

Temperatur- und Feuchteverhältnisse
in der Umgebung von metallischen
Befestigungselementen für Bekleidungen
belüfteter Außenwände

T 2400

T 2400

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. Karl A. Gertis

Ämtlich anerkannte Prüfstelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten · Forschung, Prüfung und Beratung auf dem Gebiet der Bauphysik

IBP-Bericht FtB-7/1989

Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Umgebung von metallischen Befestigungselementen für Bekleidungen belüfteter Außenwände

Überarbeiteter Schlußbericht zum Forschungsauftrag "Feuchteeinwirkung auf metallische Befestigungselemente (Dübel) hinterlüfteter Fassaden"

Die Untersuchungen wurden durchgeführt im Auftrag des Instituts für Bautechnik,
Berlin (Az.: IV 1-5-486/86).

Der Bericht umfaßt:

19 Seiten Text

4 Tabellen

10 Bilder

Holzkirchen, 07. Januar 1992

Abteilungsleiter:



Dr.-Ing. K. Kießl

Institutsleiter:



Prof. Dr.-Ing. habil.

Dr. h.c. Karl A. Gertis

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung

2. Bauphysikalische Betrachtung der Befestigungsvarianten

3. Luftzustände im Spalt

4. Auswirkungen im Dübelbereich

4.1 Thermische Auswirkungen

4.2 Feuchtetechnische Auswirkungen

4.3 Rechnerische Überprüfung

4.4 Auswirkungen von Parameteränderungen

5. Zusammenfassung und praktische Konsequenzen

6. Literatur

1. Problemstellung

Bekleidungen von belüfteten Außenwänden müssen über spezielle Befestigungssysteme an der inneren Wandschale verankert werden. Der Abstand zwischen Bekleidungsschicht und innerer Wandschale nimmt in letzter Zeit zu, weil neben dem bei belüfteten Außenwänden üblichen Luftspalt von 2 bis 4 cm Weite mit den steigenden Anforderungen an den Wärmeschutz auch Wärmedämmschichten zwischen Luftspalt und innerer Wandschale angeordnet werden müssen. Die Dicke der Dämmschicht wächst neuerdings auf 12 cm bis 16 cm an, so daß - zusammen mit dem Luftspalt - vom Befestigungssystem Abstände bis zu ca. 20 cm überbrückt werden müssen.

Die Befestigungselemente müssen einen dauerhaft sicheren Verbund zwischen Bekleidung und innerer Wandschale herstellen. Da hierbei, insbesondere bei höheren Fassaden, profunde sicherheitstechnische Belange auftreten, bedürfen derartige Fassadenkonstruktionen einer bauordnungsrechtlichen Überprüfung, die wegen der erforderlichen Langzeitbeständigkeit auch Fragen des Korrosionsverhaltens der metallischen Befestigungselemente einschließen müssen. Für Schwer- bzw. Mittellastankerdübel, dübelbefestigte Ankerplatten oder Ankerschienen bzw. Metallprofile, Distanzhalter etc. spielt hierbei der im Luftspalt hinter der Bekleidung und in der Umgebung des Befestigungselementes im Dübeluntergrund unter praktischen Bedingungen vorhandene Feuchtehaushalt eine entscheidende Rolle. Da dieser wiederum vom Wärmeverhalten des Luftspaltes und der umgebenden Wandzonen abhängt, müssen die Temperatur- und Feuchteverhältnisse untersucht werden, die in ausgeführten Fassaden in der Umgebung der Befestigungselemente auftreten. Die Klärung dieser Verhältnisse ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Klimatische Randbedingungen, die durch die Temperatur und Feuchte der Außenluft, durch die Sonneneinstrahlung und die Windanströmung der Fassade mitgeprägt werden, müssen hierbei ebenso berücksichtigt werden, wie die baukonstruktiven und werkstoffspezifischen Parameter. Die Untersuchung soll darüber Aufschluß geben, welcher Feuchtebeanspruchung die metallischen Befestigungselemente ausgesetzt sind. Nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist es jedoch, die aus der feuchtetechnischen Beanspruchung resultierenden Korrosionsvorgänge aufzuzeigen. Es handelt sich also um bauphysikalische Aussagen, welche für Korrosionsbeurteilungen zugrundegelegt werden können, nicht aber um korro-

sionsspezifische Aussagen selbst.

2. Bauphysikalische Betrachtung der Befestigungsvarianten

Belüftete Außenwandkonstruktionen bestehen in bauphysikalischer Hinsicht aus den in Bild I oben (Fall A) schematisch dargestellten Schichten. Die innere Wandschale kann aus Beton oder Mauerwerk erstellt sein. Ihr folgt nach außen die Wärmedämmschicht, an die ein mit der Außenluft in Verbindung stehender Luftspalt angrenzt. Die Bekleidung schließt die Wand nach außen ab; sie übernimmt in erster Linie die Funktion des Regenschutzes. Fall A ist - als Ausgangsfall - dadurch gekennzeichnet, daß an dieser Stelle kein Befestigungselement vorhanden ist; die Wärmedämmschicht verläuft somit ohne Unterbrechung bzw. Störung durch.

In den Fällen B bis E sind weitere bauphysikalische Varianten in schematischer Darstellung wiedergegeben. Bei dieser schematischen Darstellung ist bewußt auf Dübeln, wie Muffe, Spreizhülse, Konus, Befestigungsschraube etc. verzichtet worden, weil diese keine grundsätzliche bauphysikalische Auswirkung zeitigen. Lediglich die Unterlegscheibe oder Auflagerplatte wurde in die systematische Darstellung aufgenommen; diese besitzt nämlich thermisch eine nicht zu vernachlässigende Querleitungswirkung für den Wärmetransport. Thermisch ebenfalls von Bedeutung ist die Tatsache, ob und auf welche Breite die Wärmedämmschicht unterbrochen wird. Fall B, bei dem noch kein Dübel, sondern nur eine kreisförmige Aussparung der Dämmschicht vorhanden ist, verhält sich - wegen der thermischen Störung durch die Aussparung - auch in feuchtetechnischer Hinsicht anders als Fall A.

Bei Fall C wird die Dämmschicht nur auf den Durchmesser des Dübels selbst unterbrochen; ein breites Dämmschichtloch ist nicht vorhanden. Allerdings besitzt das Befestigungselement beidseits der Dämmung eine "thermische Verteilungsplatte".

In den Fällen D und E weist die Wärmedämmschicht ein größeres Loch auf, wobei im Falle E zusätzlich eine Unterlegscheibe bzw. Ankerplatte angenommen wurde. Die Platte besitzt eine zweifache bauphysikalische Wirkung:

- Sie stellt thermisch - wegen der hohen Wärmeleitfähigkeit von Metall - einen vorzüglichen "Querleiter" dar, der die Wärmebrückenwirkung des Dübels verstärkt.
- Sie stellt hygrisch eine Feuchtesperre dar, die den Feuchtetransport von außen nach innen oder von innen nach außen in dem Bereich, in dem sie angebracht ist, unterbindet.

Die Fälle A bis E umspannen sämtliche bauphysikalische Varianten. In Bezug auf die im vorliegenden Fall nötige Aussage ist Fall E der relativ kritischste, weil hierbei

- die Wärmedämmung relativ breit unterbrochen wird
- die Wärmebrückenwirkung des Dübels durch die querleitende Platte noch verstärkt wird
- die Platte wie eine (falsch angeordnete) Dampfsperrschicht wirkt, vor der sich die von innen eindiffundierte Feuchte (oder die im Beton enthaltene Anfangsfeuchte) staut.

Der Fall E wird deswegen später detaillierter untersucht. Die Fälle A bis D führen in logischer Folge auf Fall E; sie gestatten z.T. auch eine deutlichere Darstellung der Wirkung von Einzeleinflüssen, die bei Fall E vermischt auftreten und deshalb nicht so einprägsam herausgearbeitet werden können.

3. Luftzustände im Spalt

Der Wärme- und Feuchtehaushalt belüfteter Wandkonstruktionen ist in [1] sehr gründlich untersucht worden.

Die Temperatur, Feuchte und Geschwindigkeit der Luft im Spalt zwischen Bekleidung und Wärmedämmschicht wurden ferner in [2] [3] unter praxisnahen Bedingungen nachgemessen. Bild 2 veranschaulicht die Zeitverläufe der Lufttemperatur und Luftfeuchte im Spalt einer belüfteten Außenwand mit Angabe der

Außenzustände während eines strahlungsreichen Wintertages mit schwachem Wind unter praktischen Bedingungen. Man erkennt, daß sich die Spaltluft erheblich über die Außenluft erwärmt (mittleres Diagramm), was auf die Wirkung der Besonnung zurückzuführen ist, die im oberen Diagramm deutlich wird. Die relative Luftfeuchte im Spalt (unteres Diagramm) geht in dem Maße zurück, wie sich die Spaltluft erwärmt.

Aus den Untersuchungen [2] [3], die klein- und großformatige Bekleidungs-elemente umfaßten, geht hervor, daß in Luftspalten hinter Bekleidungen grundsätzlich die gleiche absolute Luftfeuchte herrscht wie außen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß zwischen dem Spaltraum und der Außenatmosphäre über die Fugen der Bekleidungs-elemente bzw. über die oberen und unteren Öffnungen ein stetiger, z.T. auch böenartiger instationärer Austausch stattfindet. Die Fassade "pumpt". Dies gilt unabhängig von der Spaltweite und Fassadenhöhe und auch unabhängig davon, ob es sich um offene oder sog. "geschlossene" Fugen handelt, da über die oberen und unteren Öffnungen eine Verbindung zur Außenluft besteht, die zum Feuchteausgleich ausreicht. Man kann somit stets davon ausgehen, daß außen und im Spalt Gleichheit des Wasserdampfpartialdrucks herrscht.

Der Feuchtezustand der Außenluft wird durch Bild 3 gekennzeichnet, in dem der Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und Temperatur für deutsche Klimaverhältnisse gem. DIN 4710 [4] wiedergegeben ist. Man erkennt, daß die relative Feuchte bei winterlichen Temperaturen von $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Durchschnitt zwischen 65 und 95 % schwanken kann. Unter sommerlichen Bedingungen geht die Schwankung auf den Bereich zwischen ca. 70 und 80 % zurück. Die mittlere Regressionsgerade folgt der Approximationsgleichung

$$\varphi_m = \frac{470 - \vartheta}{6}$$

wobei φ_m in [%] und ϑ in [$^{\circ}\text{C}$] einzusetzen sind. Mit Hilfe von Bild 3 kann der Wasserdampfdruck der Außenluft, der gleich dem Dampfdruck im Luftspalt ist, für beliebige meteorologische Bedingungen ermittelt werden.

Die Abhängigkeit der Zunahme der Lufttemperatur im Spalt von der Sonneneinstrahlung

lung ist in Bild 4 wiedergegeben, wobei gewisse praktische Streuungen auftreten können. Man ersieht, daß im Spalt bei starker Besonnung Übertemperaturen - über der Außenluft - bis zu ca. 20 K möglich sind. Die relative Feuchte im Spalt sinkt hierdurch - gegenüber der Außenluft - ab, die absolute Feuchte im Spalt bleibt nach dem oben Gesagten gleich derjenigen der Außenluft.

