Korrosion der Bewehrung

Eine Instandsetzung der Wände nach der heute üblichen Technik des Sanierens ist die Regel, wobei die Vielzahl der Arbeitsgänge eine äußerst sorgfältige handwerkliche Arbeit verlangt, damit der Schaden dauerhaft beseitigt wird (Bild 8).

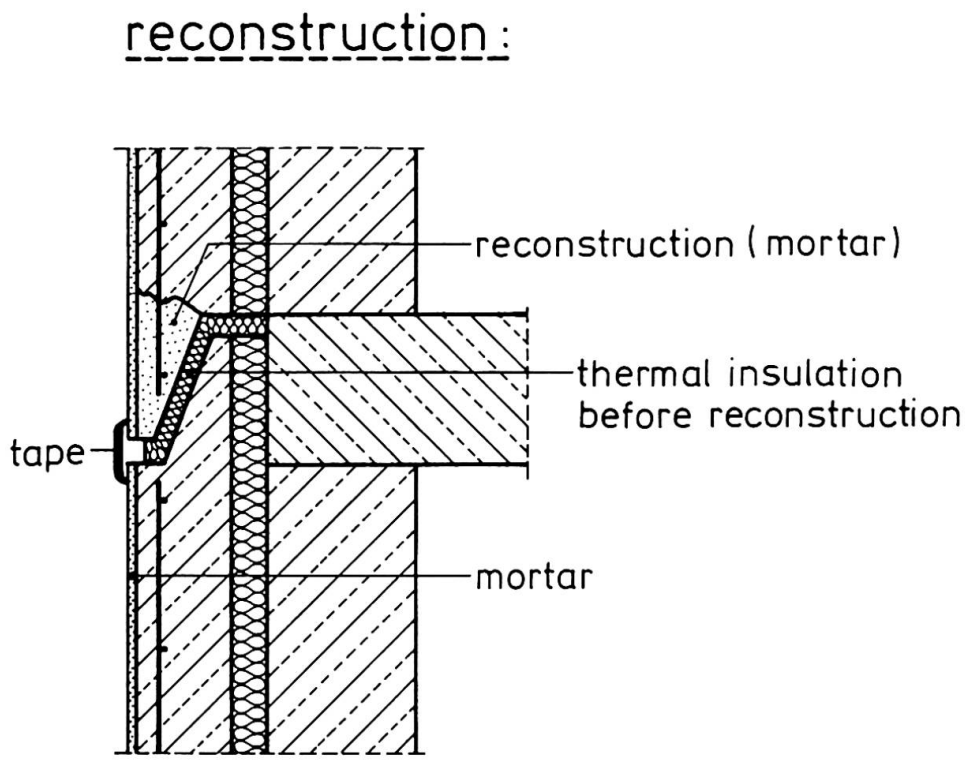


Bild 8 Reparatur der geschädigten Horizontalfuge durch ein Betonsanierungssystem

Ein anderer Weg, den Korrosionsprozeß zu stoppen und den Schaden zu beheben besteht darin, die gesamte geschädigte Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem zu versehen.

Dem Gedanken, durch ein Wärmedämmverbundsystem den Korrosionsprozeß zu stoppen, liegt die Überlegung zugrunde, daß zur Korrosion eines Bewehrungsstahles drei Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sein müssen:

- Die Passivierung der Stahloberfläche im Beton muß aufgehoben sein - durch Karbonatisierung oder schädliche Salze -,
- Sauerstoff muß zutreten können und
- ein Elektrolyt muß vorhanden sein, d.h., der Beton muß ausreichend feucht sein.

Die sinnvollste Maßnahme im nicht chloridbelasteten Hochbau ist es, die Karbonatisierung des Betons so rechtzeitig einzudämmen, daß während der geplanten Lebensdauer des Bauwerks der Karbonatisierungshorizont die Stahlbewehrung nicht erreicht. Dies ist bei Gebäuden mit sichtbaren Korrosionsschäden nicht mehr möglich.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, den Zutritt von Sauerstoff zu verhindern. In diffusionsoffenen Baustoffen wie Beton ist dies nur direkt am Stahl möglich, z.B. durch dichte Kunststoffbeschichtungen; dies ist einer der Wege der "klassischen" Betoninstandsetzung.

Als dritte Möglichkeit der Korrosionshemmung bleibt noch, den Beton dauerhaft so trocken zu halten, daß mangels ausreichendem Elektrolyten keine Betonstahlkorrosion stattfinden kann.

Bisherige Untersuchugnen haben gezeigt, daß durch ein nachträglich aufgebrachtes Wärmedämmverbundsystem die Feuchte in der tragenden Betonwand und in der Vorsatzschale sinkt:

- Im ursprünglichen Zustand ist die tragende Schale der Wand deutlich trockener als die längere Zeit durchfeuchtete Vorsatzschale,

- nach Aufbringen der zusätzlichen Wärmedämmung wird die Tragschale geringfügig trockener als vorher,

- während die Vorsatzschale nicht nur deutlich trockener als vorher, sondern auch noch trockener als die tragende Wandschale im ursprünglichen Zustand wird.

