

Dimensionierung der Vertikalfugen zwischen liegend angeordneten Wandplatten aus bewehrtem Porenbeton

Bewehrte nicht tragende Wandplatten aus dampfgehärtetem Porenbeton der Festigkeitsklasse 2,2, 3,3 und 4,4 zur Wandausfachung finden ihre Anwendung überwiegend im Industrie- und Wirtschaftsbau. Sie sind in Verbindung mit Tragkonstruktionen variabel einsetzbar und werden zur Ausfachung von Skelettkonstruktionen vor, hinter und zwischen den Stützen verwendet. Die unterschiedlichen Bauteilgrößen und die horizontale und vertikale Verlegeweise öffnen viele Wege zur Fassadengestaltung und geben die Möglichkeit, jede Wand im Montagebau zu errichten. Die Wandplatten werden zur Abtragung des Eigengewichtes, auch von Fensterbändern, und zur Aufnahme von senkrecht zur Platte wirkenden Windlasten verwendet.

Die DIN 18540 „Abdichtungen von Außenwandfugen im Hochbau mit Fugendichtstoffen“, Ausgabe Februar 1995, gilt nicht für Fugen zwischen Porenbetonbauteilen. Für die Ausbildung der horizontalen und vertikalen Fugen zwischen Porenbeton-Wandplatten gelten die im Porenbeton-Bericht 6 „Bewehrte Wandplatten – Fugenausbildung“ [1] festgelegten Regeln.

Vertikale Fugen bei liegend angeordneten Wandplatten werden mit einem plastoelastischen Fugendichtstoff, z.B. Dichtstoffe auf Acrylat-Dispersionsbasis, abgedichtet. Die richtige Dimensionierung dieser Fugen ist zur Vermeidung von Bauschäden unerlässlich. Erstmals wurde ein Vorschlag zur richtigen Dimensionierung in einer Veröffentlichung von *Flassenberg* [2] im Jahr 1990 unterbreitet, der seinerzeit geringfügig modifiziert in den bereits genannten Porenbeton-Bericht 6 [1] eingegangen ist. Zwischenzeitlich wurden umfangreiche Untersuchungen im Fraunhofer-Institut in Holzkirchen zur Verifizierung der tatsächlichen Fugenbewegungen vorgenommen [6] [7] [8]. Andererseits wurde durch Untersuchungen an der FH Wiesbaden versucht, die derzeit im Porenbeton-Bericht 12 [3] festgelegte Prüfvorschrift für die Dichtstoffe zu aktualisieren und an die vorhandenen Bewegungen anzupassen. Über diese Untersuchungen wird an dieser Stelle aus Gründen des Umfangs nicht berichtet und nur auf den unter [4] angegebenen Bericht verwiesen.

Im Folgenden sollen die neueren Untersuchungsergebnisse mit den alten verglichen und eine endgültige Bemessungsvorschrift hergeleitet werden. Damit dürften die Architekten und Planer dann in der Lage sein, die Fugenauslegung auf einfache Weise mit den auf dem Markt befindlichen Dichtstoffen abzustimmen.

Dimensionierung der Vertikalfugen nach Flassenberg [2] und Porenbeton-Bericht 6 [1]

Wie bei allen Baustoffen, tritt auch beim Porenbeton unter Einwirkung von Wärme eine Formänderung auf. Dabei muss der Fugendichtstoff folgende Formänderungsgrößen schadenfrei aufnehmen:

- Thermische Längenänderung der Wandplatten in Richtung der Plattenebene
- Stauchung bzw. Dehnung infolge Krümmung der Wandplatten
- Schwinden bzw. Quellen

Neben der Aufnahme dieser Bewegungen muss der Fugendichtstoff eine dichtende Funktion erfüllen.

Thermische Längenänderung

Die thermische Längenänderung tritt im Verlauf des Besonnungsvorganges in Richtung der Plattenebene auf und kann rechnerisch durch folgende Gleichung erfasst werden:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t$$

mit:

Δl = Längenänderung in [m]

l_0 = ursprüngliche Längenabmessung in [m]

α_t = linearer Wärmeausdehnungskoeffizient = $8 \cdot 10^{-6} K^{-1}$

Δt = Temperaturänderung in [K]

Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die errechnete lineare Wärmeausdehnung bei Porenbeton in Wirklichkeit viel geringer ist [5]. Infolge der wärmedämmenden Wirkung des Porenbetons treten die linearen thermischen Längenänderungen gegenüber der Wölbung in den Hintergrund. Ein großer Teil der Längenänderung wird in die Wölbung umgesetzt. So erfährt die größte Längenänderung infolge Wölbung nach außen im Sommer mit 0,26 mm/m eine dünne, dunkle Platte (d = 15 cm). Eine dicke, dunkel beschichtete Platte (d = 25 cm) dehnt sich dagegen maximal nur 0,21 mm/m. Im Winter kann es zu einer linearen Längenänderung infolge Wölbung nach innen bis zu 0,06 mm/m kommen.

Stauchung/Dehnung infolge Krümmung

Die temperaturbedingte Krümmung erfolgt infolge Besonnung im Sommer nach außen bzw. bei Temperaturumkehr im Winter nach innen und erzwingt dadurch eine Stauchung bzw. Dehnung des Fugendichtstoffes.