Der Austausch zwischen der Spallluft und der Außenluft vollzieht sich aufgrund zweier Austauschvorgänge, die in Bild 5 veranschaulicht werden. Wenn kein Wind oder nur eine schwache Windströmung vorhanden sind, setzt im Spalt eine Thermik ein (linkes Diagramm). Bei stärkerem Wind wird die Fassade "angeblasen", mit der Folge, daß Staudruckdifferenzen auftreten (rechtes Diagramm). Beide Antriebsarten sorgen für eine Luftbewegung im Spalt. Man erkennt, daß hierdurch - wenn auch mit relativ großen Streuungen in der Praxis, die durch die Schraffur zum Ausdruck kommen - Strömungsgeschwindigkeiten im Spalt in einer Größenordnung bis zu 20 bis 30 cm/s entstehen. Man darf sich die Strömung aber nicht als stationär gleichmäßig vorstellen; sie verläuft vielmehr pulsierend und in der Richtung wechselnd.

Aufgrund der Abhängigkeitsdarstellung von allgemeinen Grundparametern, wie Strahlungsintensität bzw. Windgeschwindigkeit, lassen sich die Fragen nach dem Einfluß der praktisch-konstruktiven Größen, wie

- Spaltweite
- Hinterlüftungsgrad, d.h. Größe der Öffnungsquerschnitte
- Fassadenhöhe
- Orientierung der Fassade
- Farbe der Außenoberfläche

leicht beantworten. Diese Einflüsse werden in dem Maße spürbar, wie hierdurch die Grundparameter verändert werden. Es hat sich gezeigt, daß die praktisch üblichen Spaltweiten, Hinterlüftungsgrade und Fassadenhöhe stets innerhalb der Streubereiche der Bilder 4 und 5 zu liegen kommen. Durch theoretische Untersuchungen [1] wird dies bestätigt. Die Einflüsse von Orientierung und Farbe der Außenoberfläche werden ebenfalls aus den Bildern 4 und 5 deutlich. Eine stärkere Besonnung, wie sie z.B. im Winter bei Südorientierung bzw. im Sommer bei

Ost-/Westorientierung auftritt, führt auf Einstrahlintensitäten von 700 bis 900 W/m². Ein ähnlicher Einfluß ist bei niedrigerer Einstrahlung, aber höherer Absorption durch dunkle Bekleidungsfarben zu verzeichnen, deren Auswirkung ebenfalls innerhalb der schraffierten Bereiche von Bild 4 und 5 zu liegen kommt. Auch das Exponierungsausmaß wird durch die Bilder 4 und 5 überschaubar. Handelt es sich z.B. um eine exponierte Westfassade, so werden dort höhere Windgeschwindigkeiten von 6 bis 10 m/s auftreten, die auf die rechts in Bild 5 dargestellten Spaltströmungen führen. Es ist somit festzustellen, daß mit den Darstellungen von Bild 4 und 5 praktisch alle baukonstruktiven Einflußparameter abgeschätzt werden können.

4. Auswirkungen im Dübelbereich

Unter "Dübelbereich" sollen im folgenden die metallischen Teile des Dübels selbst sowie die Dübelumgebung verstanden werden, d.h. der Untergrund, in dem der Dübel sitzt, und die Dämmschichtzone, die der Dübel durchbricht. Nach außen grenzt an diese Zone der Luftspalt.

4.1 Thermische Auswirkungen

Die thermischen Auswirkungen beruhen auf verschiedenen Ursachen. Der metallische Dübel selbst stellt einen Bolzen mit hoher Wärmeleitfähigkeit dar. Aber auch ohne Anwesenheit eines Dübels tritt, wie aus Bild 1 (Fall B) hervorging, eine thermische Störung allein durch die Unterbrechung bzw. Aussparung der Dämmschicht auf. Beide Ursachen überlagern sich in der in Bild 6 dargestellten Weise so, daß von innen her - zunächst konvergent zur Dübelachse - und nach außen hin dann divergent die Wärmestromlinien verzerrt werden. Dies stellt eine typische rotationssymmetrische Wärmebrücke dar, die in der neueren bauphysikalischen Literatur (z.B. in [5]) ausführlich behandelt wird. Bild 7 veranschaulicht schematisch, wie sich das Isothermenfeld durch eine kreisförmige Aussparung in der Dämmschicht verändert. Hierdurch setzt eine Abkühlung des Dübelbereiches ein, die sich bis zur Wandinnenoberfläche fortsetzen kann. Rechts in Bild 6 wird erkennbar, welchen Verlauf die innerseitige Oberflächentemperatur ϑ_{0i} im Dübelbereich einnimmt.

Die erläuterte Wärmebrückenwirkung im Dübelbereich wird um so gravierender ausfallen, je

- größer der Dübeldurchmesser ist
- größer die Dämmschichtausparung ist
- mehr Kühlfläche durch in die Breite gehende Dübelplatten (Ankerplatten, Unterlegscheiben etc.) geboten wird
- intensiver die Abkühlung des Dübels im Luftspalt und an der Bekleidung ist.

Im Zusammenhang mit der Abkühlung des Dübels im Luftspalt ist nicht nur, wie bisher geschehen, die konvektive Abkühlung entsprechend der im Spalt vorhandenen Luftgeschwindigkeit zu sehen, sondern auch die langwellige Abstrahlung des Dübels. Der langwellige Strahlungsaustausch hängt von den Emissionszahlen des Dübels und der Spaltbegrenzung, d.h. der Bekleidungsrückseite ab. Die langwelligen Strahlungsvorgänge sind in [1] umfassend untersucht worden. Man kann von folgenden Emissionszahlen ausgehen [6]:

<u>nicht-metallische Bekleidungen:</u>	0,8 - 0,9
<u>metallische Bekleidungen (oxidiert):</u>	0,6 - 0,8
<u>metallische Bekleidungen (blank):</u>	< 0,3
<u>Glas-Bekleidungen:</u>	0,3 - 0,8

Zwischen blanken Oberflächen mit niedrigeren Emissionszahlen wird weniger Strahlungsenergie langwellig ausgetauscht. Ein Dübel würde sich also, wäre er selbst blank poliert und wäre er hinter einer blanken metallischen Bekleidung (z.B. Alu-Bekleidung) angeordnet, etwas weniger abkühlen als in nicht blank-metallischer Umgebung. Dies würde sich auf die Gesamt-Wärmeübergangszahl im Luftspalt auswirken. Gemäß [7] kann in Luftspalten unter üblichen Bedingungen (bei nicht-metallischen Spaltbegrenzungen) von $12 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgegangen werden. Dies stimmt gut mit den Darlegungen in [1] überein. Man liegt mit diesem Wert des Wärmeübergangskoeffizienten grundsätzlich auf der sicheren Seite. Würde man - bei blanken Metallberandungen - von einem kleineren Wert ausgehen, dann hätte dies eine geringere Abkühlung des Dübelbereiches zur Folge.

4.2 Feuchtetechnische Auswirkungen

Die metallischen Befestigungsteile selbst nehmen bei Tauwasseranfall keine Feuchte auf. Der Untergrund, in dem der Dübel sitzt, ist in der Regel hygroskopisch, so daß je nach den Sorptionseigenschaften des Untergrundmaterials dort Feuchte gespeichert werden kann. Die Feuchteaufnahme des Dämmstoffes ist vernachlässigbar klein gegenüber der Feuchtesorption im Dübeluntergrund.

Bild 8 veranschaulicht am Beispiel eines Betonuntergrundes als wohl häufigstem Fall, welche Stofffeuchte sich im Beton in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte in den Poren und in der Umgebung einstellt. Bei Tauwasseranfall (entsprechend 100 % rel. Feuchte) würde die Sorptionsisotherme auf über 6 Vol.-% ansteigen. Eine relative Feuchte von 100 % ist gemäß Bild 2 und Bild 3 im Luftspalt aber praktisch nie zu erwarten. Im Luftspalt herrschen vielmehr unter deutschen Klimaverhältnissen (kurzfristige Einwirkungsdauern eingeschlossen) relative Feuchten zwischen 50 und 95 %. Tauwasser mit 100 % rel. Feuchte könnte nur dann einsetzen, wenn sich der Dübel stark unter die Spaltlufttemperatur abkühlt. Dies ist aber nicht der Fall, weil - wegen Wärmebrückenwirkung des Dübels - von innen her eine Wärmezufuhr einsetzt. Die Wärmebrückenwirkung muß somit ambivalent gesehen werden:

- Die Wärmebrückenwirkung ist, wie früher erläutert, für die Wandkonstruktion insgesamt nachteilig. Jeder Dübel stört den Wärmeschutz belüfteter Fassaden.
- Die Wärmebrückenwirkung ist in Bezug auf die Tauwassergefahr in der Dübelumgebung vorteilhaft. Wegen der verstärkten Wärmeableitung längs und quer zum Dübel, die einer "Beheizung" des Dübelbereiches a tergo gleichkommt, werden Tauvorgänge praktisch unterbunden. Diese Vorgänge werden anhand einer Nachrechnung im folgenden näher untersucht.

4.3 Rechnerische Überprüfung

Die für die Korrosionsbeurteilung wichtigen Feuchtevorgänge in der Umgebung eines Dübels lassen sich rechnerisch mittels eines im Institut vorhandenen dreidimensionalen Computerprogramms, dessen wissenschaftlicher Hintergrund in

[11] beschrieben ist, überprüfen. Der Rechnung werden bestimmte Annahmen und Randbedingungen zugrundegelegt. Aus den hinreichend erläuterten Gründen wird Fall E gemäß Bild 1 als kritischer Fall gewählt. Die Stoffeigenschaften der einzelnen Materialschichten gehen aus Tabelle 1 hervor. Tabelle 2 enthält die gewählten Randbedingungen, wobei vier Varianten entsprechend den meteorologischen Verhältnissen gebildet werden, die vom kalten Wintertag (Hauptvariante 0) bis zum bedeckten Sommertag (Variante 3) reichen. Die Temperaturen und relativen Feuchten der Spaltluft und der innerseitigen Raumlufte sind dabei so gewählt worden, daß sie mit Bild 2 und 3 im Einklang stehen (Var. 0: extreme Raumfeuchte).

