5. Internationales Kolloquium
Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen- „MSR '99"
Esslingen, Nov. / Dez. 1999, pp 775–782
AEDIFICATIO Publishers, D-79104 Freiburg

Auswirkungen von Fehlstellen im Oberflächenanstrich auf den Feuchtehaushalt von Porenbetonwänden - Berechnung und Konsequenzen

R. Fink, K. Sedlbauer und M. Krus
Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Holzkirchen, Deutschland

Zusammenfassung

Die Auswirkungen von Fehlstellen eines Oberflächenanstrichs auf den Feuchtehaushalt von Porenbetonwänden werden durch vergleichende Berechnungen aufgezeigt und daraus Schlussfolgerungen gezogen. Es wird untersucht, ob sich durch Feuchtigkeit, die durch die defekte Beschichtung eingedrungen ist, der Wassergehalt soweit erhöht, dass er bei einsetzendem Frost über einem kritischen Wert liegt, wodurch Frostschäden entstehen können.
Stichwörter: *Porenbeton; Beschichtung; Feuchtehaushalt; Frostschäden*

The effect of surface coating defects on the water balance of cellular concrete walls - calculation and consequences

Abstract

The effect of surface coating defects on the water balance of cellular concrete walls is demonstrated by comparative calculations and consequences are considered. Of particular interest is the question whether moisture which has been absorbed through the defective coating increases the moisture content so that it exceeds a critical value when temperatures drop below freezing. This would entail a danger of frost damage.
Keywords: cellular concrete, coating, moisture balance, frost damage

1 Einleitung

Jedes Bauprodukt und Bauwerk unterliegt im Laufe seines Lebens der Alterung. Dies führt im unkritischen Fall zu optischen Beeinträchtigungen wie Farb- und Helligkeitsdifferenzen oder Verschmutzungen an der Oberfläche. Sind aber Eigenschaften der Bauteile vom Alterungsprozess betroffen, die zu deren Hauptanforderungen gehören, so kann eine Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit die Folge sein. Man spricht dann von einem Schaden.

Ein typisches und häufig auftretendes Beispiel eines Schadensfalles stellen Frostschäden dar. Das Vorhandensein von Feuchtigkeit ist eine entscheidende Voraussetzung für das Entstehen von Frostschäden. An einer Porenbetonwand mit defekter Beschichtung sind in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen nach dem Winter 1998/99 starke Frostschäden, in Form von flächigen Abplatzungen mit einer Dicke von bis zu 2 cm, festgestellt worden (Abbildung 1). Andererseits sind an unbeschichteten Porenbetonprismen in einer Versuchswand auch nach mehreren Jahren Bewitterung keine bzw. nur unerhebliche Frostschäden aufgetreten.

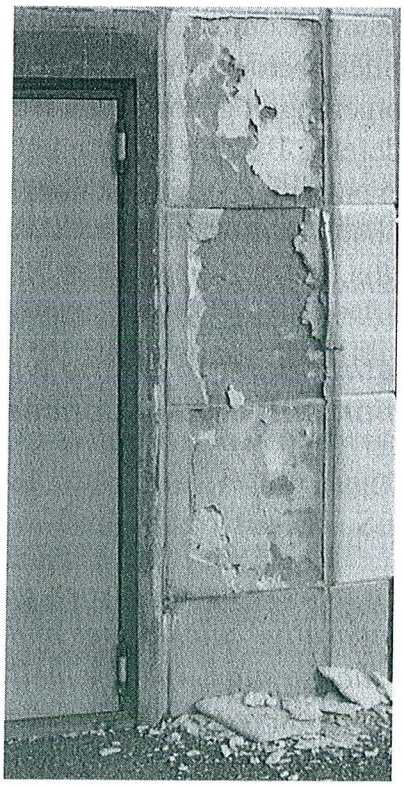

Abbildung 1: Fotografische Aufnahme von flächigen Absprengungen an einer Westwand aus beschichtetem Porenbeton im Gelände der Freilandversuchsstelle Holzkirchen des IBP nach dem Winter 1998/99

2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Diese Beobachtungen waren der Anlass, zu untersuchen, wie sich Fehlstellen in Beschichtungen auf den Feuchtehaushalt einer Porenbetonwand und damit auch auf die Gefahr von Frostschäden auswirken.