Da die Vorsatzschale nach Aufbringen eines Wärmedämmverbundsystems (Bild 9) keine Schlagregenbeanspruchung mehr erhält, dürfte die Bewehrung somit bei normal genutzten Innenräumen nicht weiter korrodieren. Diese auf theoretischem Wege gefundene Erkenntnis wird

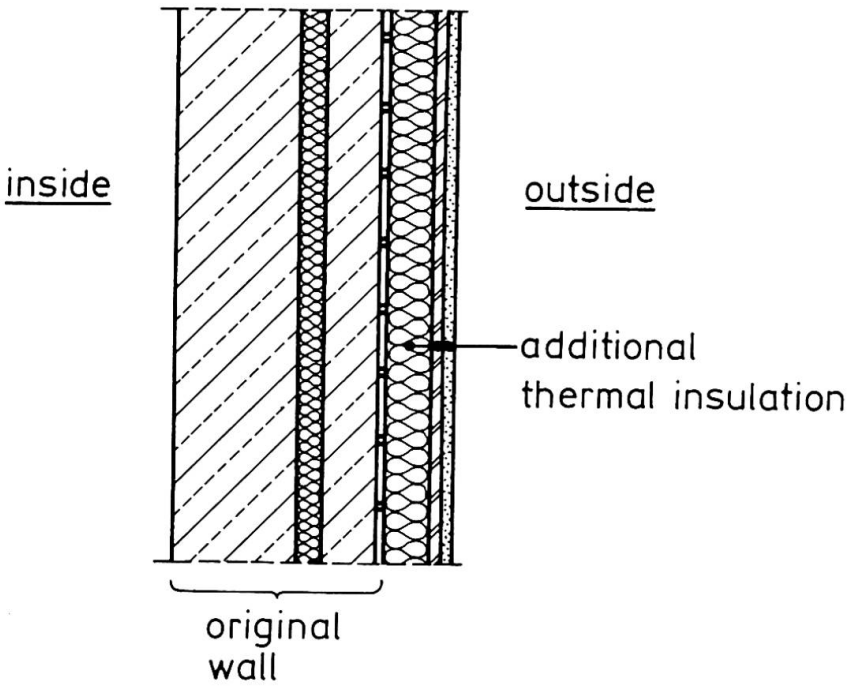


Bild 9 Sanierung der korrodierten Bewehrung durch nachträgliches Aufbringen einer Wärmedämmung

durch Beobachtungen an ausgeführten Bauten vollinhaltlich bestätigt: Betonwände, die im Wohnungsbau und ähnlich genutzten Gebäuden ausgeführt wurden, sind an den zum Raum hin orientierten Seiten in der Regel erheblich karbonatisiert, so daß für die innenliegende Bewehrung die passiverende Schutzschicht verlorengegangen ist; dennoch sind noch nie Korrosionsschäden im Beton beobachtet worden, bei denen die Betonoberflächen dem Rauminnern hin zugewandt waren.

Zusammenfassung: Durch Aufbringen einer zusätzlichen äußeren Wärmedämmung (Bild 9) im Bereich der Wohnungsaußenwände kann die Bewehrungskorrosion in den Vorsatzschalen nachhaltig gehemmt werden. Darüber hinaus wird ein zusätzlicher Wärmeschutz erzielt. - Bestätigungsversuche werden zur Zeit durchgeführt.

2.4 Frostschürzen

Im Industriebau werden in der Regel Frostschürzen entsprechend Bild 10 ausgeführt. Anstelle der nur bedingt wirksamen massiven Frostschürze können auch wärmedämmende Platten aus extrudiertem Polystyrol verwendet werden, die bereits bei einer Einbindetiefe von 45 cm in das Erdreich ein Auffrieren des Bodens wirksam verhindern. - Für Hallenkonstruktionen, bei denen für die Außenwände aus statischen Gründen kein tragendes Streifenfundament vorhanden sein muß, stellt die in Bild 11 dargestellte Konstruktion - auch unter Berücksichtigung des Bauablaufs - eine mögliche Konstruktionsvariante dar.