Bild 9 veranschaulicht die ermittelten Verteilungen von Temperatur, Dampfdruck, relativer Feuchte und Materialfeuchte über die Wanddicke (Dübellänge) für die vier Varianten 0, 1, 2 und 3. Man erkennt aus dem obersten Diagramm, wie die Temperatur im Dübelbereich nach außen abnimmt. Wie erwartet, erweist sich die Wintervariante 0 zunächst als kritischer Fall, bei dem in den Poren der inneren Betonzone eine relative Feuchte von ca. 90 % und eine Materialfeuchte von ca. 5 Vol.-% erreicht wird. Bild 10 vermittelt einen räumlichen Überblick über das bei dieser Variante vorliegende Temperatur- und Feuchtefeld, wobei die eingetragenen Temperaturen, relative Feuchten und Stofffeuchten über die angegebenen Körperelemente gemittelt sind. An keiner Stelle tritt Tauwasser auf. Die höchsten Feuchten sind - hinter dem Dübelende - in der Betoninnenzone vorhanden. In unmittelbarer Dübelumgebung liegt die relative Feuchte in den Betonporen bei allen Varianten zwischen 40 und 60 %. Bemerkenswert erscheint, daß in unmittelbarer Dübelumgebung die Sommervariante 3 geringfügig höher liegt als der Winterfall 0. Dies ist auf die sommerlichen Außenbedingungen zurückzuführen. Auch die Tatsache, daß Kurve 0 die übrigen Kurven schneidet, ist auf die gewählten Randbedingungen zurückzuführen. Weil die Dübelplatte feuchteundurchlässig ist und nur ein geringer Diffusionsstrom unter der quasi dicht am Beton anliegenden Dübelplatte quer zur Dübelachse in Richtung Dämmschicht stattfindet, müssen die Kurven der Dampfdruckverteilung längs des Dübelmantels nahezu unter einem senkrechten Winkel außenseitig münden. Aus Bild 9 und 10 folgt eindeutig, daß bei den gewählten Randbedingungen und Stoffdaten in den Poren der unmittelbaren Dübelumgebung keine höhere rel. Feuchte als 60 % zu erwarten ist. Umgekehrt ist aber auch festzustellen, daß diese max. 60 % praktisch über

die ganze Dübellänge vorhanden sind.

Die in Bild 9 wiedergegebenen Feuchteergebnisse lassen sich noch etwas verallgemeinern. Während die höchsten Betonfeuchten im Winter (Variante 0) in den innenliegenden Betonzonen auftreten, werden die maximalen Betonfeuchten in unmittelbarer Dübelumgebung weiter zur Außenseite hin von den Sommerzuständen geprägt (Variante 3). Die hierbei im Luftspalt zugrundegelegten Werte (70 % rel. Feuchte, 15 °C Lufttemperatur) verkörpern für den Spaltzustand eine relativ hohe Feuchtebelastung, die längerfristig im Sommer kaum überschritten wird. Kurzfristig sind jedoch höhere Werte möglich, die sich aber bei den sehr langsam verlaufenden Feuchtetransportvorgängen nicht auswirken.

4.4 Auswirkungen von Parameteränderungen

Ausgehend von der grundlegenden Erörterung der Wärme- und Feuchtwirkungen im Bereich von Befestigungselementen hinterlüfteter Fassaden sowie den detaillierteren Untersuchungen für die Konstruktionsvariante E gemäß Bild 1 werden im folgenden diejenigen Auswirkungen abgeschätzt, die sich aus Veränderungen praktischer und konstruktiver Parameter ergeben. Dabei sollen die Temperatur- und Feuchtezustände längs der Dübelmantelfläche, also in der Kontaktfläche zwischen Dübel und Ankergrund (Beton), betrachtet werden, die bei jahreszeitlich unterschiedlichen Randbedingungen, bei durchgehender Dämmschicht, bei reduzierter Dämmschichtdicke sowie bei Luftspalten in der Kontaktzone Dübel/Ankergrund zu erwarten sind.

Ergänzende Berechnungen, Approximationen von Wärmebrückeneffekten nach [5] und Transformationen vorhandener Potentialfelderergebnisse führen auf Temperatur-, Porenluftfeuchte- und Stofffeuchtwerte in der Kontaktzone bzw. im Beton, die - für die betrachteten Parameter - in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt sind. Bei den angegebenen Werten ist zu beachten, daß sie angenäherte Mittelwerte darstellen, die jedoch von ihrer Größenordnung her eindeutig Auskunft über die zu erwartenden Temperatur- und Feuchtebedingungen im Dübelbereich geben. Für die Ermittlung der Werte wird angenommen, daß

- die Dübelplatte eine dampfdichte Abdeckung auf der Betonoberfläche darstellt,

- kein Dampfaustausch längs des Dübelmantels im Bohrloch erfolgt (idealer Kontakt Dübel/Beton),
- das Dampfdruckfeld im Beton bei der jeweiligen Randbedingung durch eine Änderung der Dämmstoffdicke sowie bei durchgehender Dämmschicht ohne Ausparung im Bolzenbereich nicht verändert wird (Diffusionswiderstand von Mineralfaserdämmstoff verschwindend gering gegenüber dem von Beton).

Im einzelnen zeigt sich folgendes:

Randbedingungen

Die vorgegebenen Randbedingungsvarianten 0 bis 3 grenzen die unter natürlichen Bedingungen im wesentlichen auftretenden Zustände ein. Damit ist ein Rahmen für die Feuchtwirkungen auf das Dübelelement abgesteckt, in dem alle instationären jahreszeitlichen Veränderungen ablaufen.

Dämmschichtdicke

Vergleicht man die ermittelten Temperatur- und Feuchtwerte in Tabelle 3 für eine 8 cm-Dämmschicht mit den Werten in Tabelle 4 für eine 5 cm-Dämmschicht - jeweils bei gleichen Randbedingungen -, so zeigt sich, daß eine reduzierte Dämmschichtdicke besonders unter winterlichen Extrembedingungen die Feuchte im Dübelbereich erhöht. Im vorliegenden Fall bedeutet dies für die kritische Stelle am Dübelkopf unter der Dübelplatte eine Erhöhung um ca. 10 - 15 % für die relative Porenluftfeuchte. Absolut betrachtet werden dort ca. 65 % r.F. und eine Sorptionsfeuchte von etwas über 3 Vol.-% im Beton unter den genannten Bedingungen erreicht. Dies ist ein normaler, relativ trockener Materialzustand. Erhöht wird auch die Gleichgewichtsfeuchte an der Betoninnenoberfläche in Dübelachse auf über 90 % r.F. Dies ist durch die extreme Innenraumfeuchte bei kalten Winterverhältnissen bedingt und wirkt sich nicht negativ auf den Feuchtezustand im Dübelbereich aus. Tauwasserbildung wird auch hier nicht erreicht. Bei wärmeren Umgebungsverhältnissen ergeben sich keine wesentlichen Feuchteänderungen im Dübelbereich für eine 5 cm oder 8 cm dicke Dämmschicht. Zu vermerken ist, daß bei der unterbrochenen 5 cm-Dämmschicht unter kalten Winterbedingungen ähnliche Feuchtwerte am Dübel erreicht werden wie

unter Somerverhältnissen.

Dämmschichtausparung

Erwartungsgemäß wirkt sich eine durchgehende Dämmschicht im Bolzenbereich feuchtereduzierend für die Betonzone um den Dübel aus, bei einer 8 cm dicken Dämmschicht ebenso wie bei einer 5 cm dicken. Dies beruht darauf, daß bei ungefähr gleichen Dampfdruckverhältnissen am Dübel eine Temperaturerhöhung auftritt und damit die relative Porenluftfeuchte und somit die Sorptionsfeuchte reduziert werden. Der außenseitige Dämmstoff über der Dübelplatte vermindert die Wärmebrückenwirkung deutlich und umsomehr, so lange keine größere und hoch wärmeleitende äußere Abdeckplatte auf dem Bolzen an der spaltseitigen Dämmschichtoberfläche angeordnet wird. Die metallische Dübelplatte unter der Dämmschicht allein hingegen wirkt sich positiv aus. Sie bewirkt praktisch eine deutliche Temperaturerhöhung im Dübelbereich und damit geringere Sorptionsfeuchten. Für kalte Winterbedingungen bedeutet dies für den Zustand am Dübelkopf bei einer nicht ausgesparten Dämmschicht der Dicke

- 8 cm: 4 bis 5 K Temperaturerhöhung,
10 bis 15 % Erniedrigung der relativen Gleichgewichtsfeuchte,
- 5 cm: 3 bis 4 K Temperaturerhöhung und ebenfalls 10 bis 15 % Erniedrigung der relativen Gleichgewichtsfeuchte.

Dübelkontakt mit Luftspalt

Da unter praktischen Bedingungen nicht generell mit einem durchgehend innigen und dampfdichten Kontakt zwischen Dübelmantelfläche und Bohrlochoberfläche längs des Elements zu rechnen ist, können dadurch lokal eng begrenzte oder weiterreichende, je nach Umgebungsbedingung mehr oder weniger deutliche, konkret aber kaum kalkulierbare Feuchteaustauschvorgänge längs des Dübelmantels bzw. der Dübelhülse geschehen. Geht man davon aus, daß feine Luftspalte im Bereich der Dübelhülse das Temperaturfeld nicht nennenswert beeinflussen, jedoch per Diffusion einen Dampfdruckausgleich ermöglichen, so lassen sich folgende eingrenzende Überlegungen anstellen:

a) Lokal begrenzter Luftspalt innen

Bei nicht durchgehenden, lokal relativ eng begrenzten Luftspalten oder Ringspaltsegmenten im Kontaktbereich Dübelhülse/Beton wird sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Beton-Sorptionsfeuchte, relativer Porenluftfeuchte und relativer Porenluftfeuchte und relativer Luftfeuchte im Längs- oder Ringspalt einstellen, wobei - Temperaturgleichgewicht vorausgesetzt - die relative Luftfeuchte im betrachteten Spaltsegment gleich der relativen Betonporenluftfeuchte an der Bohrlochoberfläche ist. Insgesamt bewirken solch eng begrenzte Luftspalt-"Fehlstellen" keine nennenswerten Veränderungen des Feuchtefeldes.

b) Durchgehender Luftspalt/Dübelplatte dicht

Über die gesamte Bohrlochtiefe durchgehende Luftspalte an der Dübelhülse bewirken bei dicht anliegender Dübelplatte auf der Betonaußenoberfläche einen Dampfdruckausgleich längs des Bohrloches. Nimmt man in erster Näherung an, daß sich über die gesamte Bohrlochtiefe der höhere Dampfdruck, wie er sonst am Bohrlochgrund herrscht, einstellt, so bedeutet dies einen Anstieg der relativen Luftfeuchte am Dübelkopf wegen der dort vorliegenden niedrigeren Temperatur. Für das Extrembeispiel - 5 cm Dämmung mit Aussparung, kalte Winterbedingung - würde das theoretisch einen Anstieg der relativen Gleichgewichtsfeuchte im Bereich des Dübelkopfes von 63 % auf 86 % ergeben, bei Temperaturabsenkung auf ca. 5 °C am Dübelkopf würde dort Tauwasserbildung einsetzen. Auch wenn sich bei genauerer Analyse, soweit möglich, diese Verhältnisse noch etwas moderater darstellen, so stellt dieser Fall unter Korrosionsgesichtspunkten eine doch bedenkliche Situation dar.

c) Durchgehender Luftspalt/Dübelplatte nicht dicht

Ein über die gesamte Bohrlochtiefe durchgängiger feiner Luftspalt und eine, z.B. durch Unebenheiten in der Betonoberfläche, nicht dicht aufliegende Dübelplatte würden im Extremfall einen vollständigen Diffusionsaustausch zwischen der Außenluft hinter der Vorhangfassade und dem Bohrloch bedeuten. Das wiederum hieße, im Bohrloch bzw. längs der Dübelhülse würde sich der Dampfdruck der Außenluft einstellen. Aufgrund der höheren Temperaturen längs der Dübelhülse

würde das aber eine Reduzierung der Gleichgewichts- und somit der Sorptionsfeuchte an der Bohrlochwandung bedeuten. Die relative Gleichgewichtsluftfeuchte wäre dann stets niedriger als diejenige der Außenluft. Für das vorher erwähnte Extrembeispiel ergäben sich damit Absenkungen der relativen Feuchte am Dübelkopf von 63 % auf rechnerisch ca. 20 %, am Dübelgrund sogar auf ca. 15 %. Dieser Fall würde ein Austrocknen des Bohrlochbereiches unter Winterbedingungen bedeuten. Unter Übergangs- oder Sommerbedingungen wären keine großen Veränderungen zu erwarten.