Für eine ungleichmäßige Temperaturbelastung Δt ergibt sich ein Auflagerdrehwinkel $\varphi(x)$ von:

$$\varphi(x=0) = -\varphi(x=l) = \frac{l}{2} \cdot \alpha_t \cdot \frac{\Delta t}{d}$$

mit:

l = Wandplattenlänge in [m]

α_t = linearer Wärmeausdehnungskoeffizient von Porenbeton = $8 \cdot 10^{-6} K^{-1}$

Δt = Temperaturänderung in [K]

d = Wandplattendicke in [m]

Δt ist die Temperaturspanne innerhalb der Temperaturgrenzen, denen der Baustoff in unseren Breiten ausgesetzt ist. Für die weiteren Überlegungen wurde noch eine Bezugstemperatur festgelegt. Diese Bezugstemperatur (Herstellungstemperatur) ist die Temperatur, bei der die Fuge verfüllt wird. Die Verfügungstemperaturgrenze liegt zwischen +5°C und etwa +35°C, wobei in beiden Fällen der jeweils niedrigste bzw. höchste Wert der Oberflächentemperatur des Untergrundes maßgebend ist. Diese wiederum ist im Wesentlichen abhängig von der Wandorientierung (Ost-West), von der Jahreszeit (Sommer-Winter) und von der Farbgebung der Außenoberfläche. Während bei hellbeschichteten Wänden mit kleinem Strahlungsabsorptionsvermögen ca. 50°C erreicht werden, heizt sich eine dunkle Wandoberfläche mit Westorientierung im Sommer bis auf 80°C auf. Erfahrungen aus der Praxis haben gezeigt, dass vollständig dunkel beschichtete Wandplatten i.d.R. nicht zur Anwendung kommen, so dass im Sommer von einer maximalen Oberflächentemperatur t_a von 65°C ausgegangen werden kann.

Auf Grund der in unseren Breiten vorhandenen Außentemperaturen im Winter kann für diesen Lastfall eine minimale Außen-Oberflächentemperatur t_a von -15°C angesetzt werden. Der Wert der Innen-Oberflächentemperaturen t_i ist an Hand der späteren Nutzung des Gebäudes festzulegen.

Dagegen können die Werte der Oberflächentemperaturen t_{bi} und t_{ba} zum Zeitpunkt der Verfüguung in der Planungsphase nur grob abgeschätzt werden. Auf Grund der dabei auftretenden Ungenauigkeit wird deren Einfluss nur zur Hälfte berücksichtigt.

Die Temperaturspanne Δt kann somit näherungsweise bestimmt werden:

$$\Delta t = \left(t_a - \frac{t_{ba}}{2} \right) - \left(t_i - \frac{t_{bi}}{2} \right)$$

mit:

t_a = Oberflächentemperatur der Wandplatte außen

t_i = Oberflächentemperatur der Wandplatte innen

t_{ba} = Oberflächentemperatur der Wandplatte zum Zeitpunkt der Verfüguung außen

t_{bi} = Oberflächentemperatur der Wandplatte zum Zeitpunkt der Verfüguung innen

Aus den geometrischen Bedingungen ergibt sich der Wert h_{sd} der Stauchung bzw. Dehnung zu:

$$h_{sd} = \tan \varphi(x) \cdot t$$

mit:

$\varphi(x)$ = Drehwinkel am Auflager

$$t = d / 2$$

Da der Neigungswinkel φ der elastischen Krümmungslinie meist klein ist, kann $\varphi(x) = \tan \varphi(x)$ gesetzt werden. Daraus ergibt sich für die Stauchung und Dehnung der Wert:

$$h_{sd} = \varphi(x) \cdot t = \frac{l}{4} \cdot \alpha_t \cdot \Delta t$$

Schwinden

Bei Porenbeton ist von einem Schwindmaß von 0,1 mm/m im Anfangszustand auszugehen. Vom Zeitpunkt des Einbaus bis zum Erreichen der Ausgleichsfeuchte bei ca. 20°C

und 45% relativer Feuchte sind keine Veränderungen zu erwarten. Als Werte können 0,05 bis 0,15 mm/m angesehen werden. Auf der sicheren Seite liegend wird bei den nachfolgenden Berechnungen von einem Schwindmaß von 0,15 mm/m ausgegangen.

Langzeitverhalten/Belastbarkeit des Fugendichtstoffes

Zur Ermittlung der notwendigen Fugenbreite müssen die vorgenannten Formänderungsgrößen noch in Bezug zum Langzeitdehn- bzw. Langzeitstauchverhalten des Fugendichtstoffes gesetzt werden. In Anlehnung an die Fachliteratur soll dieses Verhalten durch den Faktor des Dichtstoffes F_D beschrieben werden. Für Fugendichtstoffe auf Acrylat-Dispersionsbasis, die meist bei Porenbeton-Wandplatten angewandt werden, wird überschlägig mit einem F_D von 15 bis 20% gerechnet. In jedem Fall sind bezüglich dieses Wertes die technischen Merkblätter und die Verarbeitungsrichtlinien der Dichtstoffhersteller zu beachten.

