



Argumente für ein (noch nicht geführtes) Streitgespräch zum Thema:

DIBt – Zulassung von Dämmstoffen unter lastabtragender Gründung

(Mit präzisierendem Einschub Mai 2012 am Schluss der Abhandlung)

Vorbemerkung / Anlass:

Dämmstoffe unter Gründungsplatten benötigen in der BRD eine <Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung>, welche durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) material – und markenspezifisch, d.h. mit individuellen Anforderungen für eine befristete Zeitdauer erteilt wird. Im Zentrum der folgenden Betrachtungen stehen dazu die beiden Wettbewerbsprodukte <extrudierter Polystyrol XPS der Marke FLOORMATE XXX – A> sowie <Schäumglas der Marke FOAMGLAS Typ YYY>. Ausgangspunkt bildet dabei die erneuerte Zulassung Z-23.34-1324 vom 11. August 2011 für XPS / FLOORMATE. Diese basiert angeblich erstmals auf so genannten „Feldversuchen“ an Stelle der bisherigen, reinen Labor – Druckprüfungen nach DIN EN 826. Für die bevorstehende Erneuerung der entsprechenden „FOAMGLAS – Zulassung“ ist ebenfalls eine Testreihe im „Grossversuch“ vorgesehen.

Was im Zusammenhang mit dieser neuen Zulassung für XPS / FLOORMATE zum Streitgespräch Anlass gibt, ist in den folgenden 6 Punkten aufgeführt:

Punkt 1) Es wird zwar in Ziffer 3.2.1 / Tabelle 5 neu unterschieden zwischen einlagiger und mehrlagiger Verlegung (max. 3 Lagen bis max. 300 mm Gesamtstärke, einzelne Plattendicke ≤ 120 mm). Die Herleitung des zulässigen Bemessungswertes f_{cd} (für Floormate 700-A beispielsweise 355 kPa, resp. 310 kPa wenn mehrlagig), wird aber dennoch, bzw. weiterhin von der Nenndruckfestigkeit nach DIN EN 826 – das heisst, aus der „kleinformatigen Kurzzeitprüfung“ bei 10% Stauchung(!) – und nicht aus „Grossmodell – Versuchsergebnissen“ abgeleitet? Ist demnach zu vermuten, dass der Grossversuch zu keinen neuen Erkenntnissen geführt hat?

Wo bleibt der Hinweis auf die Basisdaten aus dem angesprochenen Modellversuch?

Punkt 2) Die Abminderung auf den zulässigen <Bemessungswert der Druckspannung> (als Widerstandswert des Dämmstoffs zu verstehen) erfolgt in der Zulassung mittels Division der obgenannten Nenndruckfestigkeit durch das Produkt ($\gamma_M \cdot \alpha$). Weder der Teilsicherheitsbeiwert (γ_M), noch der <produktionsspezifische Anpassungsfaktor (α)> sind in der Zulassung näher quantifiziert. Für XPS 700 beispielsweise, lässt sich aus (700/355) daher lediglich der Divisor als Ganzes, nämlich (700/355) = 1.972 (einlagig), resp. (700/310) = 2.258 (mehrlagig) ableiten. Da andernorts laut Fachliteratur für γ_M ein Wert von 1.3 anzunehmen ist, verbleibt für den <produktionsspezifischen Anpassungsfaktor (α)> somit noch der Wert 1.517, resp. 1.737. In diesem „Reduktionsprodukt“ ($\gamma_M \cdot \alpha$) sollte damit neben den üblichen Unwägbarkeiten zwischen Nennwert (oder, alternativ: „Charakteristischem Wert“ der xxx - Fraktile) und „Bemessungswert“ – erfasst durch (γ_M) – wohl auch das extreme Kriechverhalten von XPS in Funktion der Zeit durch die Grösse (α) berücksichtigt sein. In der Zulassung Ziffer 3.1, dritter Abschnitt, wird jedenfalls ausgesagt, dass bei Einhaltung der vorgegebenen Spannungs - begrenzungen (f_{cd}) die Stauchungen (unter Langzeiteinwirkung, ohne Zeitangabe!?) **das –Mass 3% nicht überschreiten würden.**