5. Zusammenfassung und praktische Konsequenzen

Die Temperatur- und Feuchteverhältnisse in der Umgebung von metallischen Befestigungselementen für Bekleidungen belüfteter Außenwände sind durch Auswertung vorliegender bauphysikalischer Veröffentlichungen und eigener Erkenntnisse sowie durch ergänzende Berechnungen untersucht worden. Die Untersuchung dient als Grundlage für die Beurteilung von Korrosionsvorgängen. Korrosionsbeurteilungen selbst sind nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Die Untersuchung erbrachte folgende Ergebnisse:

1. Die Temperatur- und Feuchteverhältnisse wirken zusammen und beeinflussen sich wechselseitig. Maßgebend sind die Zustände, die sich im Luftspalt hinter der Bekleidung längerfristig einstellen, und deren Einwirkung auf den durch die Dübelanbringung gestörten Wärme- und Feuchtehaushalt der Außenwand.
2. Im Luftspalt herrscht in der Regel eine etwas höhere Lufttemperatur als außen, grundsätzlich aber die gleiche absolute Luftfeuchte wie außen, demzufolge eine etwas niedrigere relative Luftfeuchte als außen. Dies ist dadurch bedingt, daß durch die Spaltbelüftung ein vollständiger Feuchteaustausch erreicht wird, nicht aber ein Austausch der Strahlungsenergie, welche die belüftete Fassade bei Besonnung empfängt. Die Luftgeschwindigkeit im Luftspalt weist Werte bis zu ca. 30 cm/s auf; meist tritt eine geringere Strömung mit wechselnder Richtung auf. Die Spaltweite, die Fassadenhöhe und die Fugenausführung der Bekleidungsplatten üben bei üblicher Größe der Lüftungsöffnungen auf die Spaltluftzustände praktisch keinen Einfluß aus. Man kann

in der Praxis von folgenden längerfristigen Spaltluftzuständen ausgehen (Winter-/Sommerwechsel).

<u>Temperatur der Spaltluft:</u>	-12 °C bis +15 °C
<u>Relative Feuchte der Spaltluft:</u>	70 % bis 95 %

Kurzfristig können Abweichungen nach oben und unten auftreten; diese sind feuchtetechnisch aber nicht erheblich, weil die Feuchtetransportvorgänge im Wandquerschnitt langsam ablaufen.

3. Die Anbringung eines Dübels verändert den Wärmehaushalt der Wand in mehrfacher Hinsicht. Der metallische Bolzen stellt aufgrund seiner Längsleitung eine Wärmebrücke dar. Auch ohne Dübelbolzen - allein durch die Unterbrechung der Wärmedämmschicht - tritt eine Störung des Wärmeflusses auf. Die Wärmebrückenwirkung ist ambivalent: Der Wärmeschutz der Wand wird verschlechtert. Die Temperatur in der unmittelbaren Dübelumgebung hingegen wird angehoben, weil der Dübel quasi wie ein "Heizdocht" von innen Wärme abzieht. In korrosionstechnischer Hinsicht ist dies positiv zu werten, weil hierdurch einer Tauwasserbildung unmittelbar am Dübel entgegengewirkt wird.
4. Die unter Korrosionsgesichtspunkten interessierenden Fechtwirkungen im Kontaktbereich Dübelhülse/Bohrlochwandung werden maßgeblich von den äußeren Umgebungsbedingungen, der Dämmschichtdicke und den davon abhängenden Temperaturen am Dübel, der Art der Bolzendurchdringung durch die Dämmschicht sowie von eventuellen Feuchteausstauschvorgängen im Bohrloch längs der Dübelhülse beeinflusst. Unter den idealen Voraussetzungen, daß die Dübelplatte dicht auf der Betonaußenoberfläche aufliegt und längs des Dübels im Bohrloch keine Dampfausgleichsvorgänge stattfinden, zeigen sich klar die positiven Auswirkungen einer dickeren und ohne Aussparung im Dübelbereich durchgehenden Dämmschicht. Aus den untersuchten Fällen für 8 und 5 cm dicke Dämmschichten mit und ohne Dämmschichtaussparung jeweils für kalte Winter-, normale Winter-, Übergangs- und Sommerbedingungen geht hervor, daß bei der dickeren Dämmschicht mit und ohne Aussparung die höchsten Feuchtebelastungen an der Dübelhülse im Sommer erreicht werden. Sie liegen in beiden Fällen bei etwa 60 % relativer Gleichgewichtsfeuchte und sind längs der Dübelhülse im

Bohrloch etwa konstant. Bei der dünneren Dämmschicht mit Aussparung treten etwa die gleichen Bedingungen (ca. 60 %) unter extremen Winter- und Sommerbedingungen auf, ohne Aussparung werden nur im Sommer ca. 60 % erreicht. Alle anderen Fälle ergeben unter den genannten Voraussetzungen geringere Feuchtebelastungen längs der Dübelhülse. Insgesamt betrachtet stellt jedoch ein Feuchtezustand bei 60 % r.F. keine kritische Situation dar. Es liegt vielmehr ein praktisch normaler, relativ trockener Zustand vor.

5. Geht man jedoch davon aus, daß - im ungünstigsten Fall - aufgrund eines nicht innigen Kontakts zwischen Dübelhülse und Bohrlochwandung ein feiner Luftspalt einen Dampfdruckausgleich zwischen Dübelgrund und Dübelkopf ermöglicht und die äußere Dübelplatte dicht aufliegt, so werden aufgrund geringerer Temperaturen am Dübelkopf hohe relative Feuchten erreicht. Sie liegen theoretisch und in erster Näherung bei dem untersuchten ungünstigsten Fall (5 cm Dämmung, mit Aussparung, kalte Winterbedingungen) am Dübelkopf mit 7 °C bei ca. 86 %. Diese Situation kann kritisch werden, da bei diesem Zustand Tauwasserbildung bei ca. 5 °C einsetzt. Nimmt man jedoch zudem an, daß die Dübelplatte undicht aufliegt und ein Dampfaustausch zwischen Umgebungsluft und Bohrloch stattfindet, so ist unter Winterverhältnissen mit einer Austrocknung im Bohrlochbereich zu rechnen (theoretische relative Feuchten dort dann bei ca. 15 bis 20 %).

Als Grundlage für die längerfristige Beurteilung korrosiver Vorgänge an metallischen Befestigungselementen in belüfteten Außenwänden lassen sich aus den Untersuchungen als praktische Konsequenz folgende Feuchteangaben für die Dübelbeanspruchung in den einzelnen Bereichen ableiten:

Im Luftspalt

(hinter der vorgehängten Außenschale)

70 % bis 95 % rel. Feuchte.

Hinter dem Dübel

(in den Poren des Baustoffes, der - bis zur Wandinnenoberfläche hin - hinter der Bohrlochspitze liegt)

bis um ca. 90 % rel. Feuchte.

In Kontaktzone Dübelhülse/Bohrloch

Ohne Dampfdruckausgleich im Bohrloch (keine Luftspalte längs der Dübelhülse) bis ca. 65 % rel. Feuchte;

mit vollständigem Dampfdruckausgleich im Bohrloch und dichter äußerer Dübelplatte 80 bis 90 % rel. Feuchte am Dübelkopf und Tauwassergefahr bei Temperaturen unter ca. 5 °C;

bei Dampfdruckausgleich zwischen Bohrloch und Umgebung ca. 15 bis 20 % rel. Feuchte im Bohrloch unter Winterbedingungen (Austrocknung !), im Sommer ebenfalls bei ca. 60 % rel. Feuchte.

6. Literatur

- [1] Gertis, K.: Belüftete Wandkonstruktionen. Berichte aus der Bauforschung, H. 72, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin 1972.
- [2] Künzel, H., Mayer, E. und Popp, W.: Untersuchungen über die Belüftung des Luftraumes hinter vorgesetzten Fassadenbekleidungen aus kleinformatischen Elementen. Bericht B-Ho 22/80 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart/Holzkirchen 1980.
- [3] Künzel, H. und Mayer, E.: Untersuchungen über die notwendige Hinterlüftung an Außenwandbekleidungen aus großformatigen Bauteilen. Bericht B-Ho 1/83 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart/Holzkirchen 1983.
- [4] DIN 4710: Meteorologische Daten. Beuth-Verlag, Berlin 1982.
- [5] Mainka, G.-W. und Paschen, H.: Wärmebrückenkatalog. Teubner, Stuttgart 1986.
- [6] VDI-Wärmeatlas. 4. Aufl., VDI-Verlag, Düsseldorf 1984.
- [7] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau. Ausgabe 1981.
- [8] Hundt, J.: Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Heft 256, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin 1975.
- [9] Krischer, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin 1963.
- [10] Hansen, K.: Sorption isotherms - A catalogue. Technical Report 162/86, Technical University of Denmark, Building Materials Laboratory, 1986.
- [11] Kießl, K.: Kapillarer und dampfförmiger Feuchtetransport in mehrschichtigen Bauteilen. Diss. Universität-Gesamthochschule Essen 1983.