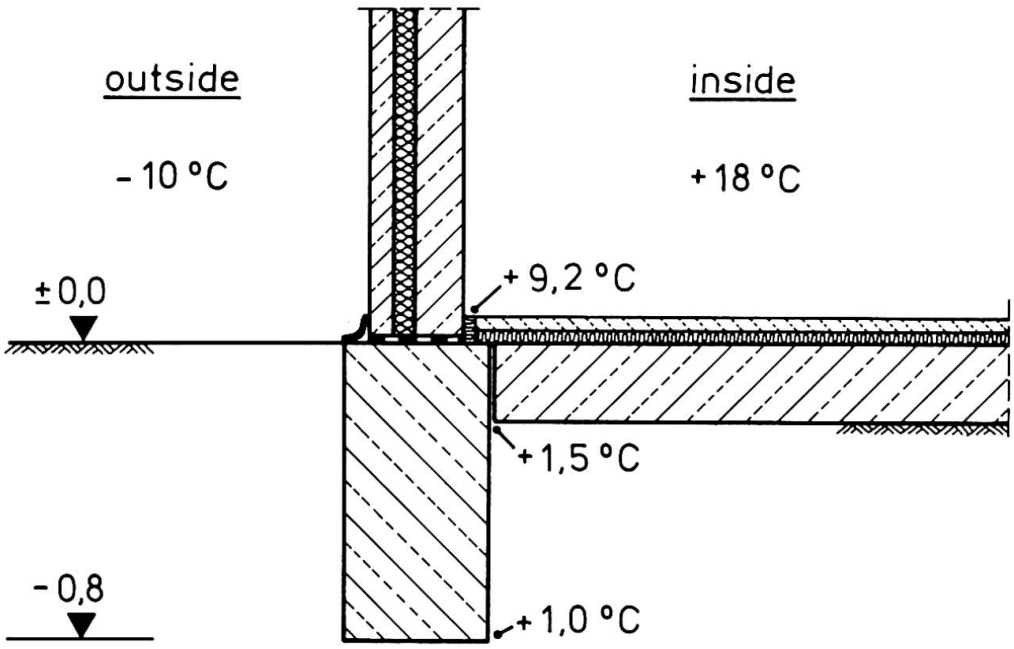


Bild 10 Übliche Frostschürze, die durch ein Streifenfundament gebildet wird

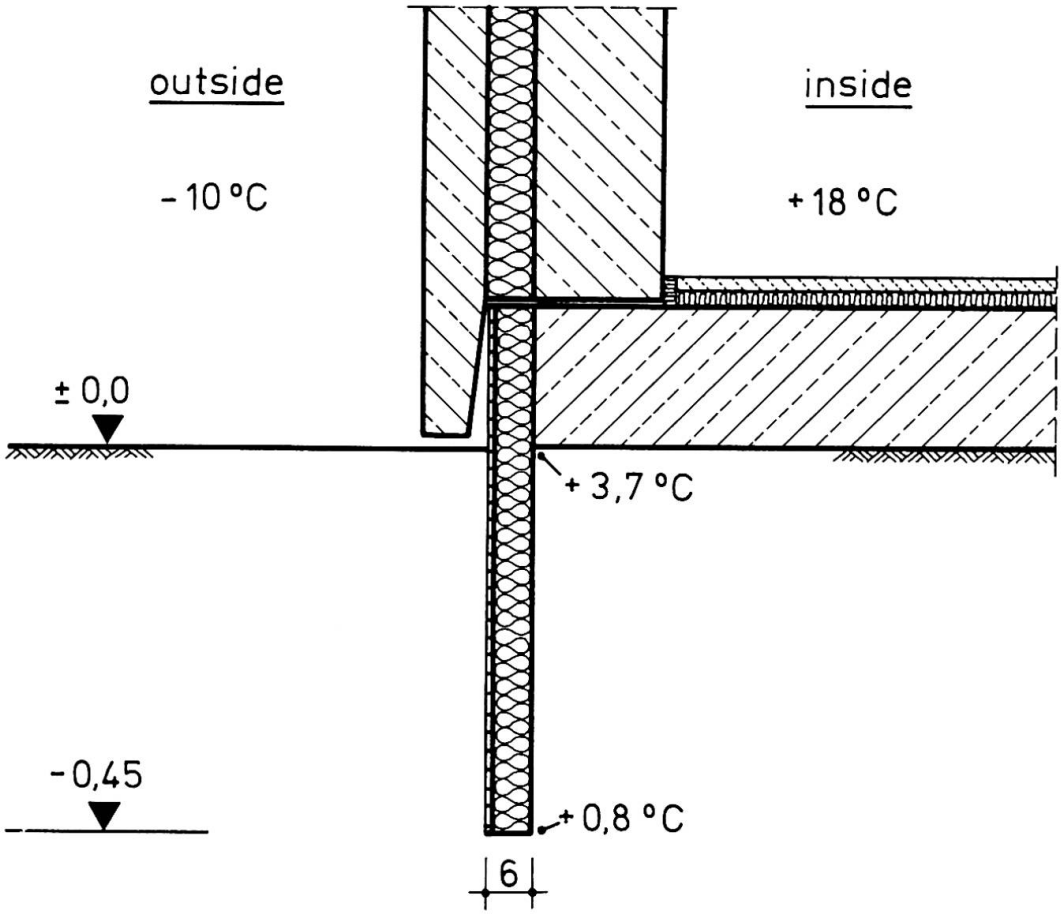


Bild 11 Frostschutz unterhalb der Bodenplatte durch eine Wärmedämmung (extrudiertes Polyst yrol), die durch eine Kaschierung stabilisiert wird