Dazu wird ein einfaches Modell entwickelt, mit dem die Wasseraufnahme an solchen Fehlstellen bei eindimensionaler Berechnung simuliert werden kann. Es werden Ergebnisse der Berechnungen mit verschiedenen Klimadatensätzen miteinander verglichen, um die Ursachen für das vermehrte Entstehen von Frostschäden im letzten Winter aufzeigen zu können. Anschliessend wird der Einfluss des sd-Wertes der Beschichtung auf das Schädigungspotential bei Auftreten von Fehlstellen dargelegt.

3 Wärme- und feuchtetechnische Berechnungen

3.1 Einführung

Die Wärme- und feuchtetechnischen Berechnungen für diese Arbeit erfolgen mit dem PC-Programm WUFI [1], das am Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) entwickelt wurde. Die erforderlichen Materialkennwerte stammen aus der WUFI-Materialdatenbank und der Publikation [2].

Für die vergleichenden Berechnungen werden die Wetterdaten des Jahres 1991, die bisher als Referenzzyklus für wärme- und feuchtetechnische Berechnungen verwendet wurden, und die des Winters 1998/99 mit seinen gehäuft aufgetretenen Schäden ausgewählt. Im Vergleich dazu werden Berechnungen mit dem Test-Referenz-Jahr (TRY) [3] München, das auch für Holzkirchen gültig ist, sowie dem TRY Freiburg, als Beispiel für ein sehr mildes Klima, durchgeführt.

3.2 Modell der Feuchtigkeitsaufnahme über Fehlstellen

Untersucht wird eine Wand aus 50 cm dickem, beschichtetem Porenbeton. Der Dampfdiffusionswiderstand der hydrophoben Beschichtung wird durch einen äusseren sd-Wert von 0,5 m berücksichtigt. Während bei intakter Beschichtung kein Wasser von aussen eindringt, kann über vorhandene Fehlstellen zusätzlich Wasser aufgenommen werden. Um den Einfluss der Fehlstelle auf den Wassergehalt der Wand in unmittelbarer Nähe der schadhaften Stelle abzuschätzen, wird von folgendem Modell ausgegangen. Die Fehlstelle besitzt nur einen geringen Flächenanteil an der gesamten Wandoberfläche. Deshalb wird für die Beschichtung von einem unveränderten sd-Wert ausgegangen. Für den Flüssigtransport trifft das aber nicht zu. Wie in Abbildung 2 skizziert, findet der Flüssigtransport über die Fehlstelle in die Wand in wesentlich grösserem Masse statt, als es dem Flächenanteil der Fehlstelle entspricht. Eingedrungenes Wasser breitet sich im Mauerwerk in starkem Masse auch seitlich hinter der Beschichtung aus. Betrachtet man nur die Feuchtig-

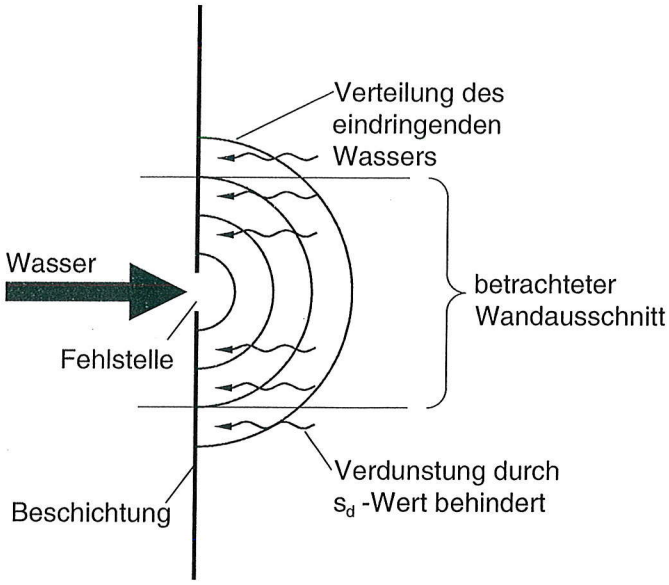

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Modells für die Wasseraufnahme über vorhandene Fehlstellen einer Beschichtung

keit nahe der Fehlstelle, wo letztlich auch der eventuelle Frostschaden auftreten wird, können für eindimensionale WUFI-Berechnungen für die Flüssigtransportkoeffizienten folgende Annahmen getroffen werden. Die kapillare Wasseraufnahme des Porenbetons in der Nähe der Fehlstelle ist aufgrund deren geringer Fläche im Vergleich zur unbeschichteten Porenbetonwand verringert. Dies wird durch die Halbierung der Transportkoeffizienten für den Saugvorgang in den ersten 2,0 cm des Mauerwerks berücksichtigt. Auf den Weiterverteilungsvorgang hat die Fehlstelle jedoch keinen Einfluss. Die Transportkoeffizienten für das Weiterverteilen bleiben daher gegenüber dem ungeschädigten Porenbeton unverändert.

