

Dämmstoff und Statik

< Für ein Gebäude, das über viele Generationen hinweg funktionieren muss, ist FOAMGLAS die logische Wahl. >

Roger Stretton
Dip Arch (Oxford), RIBA

Vorwort

Lastabtragende Wärmedämmung unter Gründungsplatten

Wärmedämmstoffe werden in verschiedenen Anwendungsgebieten – erdberührt und ausserhalb der Bauwerksabdichtung – verwendet, die höchsten Beanspruchungskriterien genügen müssen. Speziell die auftretenden Druckbelastungen und die Feuchtigkeitskriterien – hervorgerufen durch die Bodenbeschaffenheit bzw. Grundwassereinbindung – fordern besondere Leistungsmerkmale.

Werden Dämmstoffe gar unterhalb von statisch lastabtragenden Gründungsplatten eingesetzt, sind Fragen der Standsicherheit zu beantworten. Die Einbindung in den natürlichen Boden bzw. Grundwasserkreislauf fordert zusätzlich die ökologische Unbedenklichkeit der eingesetzten Bauprodukte.

Betrachtet man die Historie der lastabtragenden Wärmedämmprodukte unter Gründungsplatten, konnten sich Schaumglasprodukte als erste qualifizieren. Deshalb liegen über viele Jahr baupraktische Erfahrungen vor.

Ausgehend zunächst von Langzeituntersuchungen, die das Kriechverhalten von Dämmstoffen unter Dauerlast hinterfragen, wurde Schaumglas in den 80-er Jahren durch erste Zulassungen in diesem Anwendungsgebiet eingeführt. Auch wurden umfangreiche Untersuchungen hinsichtlich der Feuchteresistenz erfolgreich abgeschlossen, so dass der Einsatz in den nicht mehr zugänglichen Bereichen im Boden auch vor diesem Hintergrund gesichert ist.

Wichtig für die grundsätzliche Bewertung war das baupraktisch stauchungsfreie Verhalten unter ständiger Last. Dies macht Sinn, denn Materialermüdung oder Deformation von Dämmstoffen unter Dauerlast führen zur Beanspruchung der Ge-

bäudestatik bzw. tragenden Konstruktion; auch Setzungsdifferenzen bzw. unterschiedliches Stauchungsverhalten je nach Ort und Grad der lokalen Lasteinleitung sind für die Gebäudestatik unerwünscht und verkomplizieren den Nachweis.

Die Dämmung von erdberührten Bauteilen war vor Einführung verschärfter Wärmeschutzanforderungen nicht üblich bzw. nicht weit verbreitet. Der Grund dafür lag darin, dass sich die Nutzung ins Erdreich eingebundener Gebäudeteile hauptsächlich auf «Lager- und Stauraum oder Vorratshaltung» beschränkte. Dort wo wärmeschutztechnische Massnahmen gefordert wurden, waren diese mit sehr dünnen Dämmstoffdicken zu beherrschen.



Die Tatsache, dass dünne Dämmdicken die Bettungsverhältnisse der überlagerten Tragkonstruktion nur wenig beeinträchtigen, förderte den Eindruck, als ob es auf Deformierbarkeit, Stauchung und Setzungsdifferenzen in Folge der Nachgiebigkeit von Materialien nicht ankäme.

Heutzutage geltende, nochmals verschärfte Wärmeschutzbestimmungen – einhergehend mit der wachsenden ökologischen Kompetenz und Verantwortung im Bauwesen – machen eine wärmeschutztechnisch und konstruktiv entsprechend ausgelegte Dämmung unter Gründungsplatten in Dicken von – je nach Bodenbeschaffenheit und statischer Anforderung – 12 bis 18 cm und mehr unumgänglich.



Die Verwendung entsprechend dickerer Dämmschichten beeinflusst die bettungstechnischen Verhältnisse der überlagerten Bauteile nun in entscheidendem Masse. Folglich ist die Verwendung von Dämmstoffen mit höchstmöglichen Steifemodulen und daraus abgeleiteten Bettungszahlen besonders wirtschaftlich und baukonstruktiv interessant geworden.