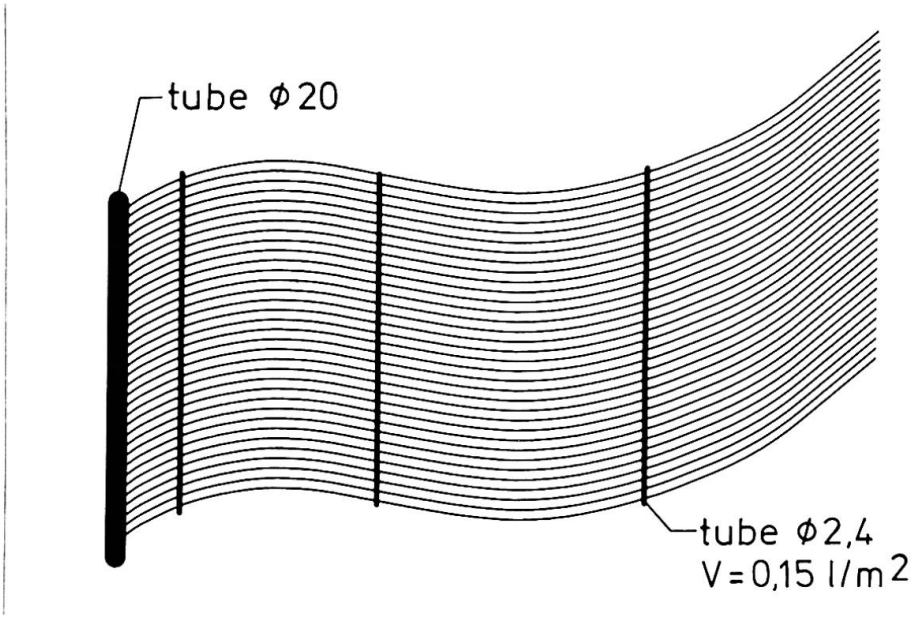


Bild 12 Kapillarrohr-System zum Einbetonieren in eine Wand als Heizung und Kühlsystem [2]

3. MÖGLICHKEITEN DER WEITERENTWICKLUNG VON BETONSANDWICHWÄNDEN

3.1 In die Wände eingebaute Heiz- bzw. Kühlsysteme

Die Wirtschaftlichkeit von vorgefertigten Bauteilen ist in immer höherem Maß dann gegeben, wenn in die Bauteile Teile des Ausbaues einbezogen werden. Es bietet sich an, in die Wände eine Warmwasserheizung, die gleichzeitig auch zur Kühlung herangezogen werden kann, zu inkorporieren.

In Deutschland ist ein Rohrsystem - ein sogenanntes Kapillarrohrsystem entwickelt worden (vgl. Bild 12) [2]. Das Rohrsystem besteht aus einer Vielzahl von flexiblen Röhren mit einem Durchmesser von nur 2,4 mm, die in zwei Sammelrohre Ø 20 mm münden. Aufgrund ihres geringen Durchmessers und des engen Abstandes der Rohre wird eine gleichmäßige Erwärmung der Wand erreicht, während die Tragfähigkeit der Wand gemindert wird. Tragfähigkeitsversuche haben ergeben, daß unbewehrte Wände aus Normalbeton, in die das Rohrsystem einbetoniert war, eine um ca. 20 % geringere Druckbeanspruchung aufwiesen im Vergleich zu Wänden, in die das Rohrsystem nicht einbetoniert war. - Die Bilder 13 und 14 zeigen den Einbau der Rohre in die Wände. - Die Bilder 15 und 16 zeigen die Wände unter Normalkraftbeanspruchung im Bruchzustand. Der Bruch wurde durch das am Wandkopf liegende Sammelrohr eingeleitet (erhöhte Querzugspannungen). Die verminderte Querzugfestigkeit am oberen bzw. unteren Rand der Wand kann durch eine Bügelbewehrung ausgeglichen werden. - Weiterhin wurde festgestellt, daß durch das Rohrsystem ein verringerter Verbund zwischen den an das Rohrsystem grenzenden Betonschichten vorhanden war.

Für die Heizung wird Wasser mit einer Vorlauftemperatur von 30 °C verwendet. Soweit die Außenwandflächen nicht ausreichen, um die erforderliche Wärmemenge in den Raum abzugeben, können Innenwände oder Decken ebenfalls mit dem Rohrsystem versehen werden.

Eine Untersuchung einer Wand, bei der in die Rohre abwechselnd + 60 °C warmes Wasser und Wasser von + 12 °C geleitet wurde (Temperaturschock), hat die Wand ohne Risse überstanden.