Tabelle 1 Zugrundegelegte Stoffeigenschaften der zu betrachtenden Materialien

Material	Dicke [cm]	λ [W/m ² K]	μ [-]	Sorption
Normal- beton	20	2,1	140	ja
Mineral- wolle	8 bzw. 5	0,04	1	nein
Stahl- anker	1	60	-	nein

Dämmschichtausparung bei Dübelplatte:
6 cm (kreisförmig)

λ : Wärmeleitfähigkeit
 μ : Wasserdampfdiffusionswiderstandsfaktor
 Sorption: gemäß Bild 8

Tabelle 2 Randbedingung, die der dreidimensionalen Rechnung in den vier Variationsfällen zugrundegelegt worden sind

Variationsfall		Temperatur [°C]		Rel. Feuchte [%]	
		Spalt	innen	Spalt	innen
0	Kalter Winter (Hauptfall)	- 12	20	95	80
1	Normaler Winter	0		80	55
2	Übergangszeit	10		75	60
3	Sommer (bedeckter Sommertag)	15		70	65

Wärmeübergangskoeffizienten α :

im Spalt: 12 W/m²K
 Innenoberfläche: 8 W/m²K

Stoffübergangskoeffizienten β :

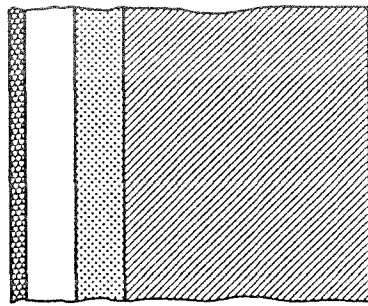
$\beta \approx 4 \alpha$ in m/h

Tabelle 3 Approximierte Temperatur (ϑ) -, Porenluftfeuchte (φ) - und Stofffeuchtwerte (u) in der Kontaktzone Dübelmantel/Beton längs der Dübelachse von Dübelkopf bis zur inneren Betonoberfläche für die verschiedenen Randbedingungsvarianten gemäß Tabelle 2 und mit unterbrochener bzw. durchgehender, 8 cm dicker Dämmschicht im Bolzenbereich außerhalb des Betons.

8 cm Dämmschicht			Mittelwerte für: ϑ [°C] φ [%] u [Vol.-%]				
Bolzen- durch- dringung	Randbedingung		Dübelmantel			Oberfl. innen	
	Var.	außen	innen	Kopf	Mitte		Grund
mit Loch (Fall E)	0	Winter (kalt) -12°/95 %	20°/80 %	10,3 50 2,5	12,4 51 2,5	14,2 53 2,6	17,3 89 4,9
	1	Winter (normal) 0°/80 %	20°/55 %	14,0 43 2,2	15,2 43 2,2	16,4 43 2,2	18,4 58 2,8
	2	Übergangszeit 10°/75 %	20°/60 %	17,0 54 2,7	17,6 53 2,6	18,2 53 2,6	19,2 62 3,0
	3	Sommer 15°/70 %	20°/65 %	18,5 60 2,9	18,8 60 2,9	19,1 60 2,9	19,6 66 3,2
ohne Loch (Fall C)	0	Winter (kalt) -12°/95 %	20°/80 %	15 37 2,0	16 40 2,1	17 44 2,3	18 85 4,4
	1	Winter (normal) 0°/80 %	20°/55 %	17 36 2,0	17,5 37 2,0	18 39 2,1	19 56 2,8
	2	Übergangszeit 10°/75 %	20°/60 %	18,5 49 2,4	19 49 2,6	19 50 2,5	19,5 60 2,9
	3	Sommer 15°/70 %	20°/65 %	19 58 2,8	19 59 2,9	19,5 58 2,8	19,5 66 3,2

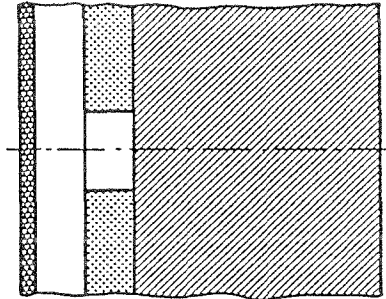
Tabelle 4 Approximierte Temperatur (ϑ) -, Porenluftfeuchte (φ) - und Stofffeuchtwerte (u) in der Kontaktzone Dübelmantel/Beton längs der Dübelachse von Dübelkopf bis zur inneren Betonoberfläche für die verschiedenen Randbedingungsvarianten gemäß Tabelle 2 und mit unterbrochener bzw. durchgehender, 5 cm dicker Dämmschicht im Bolzenbereich außerhalb des Betons.

5 cm Dämmschicht			Mittelwerte für: ϑ [$^{\circ}\text{C}$] φ [%] u [Vol.-%]				
Bolzen- durch- dringung	Randbedingung		Dübelmantel			Oberfl. innen	
	Var.	außen	innen	Kopf	Mitte		Grund
mit Loch (Fall E)	0	Winter (kalt) -12 $^{\circ}$ /95 %	20 $^{\circ}$ /80 %	7 63 3,1	10,5 58 2,8	13 57 2,8	16,5 94 5,5
	1	Winter (normal) 0 $^{\circ}$ /80 %	20 $^{\circ}$ /55 %	12 49 2,4	14 47 2,4	15,5 45 2,3	18 60 2,9
	2	Übergangszeit 10 $^{\circ}$ /75 %	20 $^{\circ}$ /60 %	16 57 2,8	17 55 2,7	18 54 2,7	19 62 3,0
	3	Sommer 15 $^{\circ}$ /70 %	20 $^{\circ}$ /65 %	18 62 3,0	18,5 61 3,0	19 60 2,9	19,5 66 3,2
ohne Loch (Fall C)	0	Winter (kalt) -12 $^{\circ}$ /95 %	20 $^{\circ}$ /80 %	10,5 49 2,4	13 49 2,4	15 50 2,5	17 91 5,0
	1	Winter (normal) 0 $^{\circ}$ /80 %	20 $^{\circ}$ /55 %	14 43 2,2	15,5 42 2,2	17 41 2,1	18 60 2,9
	2	Übergangszeit 10 $^{\circ}$ /75 %	20 $^{\circ}$ /60 %	17 54 2,7	18 52 2,6	18,5 52 2,6	19 62 3,0
	3	Sommer 15 $^{\circ}$ /70 %	20 $^{\circ}$ /65 %	18,5 60 2,9	19 59 2,9	19,2 59 2,9	19,5 66 3,2



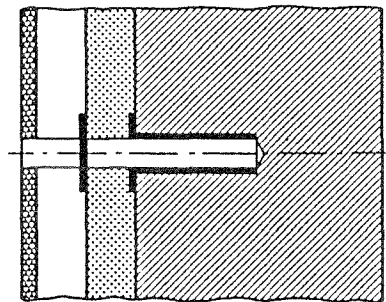
Fall A

Dämmung durchgehend
(kein Dübel)



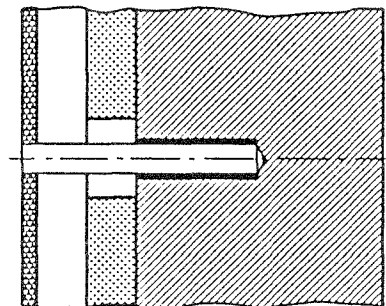
Fall B

Loch in Dämmung
(kein Dübel)



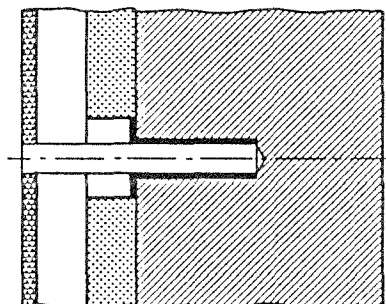
Fall C

Dübel durch Dämmung
Platte beiderseits



Fall D

Loch in Dämmung
Dübel ohne Platte



Fall E

Loch in Dämmung
Dübel mit Platte

Bild 1 Schematische Darstellung der Durchdringung von Wärmedämmschichten durch Befestigungselemente mit und ohne Ankerplatte in Außenwänden mit belüfteten Bekleidungen.

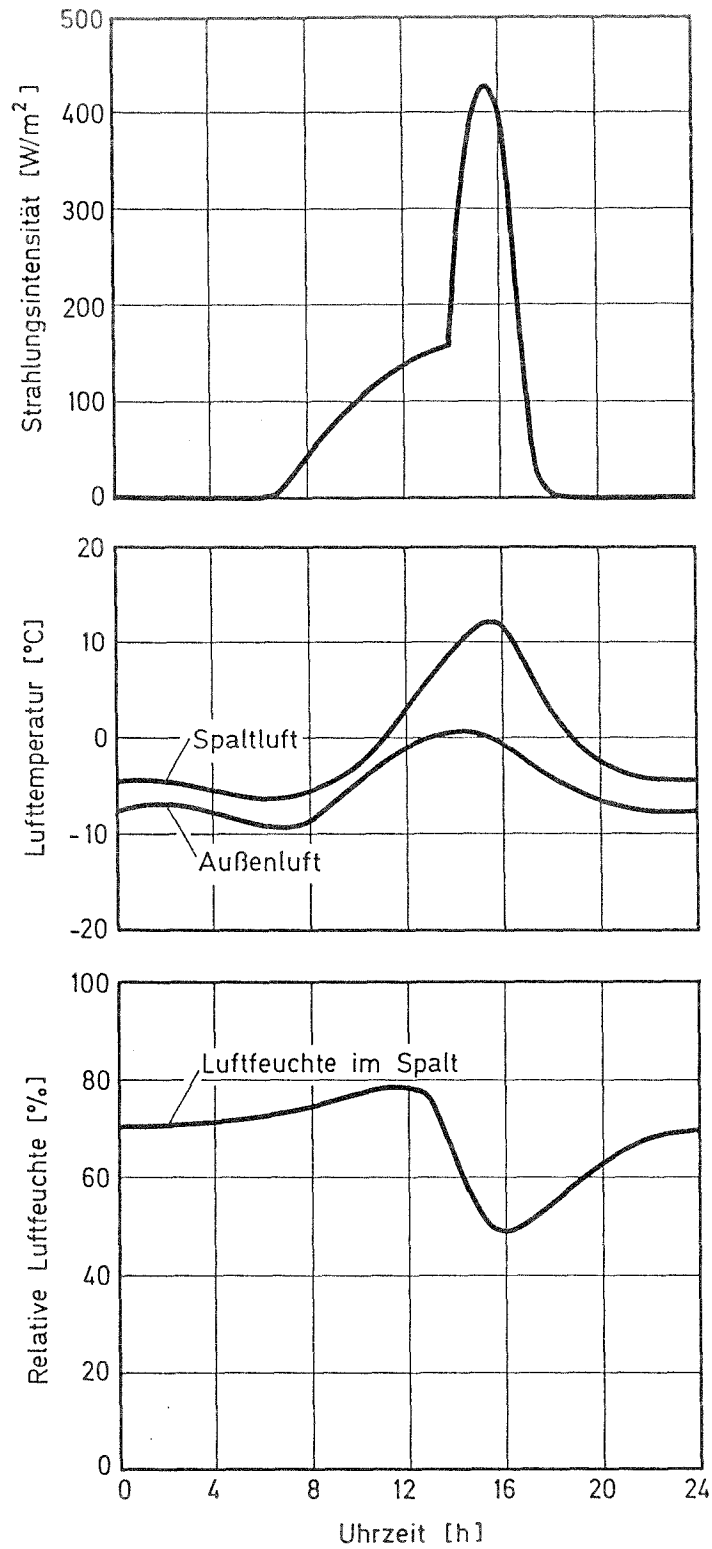


Bild 2 Zeitliche Verläufe von Sonneneinstrahlung, Außenlufttemperatur sowie Temperatur und relativer Feuchte der Luft im Spalt einer belüfteten Außenwandkonstruktion während eines strahlungsreichen Wintertages (Westorientierung, schwacher Wind), nach [3].