Fugendimensionierung

Unter Berücksichtigung der vorhergehenden Ausführungen ergibt sich die erforderliche Fugenbreite einer Vertikalfuge zwischen liegend angeordneten Wandplatten zu:

$$b_F = \frac{1,2}{F_D} \cdot [2 \cdot h_{sd} + \Delta l_{lin} \cdot l - S \cdot l]$$

$$b_F = \frac{1,2}{F_D} \cdot \left[2 \cdot \frac{l}{4} \cdot \alpha_t \cdot \Delta t \cdot 10^3 + \Delta l_{lin} \cdot l - 0,15 \cdot l \right] \cdot \frac{1}{1000}$$

$$b_F = \frac{0,12}{F_D} \cdot l \cdot [0,5 \cdot \alpha_t \cdot \Delta t \cdot 10^3 + \Delta l_{lin} - 0,15] \quad [\text{m}]$$

mit:

+ = Stauchung des Fugendichtstoffes

- = Dehnung des Fugendichtstoffes

α_t = linearer Wärmeausdehnungskoeffizient von Porenbeton = $8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

l = Wandplattenlänge in [m]

F_D = Faktor de Dichtstoffes in [%]

Δt = Temperaturänderung in [K] = $(t_a - t_{ba} / 2) - (t_i - t_{bi} / 2)$

t_a = Oberflächentemperatur der Wandplatte außen [°C]

- t_i = Oberflächentemperatur der Wandplatte innen [°C]
 t_{ba} = Oberflächentemperatur der Wandplatte zum Zeitpunkt der Verfugung außen [°C]
 t_{bi} = Oberflächentemperatur der Wandplatte zum Zeitpunkt der Verfugung innen [°C]
 Δl_{lin} = lineare Längenänderung [mm/m]
 dünne, dunkel beschichtete Platte (d= 15 cm) im Sommer: 0,26 mm/m
 dicke, dunkel beschichtete Platte (d= 25 cm) im Sommer: 0,21 mm/m
 lineare Längenänderung im Winter: -0,06 mm/m
 S = Schwindmaß 0,15 mm/m für Porenbeton
 1,2 = Faktor für Maß-, Einbautoleranzen, Setz- und Schwingungsbewegungen

Dimensionierung der Vertikalfugen nach neueren Untersuchungen im Fraunhofer-Institut Holzkirchen [6], [7], [8]

Um weitere Aussagen über das Formänderungsverhalten eingebauter liegend angeordneter Porenbeton-Wandplatten zu erhalten, wurden in den Jahren 1991 bis 1998 eine Reihe von Untersuchungen auf dem Freilandversuchsgelände in Holzkirchen durchgeführt. Die Messungen fanden an der Ostwand einer 1990 errichteten Lagerhalle aus Porenbeton-Wandplatten statt. Die Abmessung der Platten betrug 475x62,5x25 cm. Die Untersuchungen gliederten sich in drei Abschnitte:

1. Messungen an einem eingebauten, trockenen, weiß beschichteten Wandsegment [6]
2. Messungen an einem eingebauten, trockenen, dunkelblau beschichteten Wandsegment [7]
3. Messungen an einem baufeucht eingebauten, dunkelblau beschichteten Wandsegment [8]

Die unter [6] und [7] durchgeführten Untersuchungen an einem hell und später dunkel beschichteten Wandsegment aus Porenbeton-Wandplatten ergaben, dass das Verformungsverhalten, d.h. die Wölbung, Fugenbreitenänderung und Plattenlängenänderung, im Wesentlichen thermischen und konstruktiven Einflüssen zuzuordnen ist. Hygrisch bedingte Quell- oder Schwindvorgänge traten dabei in den Hintergrund.

Ziel der Untersuchungen unter [8] war es, im Vergleich dazu eventuelle Änderungen im Verformungsverhalten eines baufeucht eingebauten und unter natürlicher Bewitterung trocknenden Wandsegments aus Porenbeton-Wandplatten festzustellen. Dazu wurden

während des Trocknungsvorganges raumseitig Wölbungen, außenseitig Plattenlängen- und Fugenbreitenänderungen über vertikale Plattenstöße hinweg sowie Oberflächentemperaturen und Temperaturprofile gemessen. Zur Ermittlung des Trocknungsverhaltens sind die Wassergehalte im Wandprofil über einen längeren Zeitraum bestimmt worden. Über die hieraus resultierenden wichtigsten Erkenntnisse wird im Folgenden zusammenfassend berichtet. Ausführliche Informationen sind den jeweiligen Forschungsberichten unter [6], [7] und [8] zu entnehmen.

Temperaturmessungen

Ermittelt wurden in den jeweiligen Messperioden die Temperaturverteilungen über deren Wandquerschnitt im baufeuchten und trockenen Zustand jeweils für die Winter- oder Sommerperiode. Die sich dabei ergebenden maximalen und minimalen Außenoberflächentemperaturen ϑ_{Oa} sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Zu erkennen ist, dass im Sommer bei einer weiß beschichteten Wandplatte von einer maximalen Oberflächentemperatur von $\vartheta_{Oa} = 35^{\circ}\text{C}$, bei einer dunkelblau beschichteten Platte von $\vartheta_{Oa} = 65^{\circ}\text{C}$ ausgegangen werden kann. Entsprechend sind die minimalen Oberflächentemperaturen im Winter mit $\vartheta_{Oa} = -15^{\circ}\text{C}$ anzusetzen.