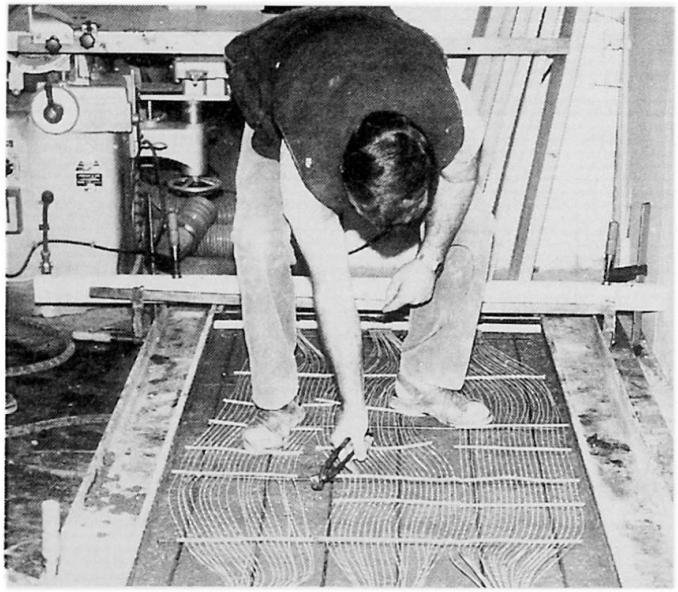


Bild 13 Verlegen der Rohrmatte

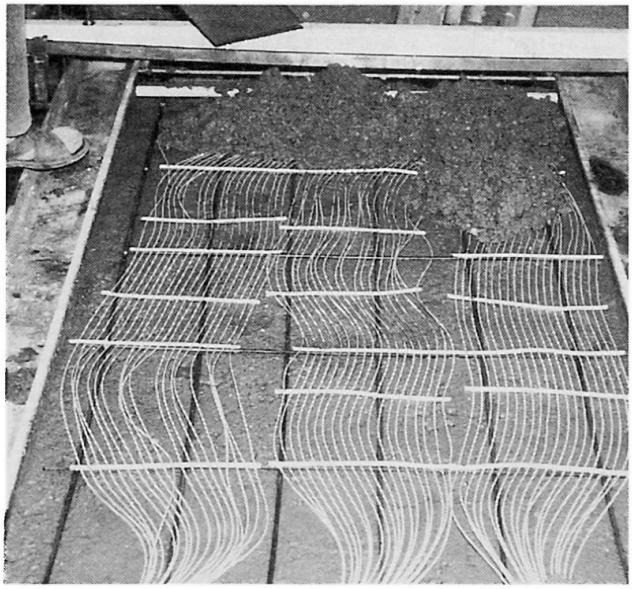


Bild 14 Einbau der Rohrmatte

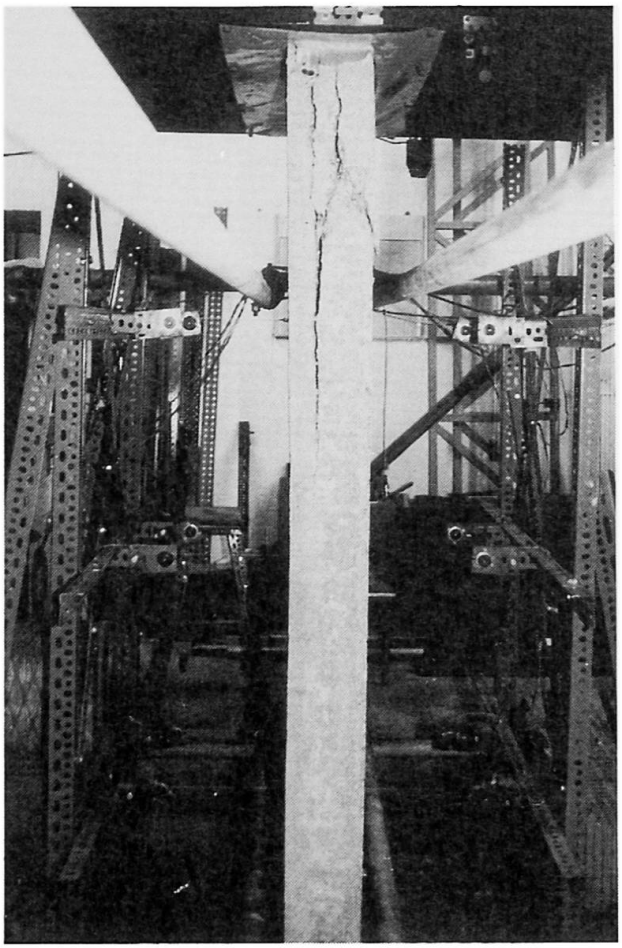


Bild 15 Wand mit Rohrmatte bei der Bruchbelastung

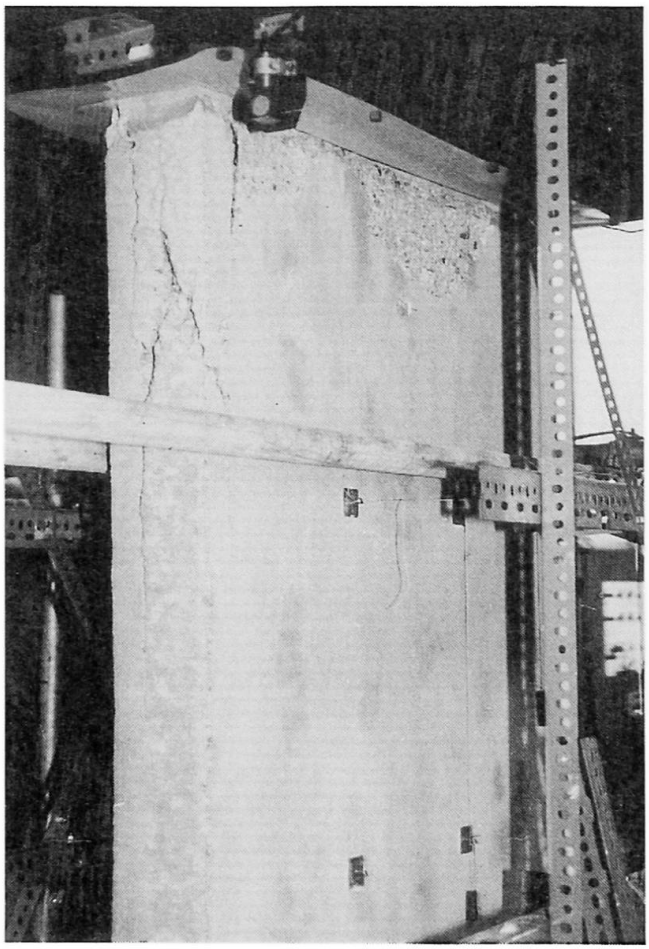


Bild 16 Bruchbild

Wird in das Rohrsystem kühles Wasser (Leitungswasser) eingespeist, so kann die Wandfläche auch als Kühlsystem wirken. Durch die Kühlung der Räume über die Wandflächen entfällt ein Nachteil der konventionellen Klimaanlagen, bei denen kühle Luft in die Räume geblasen wird, wodurch Zugerscheinungen auftreten. - Mit dem Rohrsystem können Kühllasten bis zu 80 W/m^2 aus den Räumen ohne Luftbewegung abgeführt werden. Wasser eignet sich im Vergleich zur Luft besser für den Wärmeabtransport, da ihre spezifische Wärmekapazität wesentlich größer ist. Hinzu kommt, daß für die Kühlung keine Kältemaschinen benötigt werden; es reicht in der Regel ein Verdunstungskühler, um die den Räumen entzogene Wärme an die Außenluft abzugeben bzw. es kann die Wärme auch an das Erdreich im Keller des Gebäudes abgegeben werden. - Bisherige Vergleichsberechnungen haben ergeben, daß mit der "Wandkühlung" ein besseres Raumklima mit wesentlich geringeren Energiekosten erreicht wird.