DIN 4710

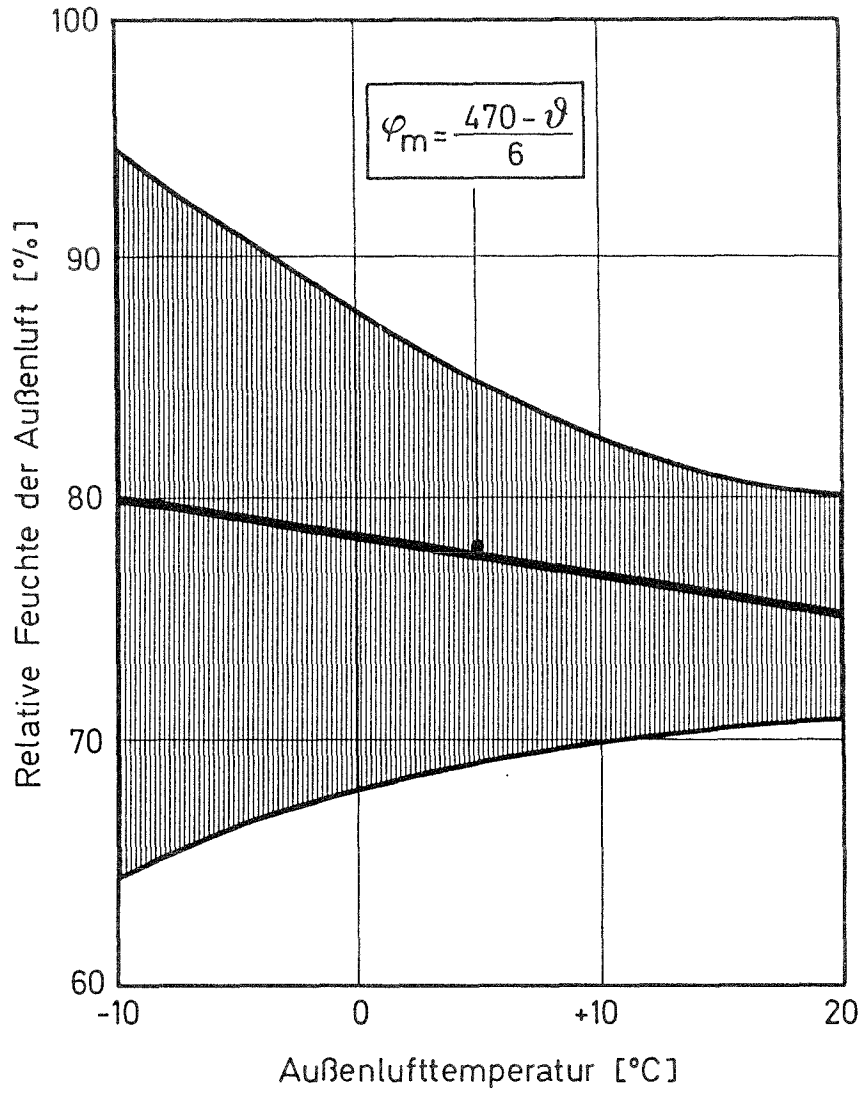


Bild 3 Zusammenhang zwischen relativer Feuchte und Temperatur der Außenluft in Deutschland, ermittelt gemäß [4].

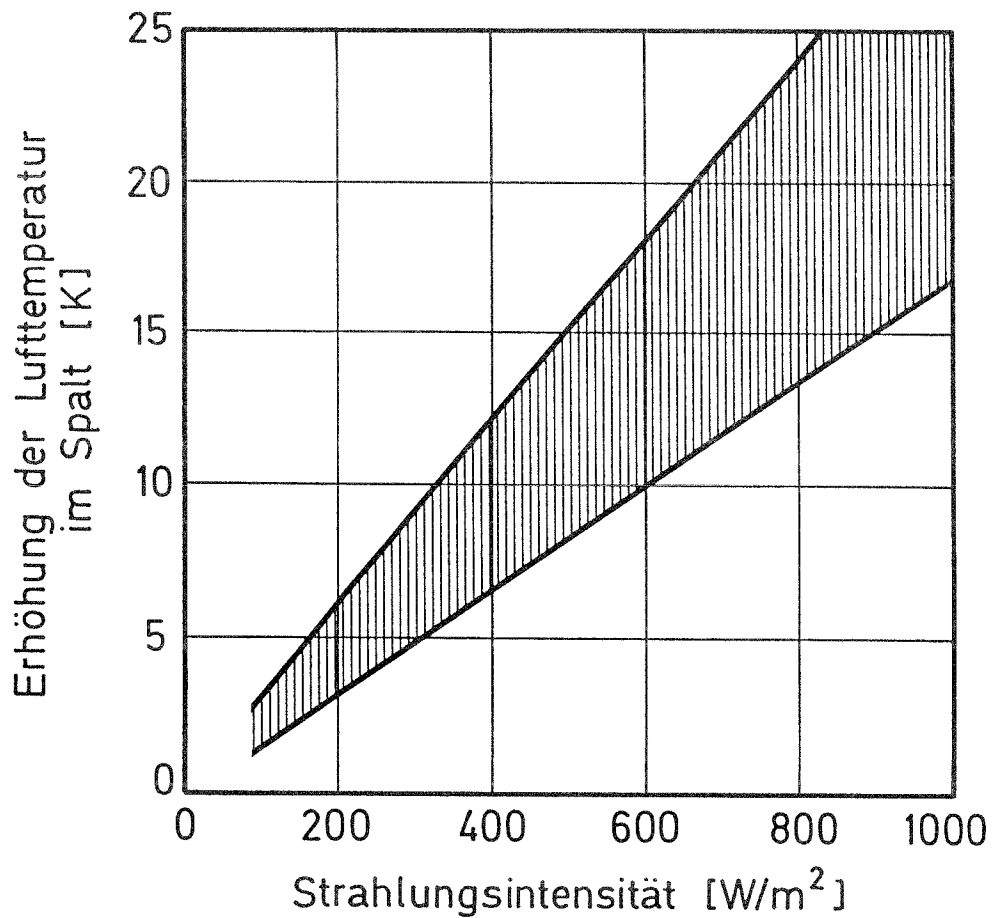


Bild 4 Zusammenhang zwischen der Erhöhung der Temperatur im Luftspalt von hinterlüfteten Bekleidungen von Außenwänden und der Strahlungsintensität bei Besonnung, nach [2].

Der schraffierte Bereich gibt die praktischen Streuungen wieder, die witterungs- und konstruktionsbedingt sein können.

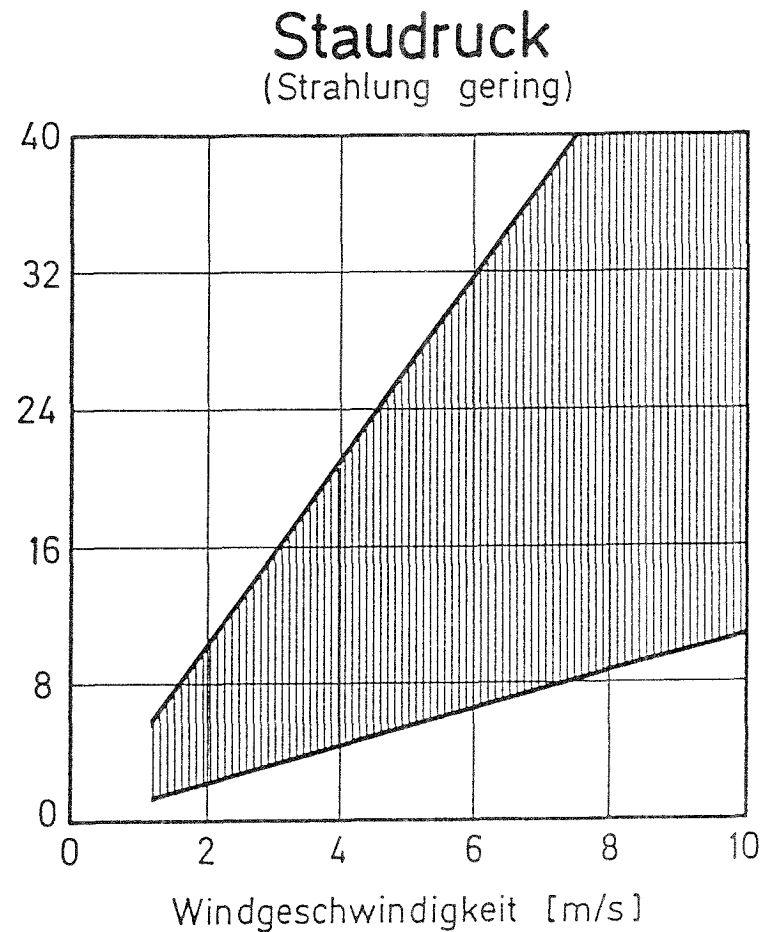
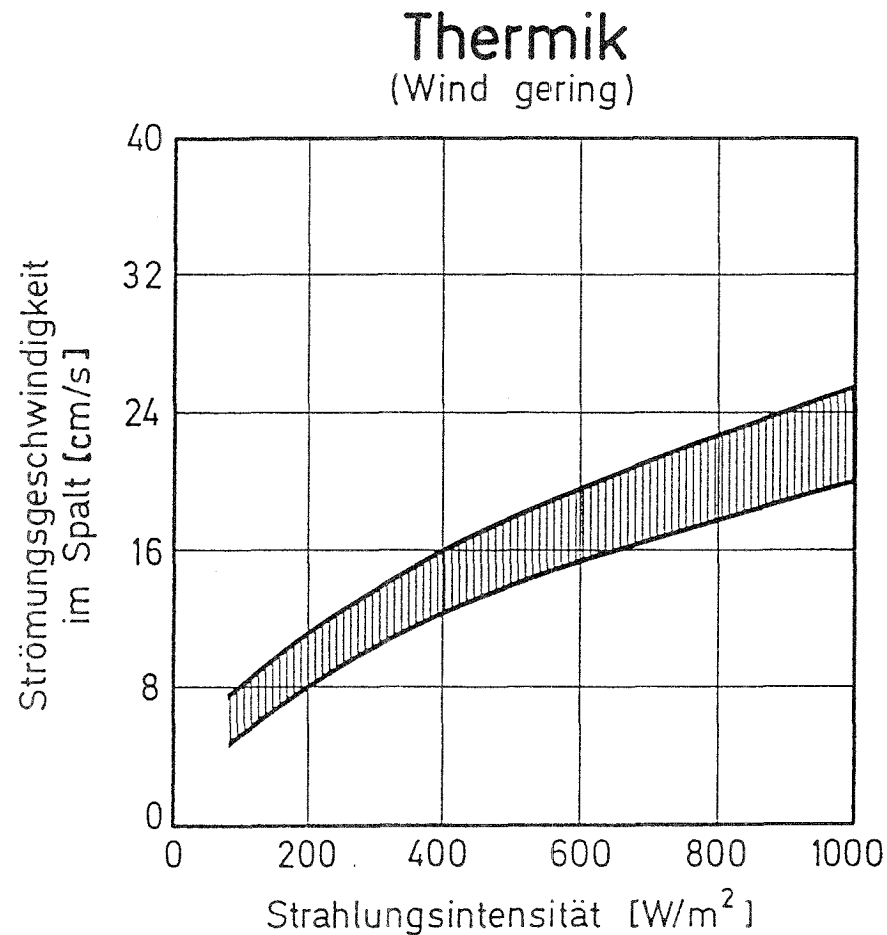


Bild 5 Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit im Spalt von belüfteten Außenwänden von der Sonnen-
zustrahlung und von der Windanströmung, nach [2] [3].