Die Firma GRUNER AG ist ein Schweizer Ingenieur-Dienstleistungsunternehmen mit Hauptsitz in Basel, über 30 Standorten und ca. 1000 Mitarbeitern. Diese Dokumentation kann ein Leitfaden für den Tragwerksplaner sein, wenn es um die Fragestellung geht, welcher Dämmstoff bei der Planung einer lastabtragenden und energetisch optimierten Gründungsplatte zum Einsatz kommen soll.

Staatsarchiv des Kantons Thurgau
Architekt Jessen und Vollenweider, Basel
Ausführung 2009–2011
Anwendung FOAMGLAS Erdberührte Dämmsysteme, Innendämmsysteme und Kompaktdachsysteme Total: 888 m³



Lakeside Science and Technology Park, Klagenfurt, Österreich
Architekt ARGE Architekten. Edgar Egger / Toralf Fercher Architektur ZTGmbH, Manfred Güldner ZT-GmbH, Klagenfurt, Villach
Eröffnung 2009
Anwendung FOAMGLAS Unterbodenisolierung unter tragender Fundamentplatte und Begrenzungswänden. 11 585 m²

Inhalt

Inhalt	04
1. Einleitung	05
2. Grundlagen	06
3. Eigenschaften	07
4. Bemessung	08
5. Einsatzgebiete	10
6. Beispiel Einzelfundament	12
7. Bodenplatten: Einflüsse auf Bemessung und Setzungsverhalten	14
8. Vereinfachte Bestimmung der Gesamtbettungsziffer	16



*Pflanzenschutzlabor der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf (ZH)
Architekt Burckhardt + Partner AG, Basel
Ausführungsjahr 2014
Anwendung FOAMGLAS Bodendämmung zweilagig ca. 1 000 m², FOAMGLAS Floor Board T4+, Dicke 100 mm, FOAMGLAS T4+, Dicke 100 mm. Wanddämmung ca. 550 m², FOAMGLAS T4+, Dicke 200 mm*

Impressum

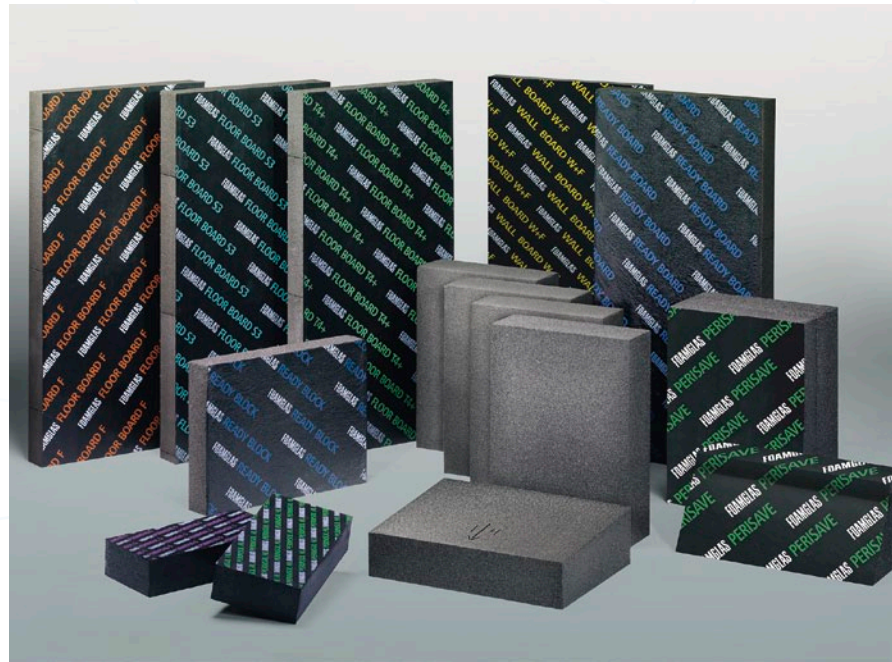
Herausgeber
 Autoren

Gruner AG / Pittsburgh Corning Schweiz AG
 Dipl. Ing. Michael Geier, Gruner AG
 Dipl. Ing. Roland Marty, Gruner AG
 Stäuble GmbH, sgrafik.ch
 Brunner Medien AG
 500 Exemplare

Grafik und Layout
 Druck
 Auflage

1. Einleitung

FOAMGLAS ist ein druckfester Dämmstoff mit hervorragenden Isolationseigenschaften und geringen Stauchungen unter hoher Last.