Tabelle 1: Maximale und minimale Außenoberflächentemperaturen von Porenbeton-Wandplatten in Abhängigkeit von der Farbgebung der Außenbeschichtung und der Jahreszeit

Messperiode	Zeitraum	Farbgebung der Außenbeschichtung	min. Außenoberflächentemperatur $\vartheta_{Oa,min}$ [$^{\circ}\text{C}$]	max. Außenoberflächentemperatur $\vartheta_{Oa,max}$ [$^{\circ}\text{C}$]
1	23.6.1993 bis 7.7.1993	weiß	3	35
2	20.9.1993 bis 4.10.1993	weiß	0	32
3	8.2.1995 bis 7.4.1995	dunkelblau	-10	40
4	7.7.1995 bis 28.7.1995	dunkelblau	10	65
5	25.11.1995 bis 15.2.1996	dunkelblau	-10	25
6	22.6.1996 bis 8.9.1996	dunkelblau	5	60
7	2.1.1998 bis 4.2.1998	dunkelblau	-15	30
8	7.5.1998 bis 26.6.1998	dunkelblau	0	65

Feuchtemessungen

Um Informationen über die langfristig zu erwartenden Schwindeinflüsse auf die Fugenbreitenänderung abschätzen zu können, sind zu Beginn der Messperiode 1 Feuchtebestimmungen vorgenommen worden. Die mittleren Wassergehalte über die halbe Plattendicke innenseitig lagen bei 4,9 Vol.-%, also nahe der Ausgleichsfeuchte von Porenbeton von ca. 2 Vol.-% bzw. 4 M.-%. Demnach war der wesentliche Teil der Ausgangsfeuchte zu Messbeginn bereits ausgetrocknet und ein deutlicher Schwindeinfluss auf die Fugenbreitenänderung nicht mehr zu erwarten.

Für die Messperioden 3 bis 8 wurden die Feuchteverteilungen über den Wandquerschnitt gemessen. Dabei kann für die Messperioden 3 und 4 von ausgleichsfeuchtem Porenbeton ausgegangen werden. Vor Beginn der Messperiode 5 wurde das dunkelblau beschichtete Wandsegment durch ein baufeucht eingebautes ebenfalls dunkelblau beschichtetes ersetzt. Nach einer anfänglichen Feuchteverteilung zwischen 18 und 24 Vol.-% trocknet das freibewitterte, außenseitig beschichtete Wandelement rascher nach innen und langsamer nach außen ab. Nach 2 Jahren Standzeit, also zu Beginn der Messperiode 7, kann von ausgleichsfeuchtem Porenbeton ausgegangen werden.

Wölbung

Wie zu erwarten, zeigen sich bei den dunkelblau beschichteten Elementen die größten Werte der Wölbung, Fugenbreitenänderung und der Plattenlängenänderung. Von daher werden für die weiteren Betrachtungen die Ergebnisse für die weiß beschichteten außer Acht gelassen.

Die Messungen an den dunkelblau beschichteten Elementen lassen einen eindeutigen linearen Zusammenhang zwischen den täglichen maximalen Wölbungsänderungen und den zugehörigen Änderungen der Oberflächentemperaturen außen/innen erkennen. In halber Wandhöhe ist der Wölbungsbetrag stets größer als bei der untersten oder obersten Platte. Ferner beeinflussen konstruktive Gegebenheiten (z.B. eine stärker bewehrte Sturzwandplatte über einem Fenster) die Größe der Wölbung. Für die bei den Versuchen gegebenen Einbausituationen wurden an den dunkelblau beschichteten Elementen folgende maximale tägliche Wölbungsänderungen gemessen:

Messreihe 3 u. 4: 3,2 mm bei einer Oberflächentemperaturdifferenz außen/innen von 45 K
Messreihe 5 u. 6: 4,2 mm bei einer Oberflächentemperaturdifferenz außen/innen von 45 K

Im Gegensatz zum trockenen Element (Messreihe 3 u. 4) ist beim baufeuchten Element (Messreihe 5 u. 6) ein deutlicher Unterschied in der Geradensteigung der Messwertkorrelation der maximal täglichen Wölbungsänderungen mit den zugehörigen Änderungen der Oberflächentemperaturen zwischen Winter mit noch hohem Wassergehalt und Sommer bei schon fortgeschrittener Trocknung und im Vergleich zum trockenen Element zu beobachten. In [8] wird dies darauf zurückgeführt, dass das baufeuchte Element entweder geringeren Reibungsbedingungen im Plattenverband ausgesetzt ist oder ein stärkeres ausgeprägtes thermisches Verformungsverhalten im trockenen Zustand besitzt als das der Messreihe 3 und 4.