Links: Nur thermischer Auftrieb, praktisch kein Wind

Rechts: Nur Windanströmung, praktisch kein thermischer Auftrieb, weil geringe Strahlung

Die schraffierten Bereiche geben die praktischen Streuungen wieder, die - gebäudeaero-
dynamisch bedingt - bei Fassadenanströmung relativ groß sein können (rechtes Diagramm).

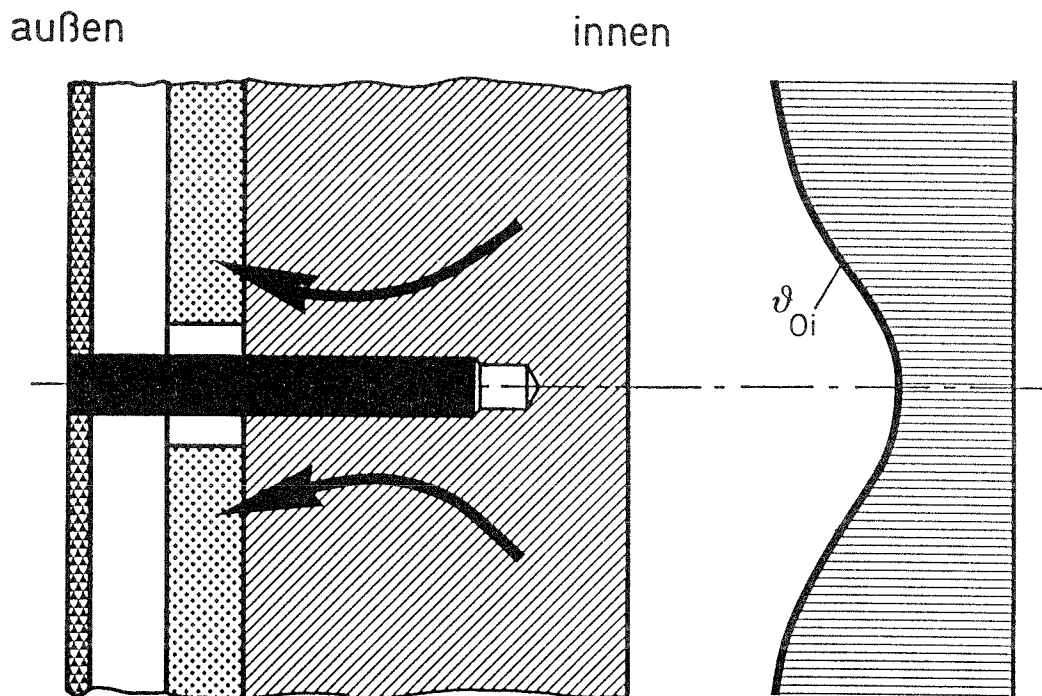


Bild 6 Schematische Darstellung der Wärmeflußlinien in einer Wand, deren Dämmschicht durch ein kreisförmiges Loch und einem Dübel durchbrochen ist.

Rechts: Verteilung der innerseitigen Oberflächentemperatur ϑ_{0i} .

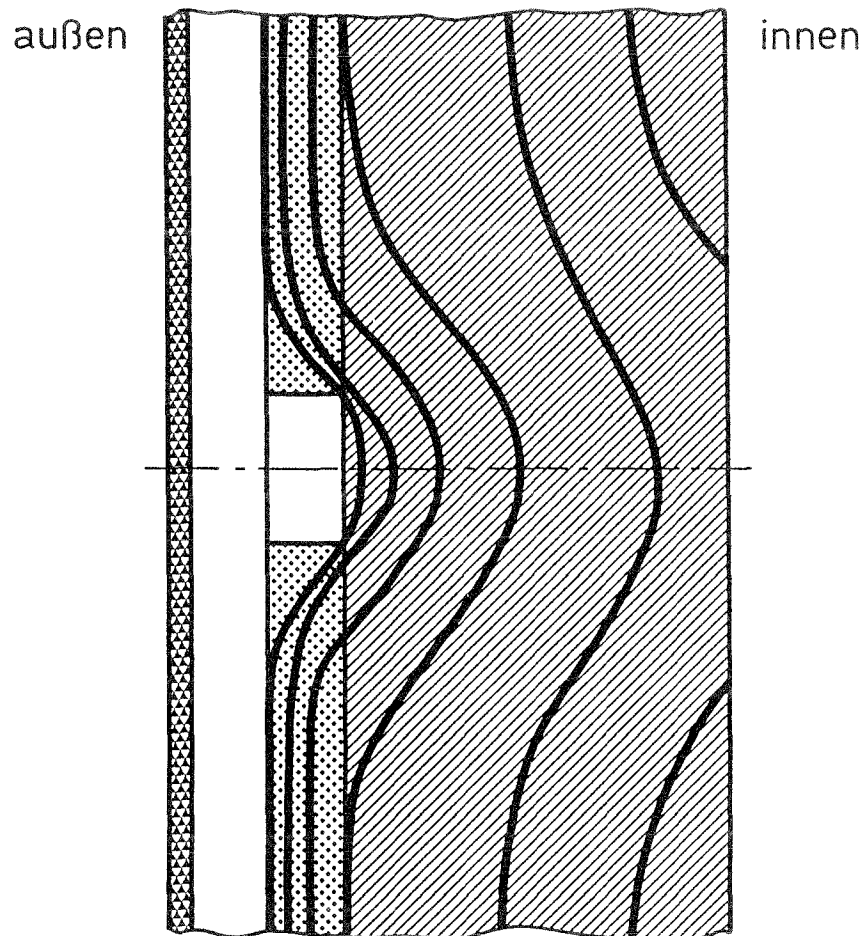


Bild 7 Schematische Darstellung des Isothermenfeldes in einer Wand mit Außendämmung, die ein kreisrundes Loch aufweist, nach [5].

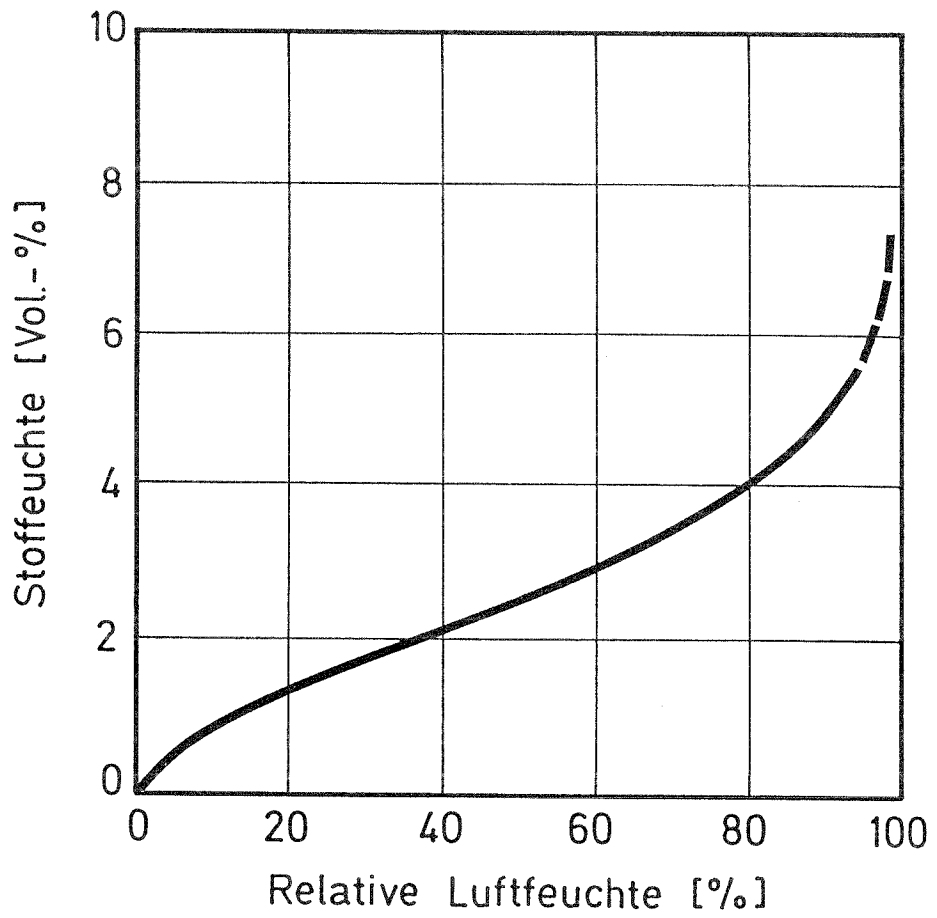


Bild 8 Sorptionsisotherme für Normalbeton. Werte gemittelt nach [8] [9] [10].