Die über die Fehlstelle eingedrungene Feuchtigkeit verteilt sich gleichmässig in alle Richtungen hinter der noch intakten Beschichtung, kann aber wegen des vorhandenen sd-Werts nur sehr langsam wieder nach aussen diffundieren. Es soll nun untersucht werden, wie sich die defekte Beschichtung auf den Wasserhaushalt einer Porenbetonwand auswirkt.

3.3 Einfluss unterschiedlicher Klimajahre

Die Nulldurchgänge, die Froststunden und der Quotient aus lokalem Wassergehalt zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs und dem freien Wassergehalt über der Tiefe dienen dabei als Kriterium und sind in Abbildung 3 dargestellt.

Die Nulldurchgänge nehmen in den ersten Schichten des beschichteten Porenbetons sehr stark ab. Ab einer Tiefe von ca. 5,0 cm gibt es nur noch wenige Null-

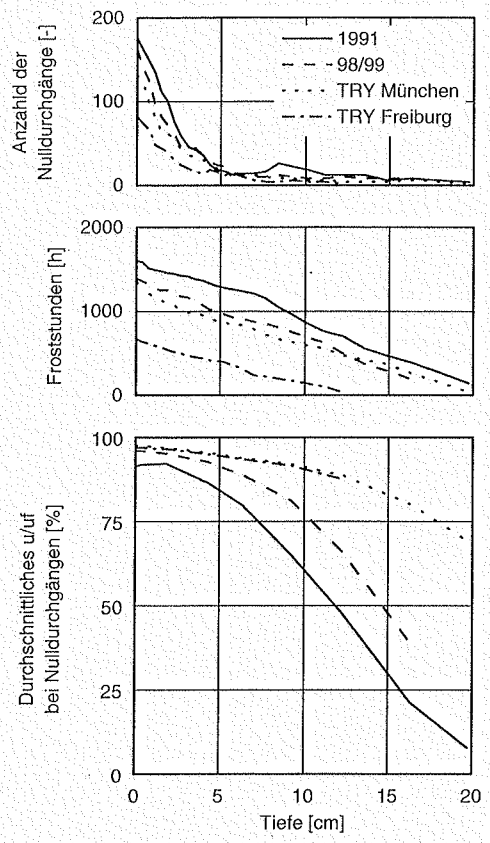

Abbildung 3: Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Wetterdaten auf das beschichtete Porenbetonmauerwerk. Dargestellt sind die Nulldurchgänge (oben), die Froststunden (Mitte) und der durchschnittliche, auf die freie Wassersättigung bezogene Wassergehalt zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs (unten) jeweils über die Tiefe

durchgänge, sowohl bei Berechnung unterschiedlicher Holzkirchner Klimadaten als auch bei Verwendung der Test-Referenz-Jahre (Abbildung 3 oben). Dies ist mit der niedrigen Wärmeleitfähigkeit (0,14 W/mK) und der daraus resultierenden Wärmeeindringgeschwindigkeit des Porenbetons zu erklären. Kurzzeitige Temperaturänderungen der Aussenluft wirken sich nicht in der Tiefe des Porenbetons aus. Bleibt die Aussenlufttemperatur über einen langen Zeitraum unter 0 °C, gefriert es trotzdem bis zu 20 cm in den Porenbeton hinein. Es dauert dann lange, bis der gefrorene Porenbeton wieder auftaut, da auch die Änderung der Temperatur in den positiven Bereich nur langsam an den Porenbeton weitergegeben wird. Die Froststunden nehmen deshalb nahezu linear von der Oberfläche bis zur maximalen Frosttiefe hin ab (Abbildung 3 Mitte). Die höchsten Werte bezüglich Nulldurchgänge und

Froststunden liefert die Rechnung mit dem Holzkirchner Jahr 1991, die niedrigsten das TRY Freiburg.