Unter den vorgenannten Einschränkungen, insbesondere der Vernachlässigung möglicher nicht geklärter Feuchteinflüsse, können bezogen auf das geprüfte System die Wölbungsauslenkungen wie folgt ermittelt werden:

$$\Delta w = 4750 \cdot \alpha_w \cdot \Delta \vartheta_{Oa/Oi} \text{ [mm]}$$

mit:

$$\Delta w = \text{Wölbungsauslenkung [mm]}$$

$$\alpha_w = 20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} = \text{praktischer Wölbungskoeffizient}$$

$$\Delta \vartheta_{Oa/Oi} = \text{Oberflächentemperaturdifferenz innen/außen [K]}$$

$$4750 = \text{Plattenlänge [mm]}$$

Plattenlängenänderung

Die gegen ortstabile Fixpunkte gemessene Gesamtplattenlängenänderung (Addition der Komponenten an beiden Plattenenden) zeigt eine lineare Abhängigkeit von der Außenoberflächentemperatur. Die gemessenen Maximalwerte betragen für:

Messreihe 3 und 4: ca. 1 mm bei 45 K Außenoberflächentemperaturschwankung

Messreihe 5 und 6: ca. 1,3 mm bei 50 K Außenoberflächentemperaturschwankung

Messreihe 7 und 8: ca. 1,4 mm bei 50 K Außenoberflächentemperaturschwankung

Unter der Annahme, dass die thermische Längenänderung quasi zeitgleich der Oberflächentemperatur folgt, muss eine Darstellung der Längenänderungsmesswerte bei einer bestimmten Oberflächentemperatur den hygrischen Einfluss zeigen. Eine derartige Auswertung wurde für die Messwerte der Reihen 3 bis 8 für eine Oberflächentemperatur

von 10°C beispielhaft durchgeführt. Zu erkennen ist, dass ab dem festgelegten Nullwert eine Plattenlängung im Winter, eine Verkürzung im Sommer usw. erreicht wird. Dieser hygri-sche Wechselwert der Längenänderung beträgt ca. $\pm 0,5$ mm bei einer Plattenlänge von 4,75 m und entspricht – auf Grund der Beschichtung etwa 1 bis 2 Monate zeitversetzt – in der Kurvencharakteristik dem jahreszeitlichen Verlauf der relativen Luftfeuchte; d. h., dass der mittleren sommerlichen thermischen Dehnung eine hygri-sche Kontraktion infolge Desorption entgegenwirkt (und umgekehrt im Winter).

Da die Sorptions-/Desorptionseffekte in den oberflächennahen Zonen schon zu Messbeginn die hygri-sche Längenänderung dominieren, ist von einem offenbar nur wenig ausgeprägten Anfangsschwinden auszugehen. Nach Erreichen der Ausgleichsfeuchte wird der hygri-sche Verformungsanteil nur durch den Sorptions-/Desorptionsmechanismus bestimmt. Bei einem angenommenen Schwindmaß von 0,15 mm/m für Porenbeton müsste sich eine Platte von 4,75 m nach Austrocknung um ca. 0,7 mm verkürzt haben. Dagegen schwanken im vorliegenden Fall [8] die sorptiv bedingten hygri-schen Längenänderungen im vorher beschriebenen Jahreszyklus. Dieser Effekt könnte auch auf Verformungs-behinderungen oder Kriechwirkungen unter Last zurückzuführen sein.

Für den eingebauten Zustand können aus den vorliegenden Messergebnissen unter offensichtlicher Vernachlässigbarkeit des Anfangsschwindens für kurzfristige thermische Längenänderungsbetrachtungen ohne hygri-sche Effekte und für langfristige Extremwertabschätzungen mit hygri-scher Jahresschwankung folgende Berechnungsansätze (für eine 4,75 m lange Platte nachgewiesen) definiert werden:

a) Kurzzeitbetrachtung Plattenlängenänderung:

$$\Delta l_{Pl} = \alpha_{Pl} \cdot \Delta \vartheta_{Oa} \cdot l_{Pl} \text{ [mm]}$$

mit:

$$\Delta l_{Pl} = \text{Plattenlängenänderung}$$

$$\alpha_{Pl} = 1,3 \text{ mm} / (4750 \text{ mm} \cdot 50 \text{ K}) = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} = \text{prakt. Plattenlängenänderungskoeffizient}$$

$$\Delta \vartheta_{Oa} = \text{Oberflächentemperaturdifferenz außen [K]}$$

$$l_{Pl} = \text{Plattenlänge in [mm]}$$

b) Langzeitbetrachtung max. Plattenlängenänderungswechsel

$$\Delta l_{Pl,alt.,max} = \alpha_{Pl,alt.} \cdot \Delta \vartheta_{Oa,max} \cdot l_{Pl} \text{ [mm]}$$

mit:

$$\Delta l_{Pl,alt.,max} = \text{max. Plattenlängenänderungswechsel}$$

$$\alpha_{Pl,alt.} = \alpha_{Pl} - 1 \text{ mm} / (4750 \text{ mm} \cdot \Delta \vartheta_{Oa,max}) = (5,5 - 200 / \Delta \vartheta_{Oa,max}) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