Die Abminderung eines Kurzzeit – Bruchwertes (bei 10% Stauchung) aus dem „Kleinversuch nach DIN EN 826“ auf einen Langzeit – Bemessungswert (des Widerstandes) für eine Stauchung $\leq 3\%$ am (Feld -) Objekt ist in der getroffenen Weise jedoch weder kohärent noch nachvollziehbar. Dazu Weiteres unter Punkt 3!

Punkt 3) Unter Ziffer **3.1 Entwurf** wird zwar deutlich gesagt, dass der Nachweis der Standsicherheit der Gründung nicht Gegenstand der fraglichen Zulassung sei. Dennoch werden unmittelbar anschliessend in Ziffer 3.2.1 mit Verweis auf Tabelle 5 entsprechende „Materialgrenzwerte“ für den Nachweis der Standsicherheit festgelegt. Führt man mit diesen Grenzwerten (Bemessungswerte der Druckspannung) nun aber eine Kontrollrechnung bezüglich der Langzeitverformung für die in der Normenklassifikation definierten Qualitäten durch:

XPS 700: CC(2/1.5/50) 250, bzw.

XPS 500: CC(2/1.5/50) 180,

so ergeben sich deutlich ungünstigere Ergebnisse als in der Zulassung (Ziffer 3.1) suggeriert, bzw. in obiger Produktbezeichnung ($\leq 2\%$ nach 50 Jahren) in Aussicht gestellt!

Beleg für die Behauptung:

Die anerkannte Stauchungsberechnung von Polystyrol unter Langzeitwirkung erfolgt laut Literatur nach dem (plausiblen) Ansatz:

$$\varepsilon_{50} = [(\gamma_F \cdot \sigma) / E] + \gamma_M \cdot m \cdot t^b \quad \textcircled{1}$$

wenn ε_{50} = Stauchungsmass nach 50 Jahren

γ_F = Teilsicherheitsbeiwert „Last“ = 1.4

σ = (herrschende) Druckspannung unter (realer) Gebrauchslast

E = Elastizitätsmodul XPS unter Kurzzeitbelastung; für XPS 700 \rightarrow 40000 kPa
für XPS 500 \rightarrow 30000 kPa

γ_M = Teilsicherheitsbeiwert „Modell“ = 1.3

m = <Findley – Parameter>; für XPS 700: $m = 6.600 \cdot 10^{-7} \cdot (\gamma_F \cdot \sigma) + 8.7300 \cdot 10^{-12} \cdot (\gamma_F \cdot \sigma)^3$ $\textcircled{2}$
für XPS 500: $m = 2.795 \cdot 10^{-6} \cdot (\gamma_F \cdot \sigma) + 1.6177 \cdot 10^{-12} \cdot (\gamma_F \cdot \sigma)^3$ $\textcircled{3}$

t = Einwirkungszeit (h) = 24 · 365 · 50 = 438000

b = <Findley – Parameter>; für XPS 700: $b = 0.3619 - 1.9000 \cdot 10^{-4} \cdot (\gamma_F \cdot \sigma)$ $\textcircled{4}$
für XPS 500: $b = 0.2336 + 2.1558 \cdot 10^{-5} \cdot (\gamma_F \cdot \sigma)$ $\textcircled{5}$

Werden die laut Zulassung erlaubten <Bemessungswerte der Druckspannung> für einlagige Verlegung als Belastung ($\gamma_F \cdot \sigma$) in Formel $\textcircled{1}$ eingesetzt, d.h. für XPS 700 $\rightarrow (\gamma_F \cdot \sigma) = f_{cd} = 355$ kPa
bzw. für XPS 500 $\rightarrow (\gamma_F \cdot \sigma) = f_{cd} = 255$ kPa
so resultieren Endverformungen ε_{50} , welche deutlich über den Erwartungen ($\varepsilon_{50} \leq 0.020$) liegen:

XPS 700 $\rightarrow \varepsilon_{50} \sim 0.046$ (\gg zul. = 0.020!)