Um beim Einbringen von Befestigungsmitteln in die Wände die Rohre nicht zu beschädigen, empfiehlt es sich, durch Temperaturmessungen (Indikatorpapier) die Lage der Rohre vor dem Bohren zu orten. Sollte dennoch ein Rohr beschädigt werden, so kann durch ein Einstecken einer heißen Nadel in das Bohrloch das Rohr wirksam wasserdicht verschweißt werden.

3.2 Transparente Wärmedämmung

Die Entwicklung transparenter Wärmedämmungen kann dazu beitragen, daß der Energiebedarf eines Gebäudes in hohem Maße eingeschränkt wird [3]. Die Wirkung der transparenten Wärmedämmung nutzt die Durchlässigkeit des Glases und anderer transparenter Materialien beim Auftreffen k u r z w e l l i g e r Wärmestrahlen aus. Die von der Sonne abgestrahlte kurzwellige Wärmestrahlung geht durch das Glas und die transparente Wärmedämmung hindurch und trifft auf die dahinter liegende tragende Wand (Bild 17). Die massive Wand ist nicht strahlungsdurchlässig; die Wärme wird absorbiert und die Wand wird dabei erwärmt. Die absorbierte Wärme kann nicht wieder nach außen abgegeben werden, da einerseits die transparente Wärmedämmung eine Wärmetransmission nach außen weitgehend verhindert und andererseits die von der Wand ausgehende l a n g w e l l i g e Wärmestrahlung von den transparenten Materialien ebenfalls am Durchgang behindert werden.