= praktischer Plattenlängenwechselkoeffizient

$$\Delta \vartheta_{Oa,max} = \text{max. Oberflächentemperaturdifferenz außen [K]}$$

$$l_{Pl} = \text{Plattenlänge in [mm]}$$

Fugenbreitenänderung

Die Fugenbreitenmessungen zeigen, dass sich die Fugen über die Wandhöhe hinweg nicht gleichmäßig bewegen. Konstruktive Gegebenheiten, z. B. die Anordnung eines Fensters, führen ebenfalls dazu, dass die beiden Vertikalfugen einer Wandplatte sich nicht in der gleichen Größenordnung bewegen. Die Fugenbreitenänderung hängt linear von der Änderung der Außenoberflächentemperatur ab. Wie zu erwarten wurden die größten tageszyklischen Fugenbewegungen bei dem dunkelblau beschichteten Element in den jeweiligen Sommerperiode mit 1,0 mm für die Messreihen 3 und 4 sowie mit 1,4 mm für die Messreihen 5 und 6 ermittelt.

Unter idealen Bedingungen, d. h. ohne Verformungsbehinderungen, sind die Fugenbreitenänderungen den Gesamtplattenlängenänderungen gleichzusetzen. Unter praktischen Einbaubedingungen kann die Fugenbeweglichkeit der Platte von diesem Idealfall bis zur völligen Verformungsbehinderung variieren. Dies soll durch einen Faktor f mit einem Wertebereich zwischen 1 und 2 beschrieben werden. Für eine Extremwertbetrachtung sollte dieser Faktor eher 2 gesetzt werden.

Schlussfolgernd daraus können folgende Ansätze für die Fugenbreiteänderung gemacht werden:

a) Kurzzeitbetrachtung Fugenbreitenänderung:

$$\Delta l_F = \alpha_F \cdot \Delta \vartheta_{Oa} \cdot l_{Pl} \text{ [mm]}$$

mit:

Δl_F = Fugenbreitenänderung

$$\alpha_F = f \cdot \alpha_{Pl} = f \cdot 1,3 \text{ mm} / (4750 \text{ mm} \cdot 50 \text{ K}) = f \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

= praktischer Fugenbreitenänderungskoeffizient

$\Delta \mathcal{G}_{Oa}$ = Oberflächentemperaturdifferenz außen [K]

l_{Pl} = Plattenlänge in [mm]

b) Langzeitbetrachtung max. Fugenbreitenwechsel

$$\Delta l_{F,alt,max} = \alpha_{F,alt} \cdot \Delta \mathcal{G}_{Oa,max} \cdot l_{Pl} \text{ [mm]}$$

mit:

$\Delta l_{F,alt,max}$ = max. Fugenbreitenwechsel

$$\alpha_{F,alt} = f \cdot \alpha_{Pl,alt} = f \cdot (5,5 - 200 / \Delta \mathcal{G}_{Oa,max}) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

= praktischer Fugenbreitenwechselkoeffizient

$\Delta \mathcal{G}_{Oa,max}$ = max. Oberflächentemperaturdifferenz außen [K]

l_{Pl} = Plattenlänge in [mm]

Auch hier müssen zur Ermittlung der notwendigen Fugenbreite die ermittelten Formänderungsgrößen noch in Bezug zum Langzeitdehn- bzw. Langzeitstauchvermögen des Fugendichtstoffes gesetzt werden. Dies kann analog zum Berechnungsansatz nach Bericht 6 erfolgen.

Vergleich der Bemessungsansätze

Die im Fraunhofer-Institut für Bauphysik ermittelten Berechnungsansätze gelten streng genommen nur für eine Plattenlänge von 4,75 m und unter den konstruktiven Einbaubedingungen der Lagerhalle in Holzkirchen.

Für den weiteren Vergleich der Berechnungsansätze wird zunächst eine Grenzwertabschätzung der maßgebenden Bemessungsgleichungen nach dem Ansatz des Fraunhofer-Institutes vorgenommen.

max. Plattenlänge $l_{Pl} = 8,00 \text{ m}$

max. Oberflächentemperaturdifferenz außen $\Delta \vartheta_{Oa,max} = 65 \text{ K}$

max. Plattenlängenänderung $\Delta l_{Pl} = 3 \text{ mm}$ (Annahme)

$$\alpha_{Pl} = 3 \text{ mm} / (8000 \text{ mm} \cdot 65 \text{ K}) = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Daraus schlussfolgernd kann α_{Pl} generell mit $\cong 5,5 \cdot 10^{-6}$ angesetzt werden.