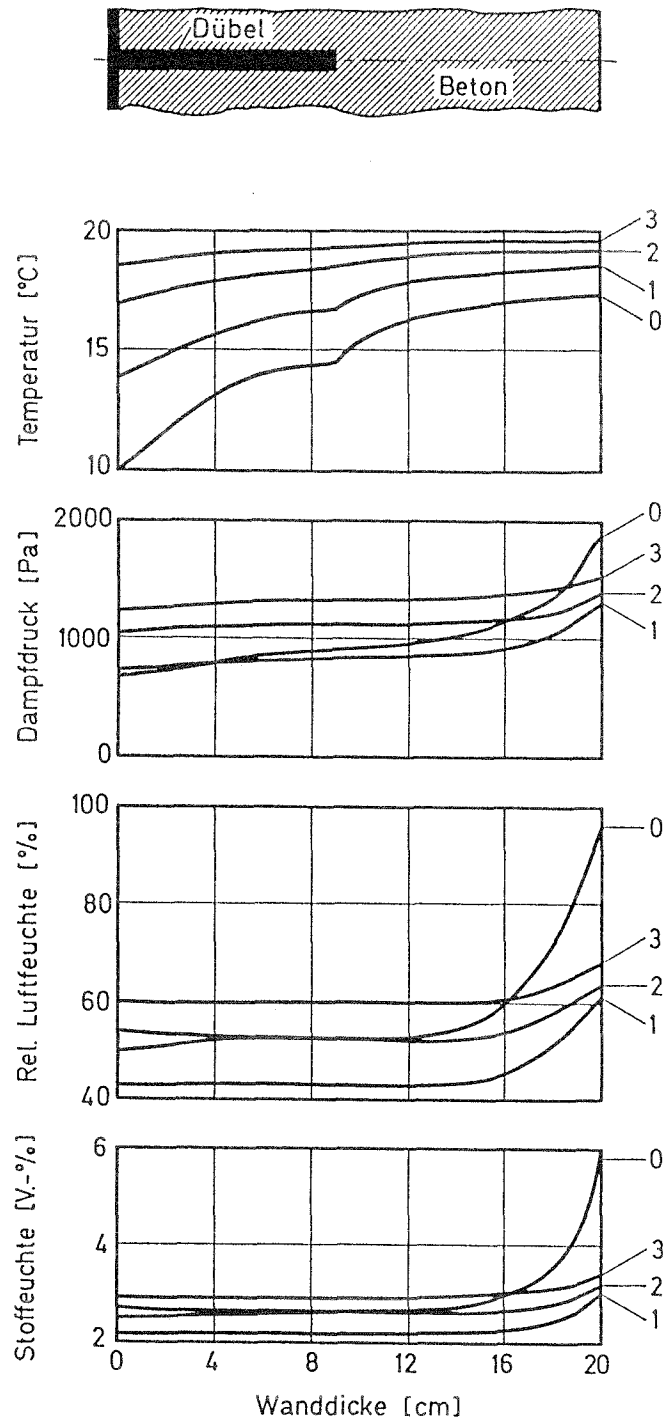


Bild 9 Verteilungen von Temperatur, Dampfdruck, relativer Feuchte und Stofffeuchte über die Wanddicke, ermittelt nach einem dreidimensionalen Berechnungsverfahren für die Varianten 0, 1, 2 und 3.
 Zugrundegelegte Daten:
 Betonschale: 20 cm
 Wärmedämmschicht: 8 cm
 Fall E: Dübel mit Platte, Loch in Dämmung (6 cm ϕ)
 Variante 0: Kalter Wintertag, extreme Innenraumfeuchte.

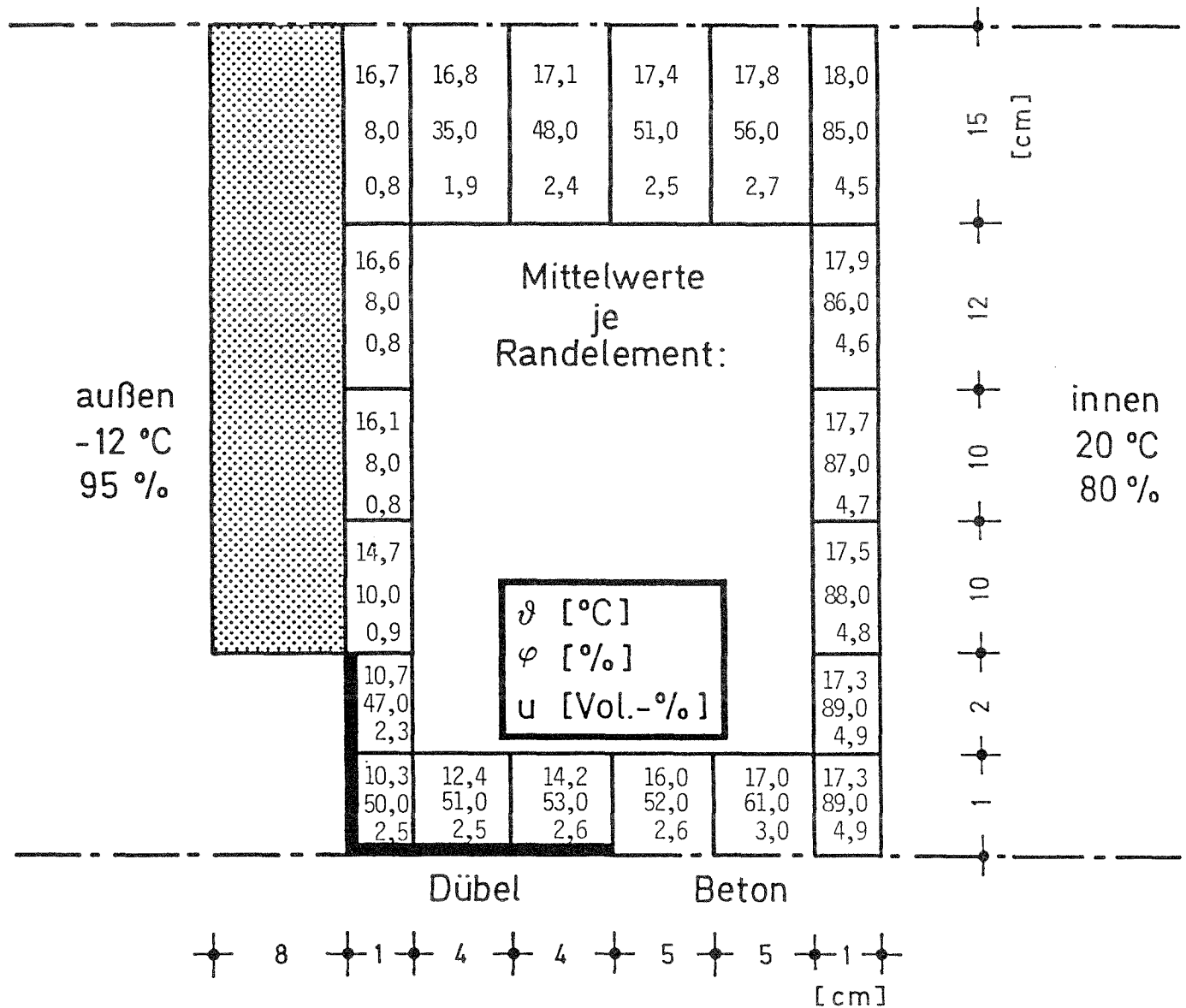


Bild 10 Verteilung von Temperatur, relativer Feuchte in den Poren und Stofffeuchte des den Dübel umgebenden Betons.

Zugrundegelegte Daten:
gemäß Bild 9 und Tabelle 1 bzw. 2 (Winterfall 0)

- θ : Temperatur [°C]
- φ : Relative Feuchte [%]
- u : Stofffeuchte [Vol.-%]

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Bereich Wärme / Klima

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. Karl A. Gertis

Amtlich anerkannte Prüfstelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten · Forschung, Prüfung und Beratung auf dem Gebiet der Bauphysik

Temperature and moisture conditions in the surrounding of metallic fixing elements for exterior shells of ventilated walls

K. Gertis, K. Kießl, H. Tanaka

- Summary -

Temperature and moisture conditions in the surrounding of metallic fixing elements for exterior shells of ventilated walls have been investigated by evaluating publications relevant to the subject as well as by own findings and additional calculations. The investigation is to serve as a basis for the assessment of corrosion processes but not for estimating corrosion itself.

Summarizing the following holds:

1. Temperature and moisture conditions are coupled and influencing each other. The governing conditions are those being established in the air gap behind the exterior shell for longer periods of time and their influences on the heat and moisture behaviour of the wall being disturbed by attaching a dowel.
2. Normally the air temperature in the gap is higher than in the environment but there is the same absolute air humidity on principle which means a lower relative humidity there. That is because gap ventilation results in a complete humidity exchange but not in a complete removal of heat the facade is receiving by sun radiation. The air velocity in the gap shows values up to 30 cm/s, usually however smaller with alternating directions. Gap width, facade height and joint design of the exterior shell have no significant influences on gap air conditions presuming a usual size of ventilation openings. Practically the following gap air conditions during longer periods of time can be taken into account (winter/summer changes):

Temperature of gap air: - 12° C to + 15° C

Relative humidity of gap air: 70 % to 95 % r.h.

Short term deviations can occur in both directions being of minor importance for slowly proceeding moisture transport processes in the wall.

3. A dowel will change the heat behaviour of a wall under different aspects. A metallic dowel is performing a cold bridge because of its high heat conductivity. Still without a dowel - only by a local hole in the insulation layer - the heat flux is disturbed. The cold bridge effect reduces the heat protection of the wall but, on the other hand, increases the temperature in the dowel surrounding due to drawing heat from the interior parts of the wall. Under corrosion aspects this is to be seen positively because of its reducing condensation risks at the dowel.
4. Moisture effects in the contact zone dowel/drilling hole being of interest under corrosion aspects are mainly influenced by the outside conditions, by the insulation layer thickness and the dowel temperature depending on it, by the kind of bolt penetration through the insulation layer as well as by moisture exchange processes occurring along the dowel inside the drilling hole. Assuming the ideal case of a tight contact between dowel plate and concrete surface and no vapour exchange processes in the drilling hole there are positive effects of a thicker and continuous insulation without interruption in the area of the fixing element. The investigated cases for 8 and 5 cm insulation layers with and without holes left free under cold and normal winter, transition period and summer conditions show the highest moisture loads along the dowel in the case of the thicker insulation layer with and without hole are reached under summer conditions. They are about 60 % r.h. and nearly constant along the dowel within the drilling hole. Concerning the thinner insulation layer with hole left free nearly the same loads are received (about 60 % r.h.) under cold winter and summer conditions. Without hole left free in the insulation 60 % r.h. are only reached under summer conditions. All the other cases show lower moisture loads along the

dowel under the mentioned assumptions. Looking at moisture loads at about 60 % r.h. there is not critical situation but a quite normal and relatively dry condition.

5. Assuming, however, that there is a tight outside dowel plate and a fine air gap connection between bottom and top of the dowel, e.g. caused by a non-perfect contact between dowel and drilling hole, allowing vapour pressure compensation, high relative humidities will be reached at the top of the dowel because of the lower temperatures there. Taking the worst case investigated here (5 cm insulation, hole left free, cold winter conditions) with a minimum temperature of about 7 °C at the dowel top a first theoretical approximation yields about 86 % r.h. This can become critical because the dew point is reached at about 5 °C under these conditions. Presuming additionally a non-tight dowel plate and a vapour pressure compensation between drilling hole and environment a drying out of the drilling hole zone can be expected under winter conditions (theoretical relative humidities then at about 15 to 20 %).

As a basis for long term estimations of corrosion processes at metallic fixing elements in ventilated walls the following practical consequences regarding moisture conditions in the dowel surrounding can be derived from the investigation:

In the ventilated air gap

70 % to 95 % r.h.

Behind the dowel

At about 90 % r.h.

(in the pores of the building material between drill-hole bottom and interior surface).

Contact zone dowel/drilling hole

Without vapour pressure compensation within the drilling hole (no air gaps along the dowel) up to about 65 % r.h.;

with vapour pressure compensation within the drilling hole and tight outside dowel plate at about 80 to 90 % r.h. at the dowel top and condensation risk at temperatures lower than 5 °C;

with vapour pressure compensation between drilling hole and environment at about 15 to 20 % r.h. inside the drilling hole under winter conditions (drying out !), under summer conditions also at about 60 % r.h.