Aufgrund der defekten Beschichtung treten an der Oberfläche Wassergehalte während der Nulldurchgänge auf, die bei über 90% des Wassergehalts bei freier Sättigung liegen (Abbildung 3 unten). Die Wassergehalte nehmen im Gegensatz zu der Anzahl der Nulldurchgänge in Oberflächennähe langsamer ab als in grösseren Tiefen. Neben den beiden TRY liefert der Winter 1998/99 die höchsten Wassergehalte bei Nulldurchgängen. Wie in [4] bereits ausführlich dargelegt, führen die TRY aufgrund der fehlerhaften Angabe der Niederschlagszeiten aber fälschlicherweise zu extrem hohen Feuchtegehalten.

Für die weiteren Untersuchungen der Auswirkungen einer defekten Beschichtung auf den Feuchtehaushalt von Porenbetonwänden werden die Wetterdaten des Winters 1998/99 verwendet, da diese zu extremen, aber durchaus realistischen Werten der Temperatur und des Wassergehalts im Porenbeton führen.

4 Wasserhaushalt bei defekten Beschichtungen mit unterschiedlichen sd-Werten

In Abbildung 4 oben ist der Gesamtwassergehalt in M.-% der ersten 5,0 cm der Porenbetonwand im unbeschichteten Zustand und mit defekten Beschichtungen mit unterschiedlichen sd-Werten dargestellt. Im unteren Teil wurde die Tagessumme des Schlagregens und das Tagesminimum der Oberflächentemperatur über die Zeit aufgetragen.

Laut [5] ist bei Porenbetonwänden mit einem Wassergehalt, der über 50 M.-% liegt, mit einer Schädigung durch Frost-Tau-Wechsel zu rechnen. Die Wände mit sd-Werten über 0,1 m weisen im gesamten Zeitraum höhere Wert auf. Folglich können schon bei wenigen Frost-Tau-Wechseln jederzeit Schäden auftreten. Dies deckt sich auch mit den Beobachtungen in der Freilandversuchsstelle Holzkirchen, in der erhebliche Frostschäden an einer beschichteten Porenbetonwand (vgl. Abbildung 1) nach dem Winter 1998/99 festgestellt wurden.

Die Höhe des sd-Wertes hat oberhalb von 0,1 m kaum einen Einfluss auf den Wassergehalt der Wand. Erst bei Verwendung eines Anstrichs mit einem sd-Wert von höchstens 2 cm führt eine Fehlstelle nicht mehr zu kritisch hohen Wassergehalten bei Frost im Winter 1998/99. Zwar ist auch die unbeschichtete Porenbetonwand dahingehend ungefährdet; diesen Vorteil erkauft man sich aber mit hohen mittleren Feuchtegehalten der gesamten Wand und der damit einhergehenden Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit auf mehr als das Doppelte.

Gemäss Van der Klugt [6] ist ein typischer Frostschadenswinter dadurch gekennzeichnet ist, dass auf Tage mit starkem Regen unmittelbar Perioden mit Temperaturen unter Null Grad Celsius folgen. Solche Abfolgen wurden im Winter 1998/99 mehrmals festgestellt (siehe Abbildung 4 unten).