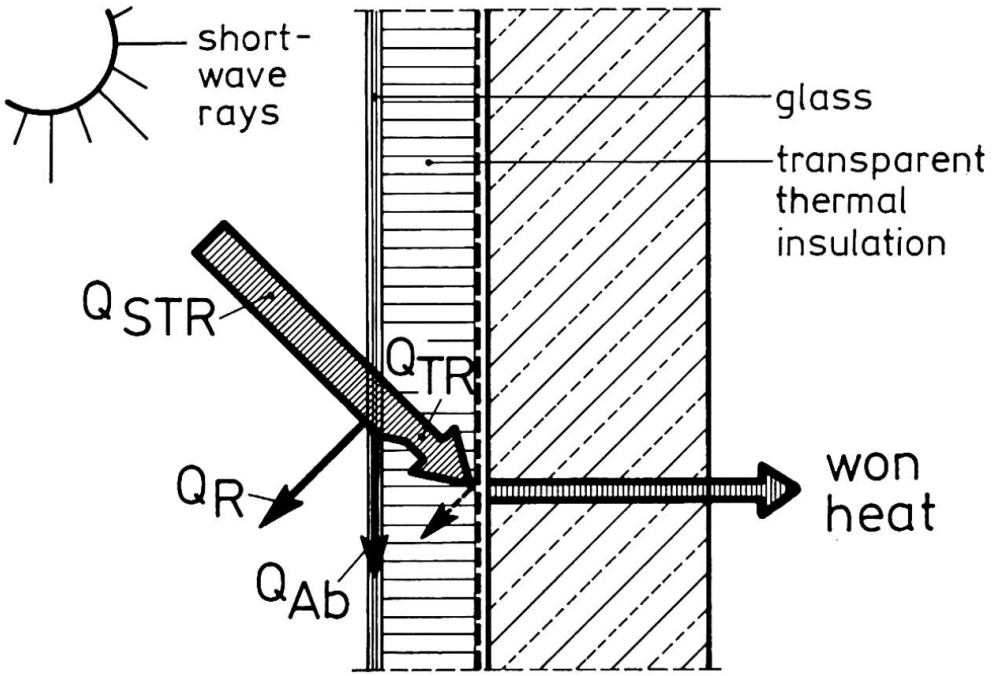


Bild 17 Wärmegewinn durch eine transparente Wärmedämmung

Bei den heute ausschließlich verwendeten opaken (nichttransparenten) Wärmedämmstoffen wird die von der Sonne ausgehende Wärmestrahlung nicht durchgelassen; sie wird an der Außenoberfläche der Wand absorbiert und zum überwiegenen Teil nach außen abgegeben, so daß nur ein geringer Wärmegewinn entsteht.

In Bild 18 ist ein möglicher Wandaufbau dargestellt. An transparenten Wärmedämmstoffen sind bisher untersucht worden [3]: Acrylschaum, Glasfaservlies, Glaskugeln, Wabenkonstruktionen. Es ist darauf zu achten, daß die Dämmstoffe nicht durch die Erwärmung geschädigt werden; dies gilt insbesondere für Dämmstoffe aus organischen Materialien.