Für eine 4,75 m lange Platte ergibt sich der praktische Plattenlängenänderungskoeffizient zu:

$$\alpha_{Pl,alt.} = \alpha_{Pl} - 1 \text{ mm} / (4750 \text{ mm} \cdot \Delta \vartheta_{Oa,max}) \cong (5,5 - 200 / \Delta \vartheta_{Oa,max}) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Für eine 6,0 m lange Platte könnte dieser wie folgt abgeschätzt werden:

$$\alpha_{Pl,alt.} = \alpha_{Pl} - 1 \text{ mm} / (6000 \text{ mm} \cdot \Delta \vartheta_{Oa,max}) \cong (5,5 - 170 / \Delta \vartheta_{Oa,max}) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Für eine 7,50 m lange Platte könnte dieser wie folgt abgeschätzt werden:

$$\alpha_{Pl,alt.} = \alpha_{Pl} - 1 \text{ mm} / (7500 \text{ mm} \cdot \Delta \vartheta_{Oa,max}) \cong (5,5 - 140 / \Delta \vartheta_{Oa,max}) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Für den Faktor f wird der theoretische Extremfall gewählt, d. h., dass die zwei außenseitigen Enden zweier nebeneinander liegender Platten durch äußere Zwänge bewegungslos blieben und somit die gesamte hygrothermische Verformung von je zwei Platten auf die Vertikalfuge trifft. Für diesen Fall ist $f = 2$ zu wählen.

In der Tabelle 2 werden Ergebnisse in einer vergleichenden Betrachtung nach den Berechnungsansätzen Flassenberg/Bericht 6 und Fraunhofer-Institut Holzkirchen gegeben.

Tabelle 2: Vergleichende Berechnungsbeispiele nach den Berechnungsansätzen Flassenberg/Bericht 6 (B 6) und Fraunhofer-Institut Holzkirchen (IBP)

Be- rech- nungs- me- thode	Jahres- zeit	d [cm]	l bzw. l _{PI} [m]	Δl_{lin} [mm/m]	t _a [°C]	t _i [°C]	t _{ba} [°C]	t _{bi} [°C]	Δt [K]	$\Delta \vartheta_{\text{Oa,max}}$ [K]	α_{Pl} [K ⁻¹]	$\alpha_{\text{Pl,alt}}$ [K ⁻¹]	f [-]	F _D [%]	erf. Fu- genbr- eite [mm]
B 6	Sommer	20	6	0,26	65	12	15	20	55	-	-	-	-	20	11,9
IBP	Sommer	20	6	-	-	-	-	-	-	65	5,5x10 ⁻⁶	2,9x10 ⁻⁶	2	20	11,3
B 6	Sommer	20	7,5	0,26	65	12	15	20	55	-	-	-	-	20	14,9
IBP	Sommer	20	7,5	-	-	-	-	-	-	65	5,5x10 ⁻⁶	3,3x10 ⁻⁶	2	20	14,6
B 6	Winter	17,5	6	-0,06	-15	20	10	8	36	-	-	-	-	20	12,7
IBP	Winter	17,5	6	-	-	-	-	-	-	50	5,5x10 ⁻⁶	2,1x10 ⁻⁶	2	20	6,8
B 6	Winter	25	7,5	-0,06	-15	20	25	35	35	-	-	-	-	20	14,4
IBP	Winter	25	7,5	-	-	-	-	-	-	50	5,5x10 ⁻⁶	2,7x10 ⁻⁶	2	20	10,1

Die Berechnungen nach Bericht 6 zeigen, dass die Vertikalfugenbreite von max. 15 mm bei liegend angeordneten Wandplatten bei Annahme des Faktors für den Dichtstoff von 20% bis zu einer Länge von 7,50 m ausreicht. Lediglich bei dunkel beschichteten Wandplatten, die aber selten zur Anwendung kommen bzw. nach Möglichkeit zu vermeiden sind, sollte entweder die Fuge breiter dimensioniert oder eine anderer Fugendichtstoff mit größerem Langzeitdehn-/stauchvermögen verwendet werden.

Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen nach den Berechnungsansätzen des Fraunhofer-Instituts, so ist zu erkennen, dass die für den Lastfall Sommer nahezu identische Ergebnisse liefern, die für den Lastfall Winter jedoch geringer sind.

Zusammenfassung

Die vorgestellten Untersuchungen bestätigen grundsätzlich das seit Jahren auch in der Praxis bewährte System mit Fugendichtstoffen auf Acrylat-Dispensionsbasis für Vertikalfugen zwischen liegend angeordneten Wandplatten aus Porenbeton. Die Berechnungen zeigen weiter, dass bei einer in der Praxis maximal üblichen Wandlänge von 7,50 m eine Fugenbreite von 15 mm ausreicht. Lediglich bei dunkel beschichteten Wandplatten, die aber selten zur Anwendung kommen bzw. nach Möglichkeit zu vermeiden sind, ist die Fuge breiter zu wählen.

Für die Extremwertbetrachtung führen beide vorgestellten Berechnungsmethoden zu den gleichen Erkenntnissen, so dass die Berechnungsformel nach Bericht 6 aufgrund der Einfachheit dieses Ansatzes beibehalten werden kann. Damit dürften die Architekten und Planer dann in der Lage sein, die Fugenauslegung mit den auf dem Markt befindlichen Dichtstoffen abzustimmen.