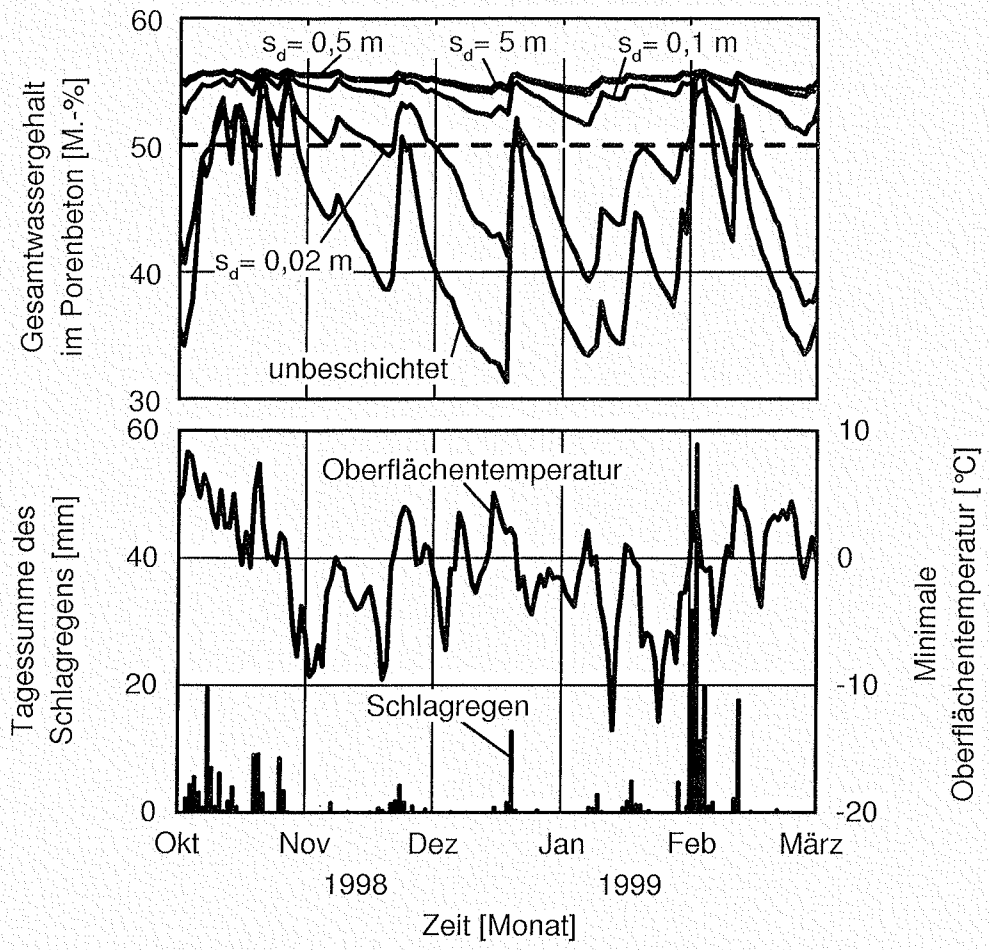

Abbildung 4: Im oberen Bild ist der Verlauf des Gesamtwassergehalts der ersten 5 cm einer Porenbetonwand im unbeschichteten Zustand und mit defekt gewordenen Beschichtungen mit unterschiedlichen sd-Werten dargestellt.
In der unteren Abbildung wurde die Tagessumme des Schlagregens und das Tagesminimum der Oberflächentemperatur über die Zeit angetragen

5 Schlussfolgerung

Diese Arbeit hat gezeigt, dass Fehlstellen in der Beschichtung einer Porenbetonwand schon bei geringen sd-Werten zu gefährlich hohen Wassergehalten in der Wand führen. Die Höhe des sd-Werts einer defekten Beschichtung hat oberhalb von 0,1 m keinen wesentlichen Einfluss auf das Feuchteverhalten der Wand. Bei einsetzendem Frost ist die Gefahr, dass Schäden auftreten, dann entsprechend gross.

Vor der Verwendung bzw. Markteinführung einer Beschichtung muss diese daher ausführlichen Tests unterzogen werden. Das Entstehen von Fehlstellen muss

von vornherein weitgehend ausgeschlossen werden, falls der sd-Wert der Beschichtung über 2 cm liegt.

Die festgestellten höheren Feuchtegehalte in der Wand bei Rechnung mit den Daten des Winters 1998/99 (vgl. Abbildung 3) haben ausserdem dazu geführt, dass dieser in Zukunft als neuer hygrothermischer Referenzzyklus für die Beurteilung der Frostschadenshäufigkeit verwendet wird.

6 Literatur

[1] Künzel, H.M, *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten,* Dissertation Universität Stuttgart (1994).

[2] Krus, M und Künzel, H.M, *Berechnung des Feuchtehaushaltes von Porenbetonbauteilen,* gi-Gesundheits-Ingenieur 117, H.3, S. 134-139 (1996).

[3] Blümel, K. et al., *Entwicklung von Test-Referenz-Jahren (TRY) für Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland,* Bericht des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, BMFT-FB-T 86-051 (1986).

[4] Künzel H.M., *Regendaten für die Berechnung des Feuchtetransports,*

[5] IBP-Mitteilung 21, Nr. 265 (1994).

[6] Ytong AG München, *Planungsunterlagen; Konstruktion und Ausführung im Wohnungsbau* 1997/98 (1997).

[7] Van der Klugt, L.J.A.R., *Frostprüfverfahren mit einseitiger Befrostung, Ziegelindustrie International,* H.2, S. 92-98 (1989).

[8] Fink, R., *Beurteilung von Frostschadenshäufigkeiten in bewitterten Aussenbauteilen, Statistische Auswertung der Witterungseinflüsse, Berechnung und Praxisvergleich an beispielhaften Konstruktionen,* Diplomarbeit Fachhochschule München (1999).