XPS 500 $\rightarrow \varepsilon_{50} \sim 0.030$ ($>$ zul. = 0.020!)

$\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$, $\textcircled{3}$, $\textcircled{4}$ und $\textcircled{5}$ aus: *Deutsches Ingenieurblatt DiB Spezial 12 /06 *****

******SIEHE DAZU DIE NACHTRÄGLICHE PRÄZISIERUNG (MAI 2012) AM ENDE DES BEITRAGS IN BLAUER KURSIVSCHRIFT !**

Um die erlaubten $\varepsilon_{50} = 0.020$ einzuhalten, muss eine angenommene Gebrauchslast - Spannung (σ), bzw. ein Bemessungswert der Belastung ($\gamma_F \cdot \sigma$) in den Formeln ①, ② und ④ (für XPS 700) solange variiert werden, bis daraus nach Formel ① tatsächlich der Wert $\varepsilon_{50} = 0.020$ resultiert. Die entsprechende Vorgabe ($\gamma_F \cdot \sigma$) ist damit zugleich als <Bemessungswert der Druckspannung> (anzunehmender maximaler Druckwiderstand des Dämmstoffs) zu interpretieren.

XPS 700 $\rightarrow 1.4 \cdot (\sigma \sim \mathbf{135 \text{ kPa}}) = f_{cd} \sim 190 \text{ kPa} (\ll 355 \text{ kPa laut Zulassung!})$

XPS 500 $\rightarrow 1.4 \cdot (\sigma \sim \mathbf{130 \text{ kPa}}) = f_{cd} \sim 180 \text{ kPa} (\ll 255 \text{ kPa laut Zulassung!})$

Die zulässigen Werte (σ) sind also wesentlich kleiner als in der Produktklassifikation (250 kPa, 180 kPa) angegeben! Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass sich das anfänglich unterschiedliche Verformungsverhalten der ungleichen Materialdichten resp. E – Moduli von XPS 700 und XPS 500 gegen eine „unendliche“ Belastungszeitspanne hin „kriech - bedingt“ sehr stark angleicht.

Fazit: Entweder ist der wissenschaftlich dokumentierte „Findley – Ansatz“ grundlegend falsch, oder die Bemessungsgrundlagen / Erwartungen laut Zulassung sind unbrauchbar!

Punkt 4) Generell mag zwar eine Verformungsbegrenzung von maximal 3% der eingebauten Dämmdicke aus energetischen Gründen – zur langfristigen Einhaltung des kalkulierten U-Wertes – durchaus seine Berechtigung haben. Die damit verbundene statische Wirkung ist jedoch gravierend. Bei einer Setzungsberechnung nach DIN 1054 (für das Gebäude) ist zwar nach Zulassung Ziffer 3.2 die Wirkung der Dämmschicht (logischerweise) einzurechnen und – bei Dämmstärken $> 120 \text{ mm}$ – sogar nach den zwei Grenzfällen „mit und ohne Dämmung“ zu untersuchen. Diese Setzungsberechnung für das Gebäude kann nur durch entsprechende Anpassung des Bettungsmoduls (aus Erdreich + Dämmschicht) erfolgen und wird in der Regel keinen grossen Einfluss auf die Gebäudesetzung als Ganzes haben. Auch ein gleichmässiges Setzen des Gebäudes um beispielsweise erlaubte 3% Dämmstoffstauchung dürfte meistens bedeutungslos sein. Hingegen hat eine **aus lokaler Stützenlast** über die Gründungsplatte eingeleitete Pressung mit zugelassener, **lokaler 3% - iger End -Verformung** (der bis 300 mm starken Dämmung) extreme Verschiebungen der Biegemomente sowie Zwangs - Spannungen in Bodenplatte und aufgehendem Tragwerk zur Folge.