Literatur:

- [1] Bundesverband Porenbeton (Hrsg.): Bewehrte Wandplatten – Fugenausbildung (Bericht 6), Wiesbaden 1997
- [2] Flassenberg, Georg: Dimensionierung der Vertikalfugen zwischen liegenden Wandplatten aus Porenbeton; Betonwerk + Fertigteil-Technik Heft 12/1990, Seite 39 bis 44
- [3] Bundesverband Porenbeton (Hrsg.): Fugendichtstoffe auf Dispersionsbasis für Porenbetonbauteile (Bericht 12), Wiesbaden 1991
- [4] Schäper, Michael; Urban, Frowin: Fugendichtstoffe auf Basis von Acrylat-Dispersionen für Porenbeton-Wandplatten; Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben der FH Wiesbaden, Fachbereich Bauingenieurwesen, vom 26.02.1997
- [5] Gertis, Karl: Thermische Eigenspannungen und Verformungen von Porenbeton-Außenbauteilen; Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen 1974
- [6] Riedl, G., Kießl, K.: Untersuchungen über Formänderungen eingebauter Porenbeton-Wandplatten. IBP-Bericht FtB 25/1994
- [7] Riedl, G., Kießl, K.: Untersuchungen über Formänderungen eingebauter, dunkel beschichteter Porenbeton-Wandplatten. IBP-Bericht FtB 6/1996
- [8] Riedl, G., Kießl, K.: Untersuchungen über Formänderungen und Trocknungsverhalten baufeucht eingebauter, dunkel beschichteter Porenbeton-Wandplatten. IBP-Bericht FEB 3/1999

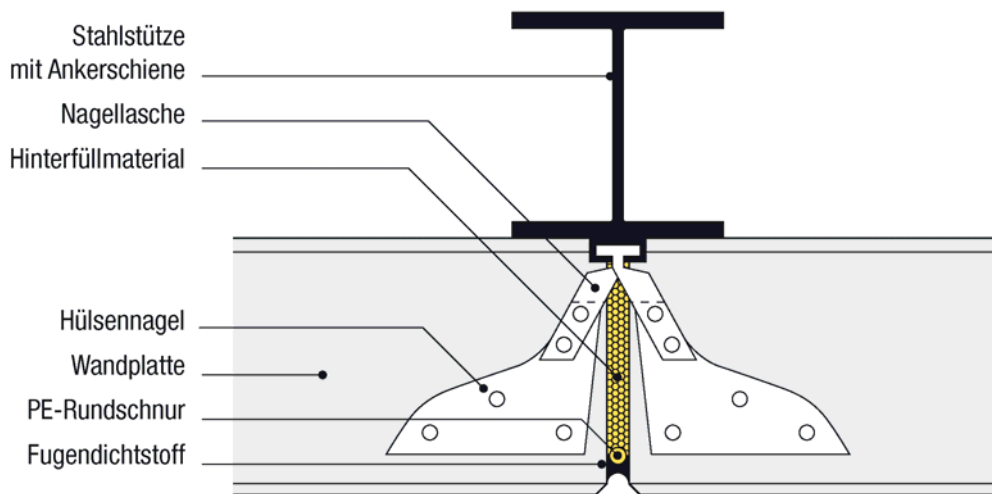


Bild 1: Mittelverankerung und Fugenausbildung von liegend angeordneten Porenbeton-Wandplatten an Stahlstützen

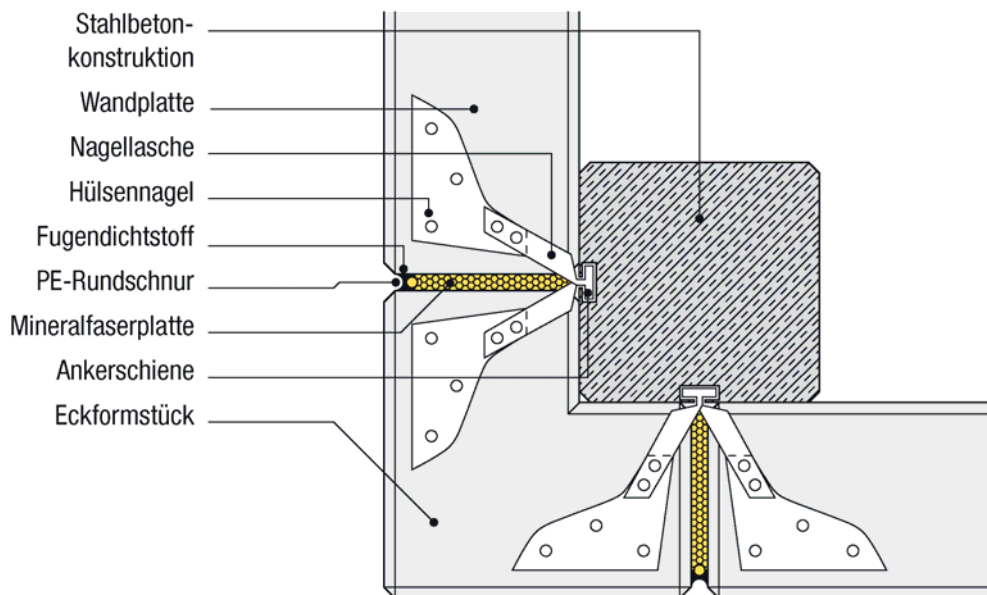


Bild 2: Eckverankerung und Fugenausbildung von liegend angeordneten Porenbeton-Wandplatten an Stahlbetonstützen