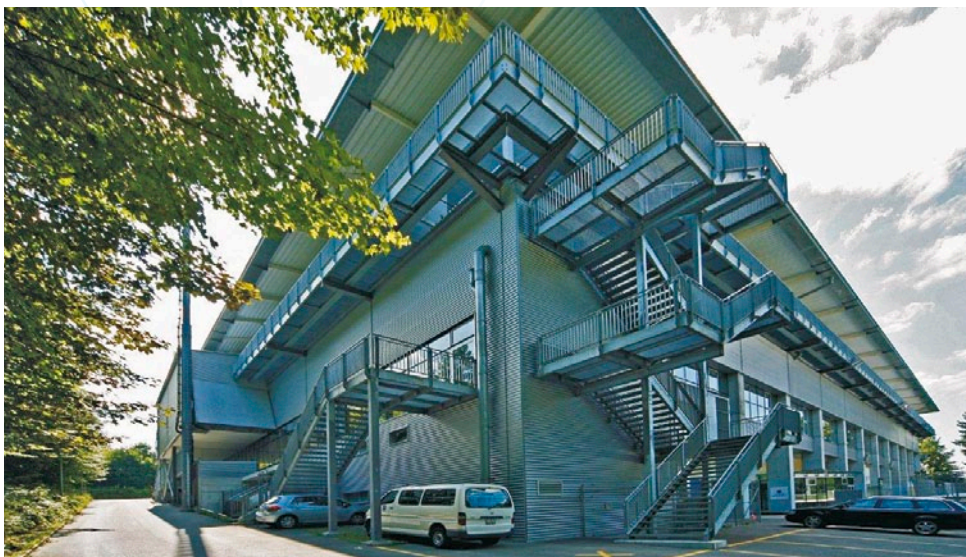


Aus Sicht des Bauingenieurs ergeben sich insbesondere folgende Vorteile:

Das Sortiment für die Dämmung erdberührter Bauteile umfasst FOAMGLAS Platten und FOAMGLAS Boards

< Kein Schwinden,
kein Kriechen,
kein Quellen! >

- > Hohe Druckfestigkeit
- > Geringe Stauchung
- > Massbeständig (kein Schwinden, Kriechen oder Quellen)
- > Spielraum für spätere Projektänderungen oder bei neuen Erkenntnissen über den Baugrund
- > Einsparpotential beim Tragwerk, weil zur Lasteinleitung kleinere Fundamentabmessungen notwendig sind

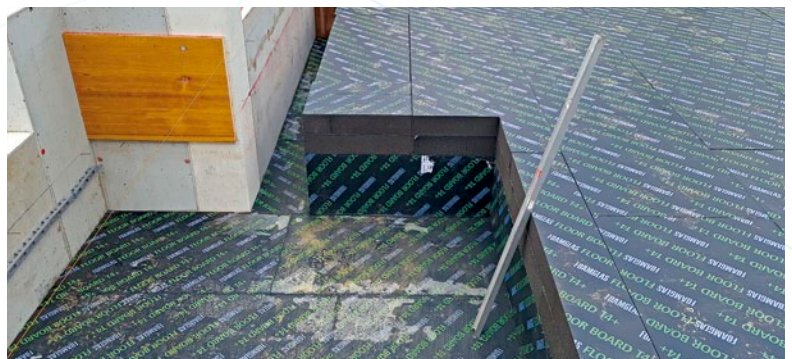


*Swiss Arena, Eishalle Schluefweg, Kloten
Architekt RGE Isler Architekten AG/
Thomet Bauleitungen Planungen AG,
Winterthur
Ausführung 2008
Anwendung FOAMGLAS Erdberührte
Dämmsysteme, 1.900 m², FOAMGLAS S3,
Dicke 140 mm*

2. Grundlagen

Wohn- und Bürogebäude werden über viele Monate im Jahreszyklus beheizt. Die Innentemperatur der Gebäude liegt üblicherweise oberhalb der Behaglichkeitsgrenze von 21°C.