Durch Zulassung von (energetisch motivierten) 3% - igen Stauchungen im Dämmstoff – welche immer nur lokal unter grossen Linien – oder Stützenlasten auftreten – werden zusätzliche Materialspannungen im Tragwerk in Kauf genommen, welche mit den Anforderungen an die Bemessung laut Ziffer 3.2 der „XPS - Zulassung“ in keiner Weise erfasst oder abgedeckt werden!

Punkt 5) Zum Abschluss ein kritischer Blick auch auf die (noch) aktuelle Zulassung für FOAMGLAS: Obwohl sich das Spannungs – Stauchungsverhalten grundlegend von jenem bei XPS unterscheidet (baupraktisch kein Kriechen), werden hier „ab Nennwert“ tendenziell grössere „Reduktionsprodukte“ ($\gamma_M \cdot \alpha$) als für kriechfähiges XPS – Material verwendet:

FG F: aus (Nennwert = 1200 kPa) / (mit Bemessungswert = 530 kPa) folgt: ($\gamma_M \cdot \alpha$) = 2.26

FG S3: aus (Nennwert = 800 kPa) / (mit Bemessungswert = 350 kPa) folgt: ($\gamma_M \cdot \alpha$) = 2.28

FG T4: aus (Nennwert = 700 kPa) / (mit Bemessungswert = 310 kPa) folgt: ($\gamma_M \cdot \alpha$) = 2.26

FG T4+: aus (Nennwert = 540 kPa) / (mit Bemessungswert = 270 kPa) folgt: ($\gamma_M \cdot \alpha$) = 2.00

Während für alle Qualitäten normativ auch hier ein $\gamma_M = 1.3$ zu veranschlagen ist, steht eine bei kriechfähigem XPS verständliche Reduktion (α) für baupraktisch stauchungsfreies FOAMGLAS ohne plausible Begründung da. Vielmehr darf, da bei FOAMGLAS nicht die Bemessung auf Grenzverformung ($\epsilon_{50} \leq 0.020$) die kritische Grösse darstellt, die Festlegung des (zulässigen) <Bemessungswertes der Druckspannung (f_{cd})> im Prinzip direkt aus der Beziehung erfolgen:

$$f_{cd} = f_c^{***} / (\gamma_M = 1.3)$$

*** Der Nennwert der Druckspannung (f_c) als „normativer Bruchwert“ ist bei FOAMGLAS in dessen aktueller Zulassung überdies generell wesentlich tiefer angesetzt als – beispielsweise – die Druckspannung der 5% - Fraktile auf 75% - Vertrauensniveau, zu deren Bestimmung in der (XPS -) Zulassung in Anlage 1 die benötigten Quantilfaktoren (K_s) geliefert werden.

Laut DIN EN 1055 – 100, Ziffer 6.4 <Charakteristische Werte für Baustoffeigenschaften> ist in der Regel für die Festlegung von Bemessungsregeln tatsächlich vom genannten 5% - Quantil (als anzunehmender „Bruchfestigkeit“) auszugehen und nur dort, wo solche Werte (noch) fehlen, ersatzweise ein „auf der sicheren Seite liegender Nennwert“ zu definieren. Nach umfassenden Materialprüfungen an FOAMGLAS – Qualitäten (je 590 Prüfkörper nach DIN EN 826) sind folgende 5% - Quantilwerte ausgewiesen:

Für Vertrauensniveau 95% $\rightarrow K_s \sim 1.765$; Für Vertrauensniveau 75% $\rightarrow K_s \sim 1.694$