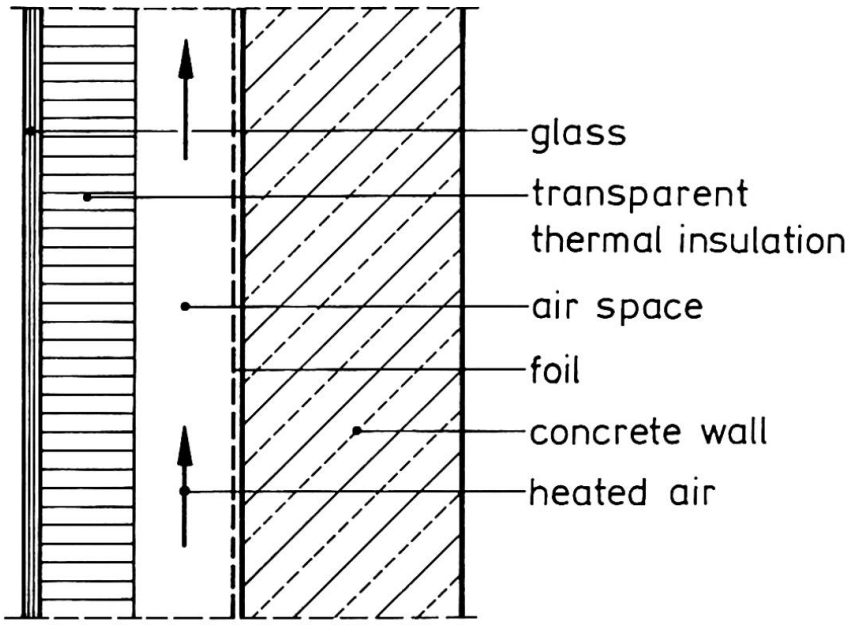


Bild 18 Wandaufbau mit einer transparenten Wärmedämmung

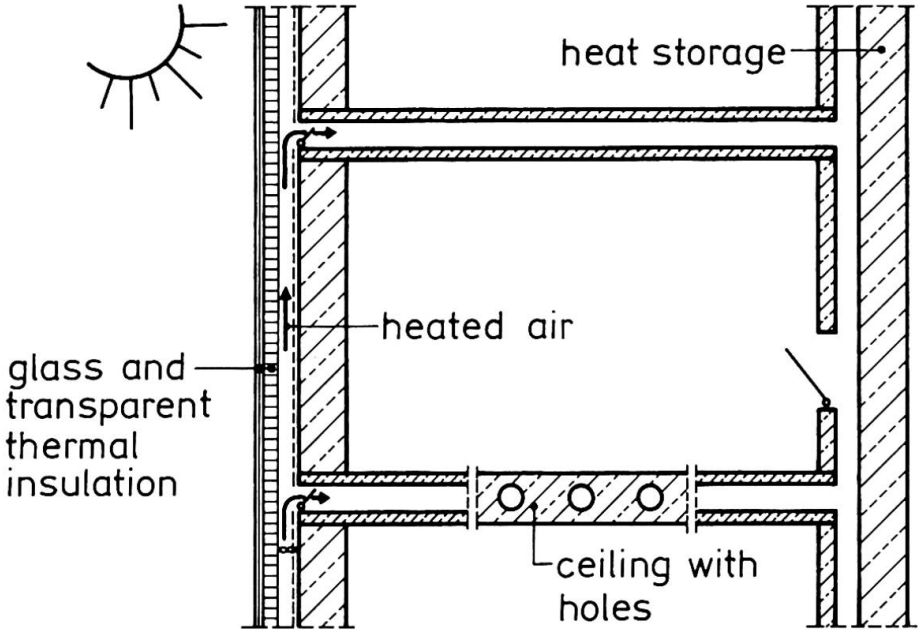


Bild 19 Prinzip der Konstruktion eines Gebäudes zur Nutzung der Wärmestrahlung

Da die Wärmestrahlung nicht konstant anfällt (z.B. nicht während der Nacht) und auch nicht mit gleicher Intensität während eines Tages, muß für die Nutzung der intermittierend anfallenden Wärmestrahlung ein Speicher (z.B. massive Wände oder Decken) vorgesehen werden. Der prinzipielle Aufbau eines Gebäudes, bei dem die Wärmestrahlung genutzt wird, ist in einer Prinzipskizze dargestellt (Bild 19). In der Bundesrepublik Deutschland stehen bereits einige Testhäuser, in denen die Wirksamkeit der transparenten Wärmedämmung untersucht wird.

Ein vorläufiges Zwischenergebnis dieser Untersuchungen ist, daß selbst dann, wenn nicht sämtliche Außenwandflächen eines Gebäudes mit transparenten Wärmedämmstoffen versehen wurden, der Engergiebedarf zur Heizung des Gebäudes erheblich reduziert wird: der spezifische Jahreswärmeverbrauch für Häuser mit einer opaken Wärmedämmung beträgt im untersuchten Fall 47,0 kWh/m^2, während das gleiche Testhaus mit einer transparenten Wärmedämmung einen Energiebedarf von nur 9,9 kWh/m^2 aufwies (Engergieeinsparung ca. 79 %).

Theoretisch denkbar wäre es, auch in der Bundesrepublik Deutschland, wo nur mäßige Wärmestrahlungsintensitäten auftreten, völlig auf eine zusätzliche Heizung zu verzichten. Das Problem, das sich dann stellt, ist, wie der Überschuß an Wärme vom Gebäude - insbesondere im Sommer - ferngehalten werden kann. Denkbar sind außen vor der Verglasung angebrachte Sonnenschutzvorrichtungen oder Glaseinfärbungen, die bei einer bestimmten Temperatur den Durchgang der Wärmestrahlen verhindern. Entsprechende Untersuchungen und weiterführende Forschungen werden zur Zeit in Deutschland durchgeführt, damit dieses Konzept praxisreif gemacht wird und auch von den Architekten akzeptiert wird.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurde gezeigt, daß die Bauphysik die mathematisch naturwissenschaftliche Grundlage für das Konstruieren ist. - Für Betonsandwichwände sind einige in der Feuchtwelt diskutierte Fragen auf der Grundlage bauphysikalischer Erkenntnisse beantwortet worden. Weiterhin wurden Weiterentwicklungsmöglichkeiten im Bereich von Wänden aufgezeigt.

LITERATURVERZEICHNIS

1. SCHÜLE W., Untersuchung über die Wirkung von Wärmebrücken in Montagewänden. FBW-Blätter, Stuttgart, Juni 1963.

2. Unterlagen der Firma Dr. Walter Herbst AG, Haynauer Str.47, 1000 Berlin 46.

3. GERTIS K., Außenwände mit transparenten Wärmedämmstoffen. Verlag W. Ernst & Sohn; Bauphysik, September 1987, Heft 5.

Leere Seite
Blank page
Page vide