Immer häufiger werden im Erdreich liegende Räume für wohn- und wohnähnliche Zwecke genutzt; deshalb muss aus bauphysikalischen bzw. hygienischen Gründen sichergestellt sein, dass alle den Baukörper nach aussen begrenzenden Gebäudeflächen wärmegeklämt werden.



Baustellensituation Detailausbildung einer Fundamentvertiefung mit FOAMGLAS Boards

< Materialversagen durch Schub kann ausgeschlossen werden >



Grundlagen

- > Modellbildung und Berechnung der Schnittgrößen nach den Normen SIA 260 – 267, diese entsprechen Sicherheitsanforderungen des Eurocode SN EN 1990.
- > Lastfall für Tragsicherheit: Lastkombination Tragsicherheit Typ 2 «Design» $E_d = E\{\gamma_G G_k, \gamma_P P_k, \gamma_Q 1 Q_{k1}, \psi_{0i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$
- > Lastfall für Gebrauchstauglichkeit (Langzeitverformung): häufige Lastkombination $E_d = E\{G_k, P_k, c_{11} Q_{k1}, c_{2i} Q_{ki}, X_d, a_d\}$

Ägyptisches Museum und Hochschule für Fernsehen und Film, München, Deutschland

Architekt Peter Böhm Architekten, Köln

Eröffnung 2011

Anwendung FOAMGLAS Unterirdisch, Isolierung der Fundamentplatte (tragend) und der Unterbodenwände

3. Eigenschaften

Die Bodendämmung ist zu einem wesentlichen Merkmal funktionstauglicher Gebäude geworden. Sie muss sich den Anforderungen stellen, die zum einen von der Nutzung der ins Erdreich eingebundenen Gebäudeteile ausgehen, sowie die einwirkenden Bodenverhältnisse berücksichtigen

Weitere Eigenschaften

- > Wasserdicht
- > Schädlingssicher
- > Säure- und Chemikalienbeständig
- > Nichtbrennbar
- > Dampfdicht
- > Radonschutz
- > Massbeständig (kein Schwinden, Kriechen oder Quellen)

Kennzahlen	FOAMGLAS				XPS	
	T3+	T4+	S3	F	500	700
Dichte [kg / m ³]	100	115	130	165	30	> 35
Wärmeleitfähigkeit [W / mK]	0.036	0.041	0.045	0.050	0.035	0.035
E-Modul [N / mm ²] *	70	75	90	135	–	–
E-Modul [N / mm ²] **	90	100	120	220	9	12
Charakteristische Druckfestigkeit (2.5 % Fraktil) [kN / m ²]	510	640	970	1590	–	–
Bemessungsdruckfestigkeit [kN / m ²] (mit $\gamma_M = 1.25$)	408	512	776	1272	255	355

* FOAMGLAS Platten, in Heissbitumen verlegt, XPS: keine Anwendung

** FOAMGLAS Boards, auf Sand oder Splitt, XPS: Langzeit-E-Modul für 50 Jahre

Table 1 Technische Werte. Tabellarische Zusammenstellung der wichtigsten Kennzahlen für die Bemessung



Erdbebensicherheit und Horizontalkräfte

Durch seine isotrope Struktur ist FOAMGLAS richtungsunabhängig zur Abtragung von kurzzeitig einwirkenden Horizontalkräften aus Erdbebenbeanspruchung geeignet. Aber grundsätzlich stellt sich die Frage, ob man Horizontalkräfte über eine Wärmedämmung in den Untergrund ableiten soll. Wo die konstruktiven Massnahmen – wie Liftunterfahrten, Riegel,

Vouten etc. – nicht ausreichen, sollte durch das Zusammenspiel von Wärmedämmung und Gleitlage die einwirkende Horizontallast nicht mehr als 10 % der einwirkenden Vertikallast betragen.