	Vertrauensniveau 95%	Vertrauensniveau 75%
FG F:	$x_{\text{quer}} = 1812 \text{ kPa}; \sigma_{(n-1)} = 105.7 \text{ kPa} \rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{1627 \text{ kPa}}$	$\rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{1633 \text{ kPa}}$
FG S3:	$x_{\text{quer}} = 1175 \text{ kPa}; \sigma_{(n-1)} = 98.3 \text{ kPa} \rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{1003 \text{ kPa}}$	$\rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{1008 \text{ kPa}}$
FG T4:	$x_{\text{quer}} = 949 \text{ kPa}; \sigma_{(n-1)} = 99.9 \text{ kPa} \rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{774 \text{ kPa}}$	$\rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{780 \text{ kPa}}$
FG T4+:	$x_{\text{quer}} = 797 \text{ kPa}; \sigma_{(n-1)} = 75.0 \text{ kPa} \rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{666 \text{ kPa}}$	$\rightarrow 5\% \text{ Q.} \sim \mathbf{670 \text{ kPa}}$

Beachte: Bei sehr grossen Prüferien (hier 590 Stück) folgt trotz unterschiedlicher Höhe des Vertrauensniveaus (95%, 75%) kaum mehr ein Unterschied im Ergebnis.

Reduziert man diese „Charakteristischen Kennwerte der Druckfestigkeit“ um den Teilsicherheitsbeiwert „Modell“ ($\gamma_M \sim 1.3$), so müssten für die „Zulassung“ die folgenden <Bemessungswerte der Druckspannung (f_{cd})> gelten:

Typ F:	$1633 \text{ kPa} / 1.3 = 1256 \text{ kPa} (>> \text{aktuell} = 530 \text{ kPa})$
Typ S3:	$1008 \text{ kPa} / 1.3 = 775 \text{ kPa} (>> \text{aktuell} = 350 \text{ kPa})$
Typ T4:	$780 \text{ kPa} / 1.3 = 600 \text{ kPa} (>> \text{aktuell} = 310 \text{ kPa})$
Typ T4+:	$670 \text{ kPa} / 1.3 = 515 \text{ kPa} (>> \text{aktuell} = 270 \text{ kPa})$

Oder, bei umgekehrter Betrachtung: Fragt man nach dem zutreffenden Quantil für die aktuell geltenden Nennwerte, so bilden die Differenzen ($x_{\text{quer}} - \text{Nennwert}$) die „benötigten“ Produkte ($K_s \cdot \text{empirischer Standardabweichung}$), daraus demzufolge die gesuchten Werte K_s , welche bei 590 Prüfwerten – selbst auf einem Vertrauensniveau von 99.9 % ! – hier deutlich **unter dem 0.1% - Quantil** (einzige Ausnahme: FG T4) liegen. Die aktuellen Nennwerte laut Vorgabe DIBt liegen damit sehr weit unterhalb der normativen, Charakteristischen Werte nach DIN EN 1055-100.

Punkt 6) FAZIT ÜBER ALLES:

In Anbetracht der harten Konkurrenzsituation zwischen XPS (resp. Polystyrol allgemein) und FOAMGLAS als „lastabtragende Dämmung“ sind einerseits – basierend auf der aktuellen Zulassung DIBt – zu optimistische resp. realitätsfremde Ansätze und Aussagen bei entsprechenden XPS – Anwendungen, ebenso aber auch unbegründet pessimistische und nicht nachvollziehbare Modellrechnungen für den < Bemessungswert der Druckspannung > bei analogen Schaumglas - Applikationen zu verzeichnen.

SIEHE AUCH PRÄZISIERENDEN EINSCHUB (MAI 2012) AUF DER FOLGESEITE!

Kloten / Zürich, 31. Oktober 2011

H. Bangerter Dipl. Ing. SIA

Weder + Bangerter AG, Bauingenieure und Bauphysiker
Sekretariat Interessengemeinschaft Oeko-Priority®
für vernünftige Dämmdicken am Gebäude

EINSCHUB (MAI 2012): Berechnet man mit den in <Deutsches Ingenieurblatt DiB Spezial 12/06> genannten Findley – Formeln für <m> und die Endverformungen mit variierten Dauerdruckspannungen, so stellt man mit Verwunderung fest, dass das „härtere“ XPS 700 stets grössere Endwerte als die Qualität XPS 500 aufweist. Das kann nicht stimmen!

Die Suche nach dem Widerspruch hat nun gezeigt, dass der fragliche Artikel in <Deutsches Ingenieurblatt DiB Spezial 12/06> im Literaturverzeichnis u. a. auf eine Publikation von N. Knollmann in <Bauphysik 17 (1995) verweist, wobei die dortige, tiefschürfende Abhandlung zum <Langzeitverhalten von extrudierten Polystyrol – Hartschaumplatten> als verkürzte Fassung fast wortgetreu ins genannte <DiB Spezial> übernommen wurde.

Dabei ist nun offensichtlich der Fehler unterlaufen, dass zwar die Findley – Parameter <m> und für XPS 500 „zahlengetreu“ übertragen wurden – nicht aber jene für XPS 700!

In der (glaubwürdigen) Abhandlung von N. Knollmann stehen als Findley – Parameter für XPS 700: $\rightarrow m = 3.9296 \cdot 10^{-7} \cdot \sigma + 6.0919 \cdot 10^{-12} \cdot \sigma^3$ und $\rightarrow b = 0.25968 - 3.3955 \cdot 10^{-5} \cdot \sigma$ (vergleiche mit anderer Vorgabe!).

Während somit alle vorstehend zu XPS 500 gemachten Anmerkungen unverändert gelten, resultiert aus dem neuen (richtigen) Ansatz für die Findley – Parameter eine rechnerische Endverformung für XPS 700 unter zugelassener Bemessungsspannung (355 kPa) nach 50 Jahren von ca. 2.0%, wenn dabei mit $E_{XPS700} = 54$ MP gerechnet, bzw. von ca. 2.2%, wenn $E_{XPS700} = 40$ MPa veranschlagt wird.

Die in Abschnitt 3.1 der „Zulassung DIBt“ gemachte Aussage, wonach bei Einhaltung der aufgeführten Spannungsbegrenzungen die Endverformungen ein Mass von 3% nicht überschreiten dürften, ist somit nicht mehr „unzutreffend“ (wie vorstehend moniert) – dennoch als Planungsinformation nicht sehr hilfreich!

GRUNDSÄTZLICH besteht ein Problem darin, dass die DIBt – Zulassungen eine erlaubte Dauerdruckspannung unter Bemessungslast vorschreiben, nach welcher ein Prozentsatz an Stauchung (mutmasslich $\leq 3\%$) – und kein Absolutmass – eingehalten wird. Durch eine andere Beschreibung des Verformungsverhaltens in Produktunterlagen ($\leq 2\%$ unter Gebrauchslast nach 50 Jahren) wird die Verständlichkeit dieser Planungsanweisung weiter erschwert.

Aus baustatischer Sicht wäre es wünschenswert, wenn die maximal zulässige Dauerdruck - Spannung je nach Dämmstofftyp – ausgehend von einem individuell (oder normativ) begrenzten, in der Gebäudestatik berücksichtigten Verformungsmass in Millimetern – jeweils individuell bestimmt werden könnte. Die verfügbaren XPS - Qualitäten führten so zu besser angepassten u. U. auch wirtschaftlicheren Lösungen für die Gründungsplatte.

Basierend auf den vorgenannten (und berichtigten) Findley - Parametern <m> und findet sich ab anfangs Juni 2012 unter:

→ Freie Bemessung von XPS – Daemmplatten unter Dauerlast.zip
ein xls – Berechnungstool, welches für XPS 700 und XPS 500 jene zulässige Dauerdruck - Spannung ermittelt, wenn hiefür die individuell (oder normativ) zulässige Endverformung in Millimetern vorgegeben wird. Dabei kann u. a. unterschieden werden, ob nebst dem obligatorisch eingeschlossenen Teilsicherheitsbeiwert ($\gamma_F = 1.4$), für den Teilsicherheits - Beiwert γ_M (bezüglich des „Kriechanteils“) wie üblich mit Faktor 1.3, oder aber mit Faktor 1.0 (vernachlässigt) gerechnet werden soll.