In Versuchen konnte Materialversagen durch Schub ausgeschlossen werden, wenn die einwirkende Schubspannung auf 20 % der Bemessungsdruckfestigkeit begrenzt wurde.

Länderspezifische Normbestimmungen oder Zulassungen hinsichtlich Erdbebensicherheit und Horizontalkräfte bleiben vorbehalten.

Baustellensituation 2-lagige Verlegung von FOAMGLAS. FOAMGLAS Platten in Heissbitumen auf einem Untergrund aus lose verlegten FOAMGLAS Boards

4. Bemessung

Die Stauchung von FOAMGLAS ist im Gegensatz zu organische Schäumen äusserst gering. Dämmstoffbedingte Setzungsdifferenzen sind daher so klein, dass sie keine negative Auswirkung auf die Gründungsplatte erwarten lassen.

Anhand der Werte in Tabelle 2 kann eine Vorbemessung vorgenommen werden. Als Vergleich sind typische Werte für Dämmung aus XPS angegeben. Im Allgemeinen wird für FOAMGLAS die Spalte Tragsicherheit (Lastkombination Design) massgebend, während bei XPS die Langzeitverformungen (häufige Lastkombination) den Ausschlag geben.

Produkt	Tragsicherheit		Gebrauchstauglichkeit		
	N_{Rd} [kN/m ²]	Stauchung t = 50 Jahre	$N_{R, häufig}$ [kN/m ²]	Stauchung t = 0	Stauchung t = 50 Jahre
FOAMGLAS T3+	408	0.5 %**	(272)*	0.3 %**	0.3 %**
FOAMGLAS T4+	512	0.5 %**	(341)*	0.3 %**	0.3 %**
FOAMGLAS S3	776	0.6 %**	(517)*	0.3 %**	0.4 %**
FOAMGLAS F	1272	0.6 %**	(848)*	0.3 %**	0.4 %**
XPS 500	255	< 3.0 %	180	unbekannt	< 2.0 %
XPS 700	355	< 3.0 %	250	unbekannt	< 2.0 %

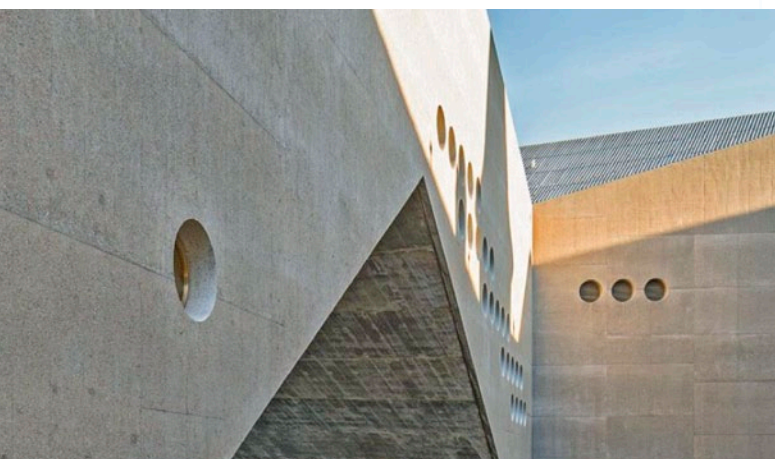
Tabelle 2 Bemessungswerte

* Die Werte für $N_{R, häufig}$ für FOAMGLAS sind nur zu Vergleichszwecken angegeben und stellen keine Bemessungsgrenze dar.

Es wurde folgende Annahme verwendet: $N_{R, häufig} = N_{Rd} / 1.5$

** Bei der Ermittlung der Stauchung der Isolation wurde das E-Modul für eine Bettung auf Sand/Splitt angenommen.

< Ausgesprochen hohe Materialspannung.
Minimale Materialstauchung >



Erweiterung Landesmuseum Zürich, ZH
Architekt Christ & Gantenbein AG, Basel
Ausführungsjahr 2012–2016
Anwendung FOAMGLAS Bodendämmung ca. 2000 m², FOAMGLAS T4+/S3, Dicke 200 mm

Baustellensituation Verlegung von FOAMGLAS Platten in Heissbitumen

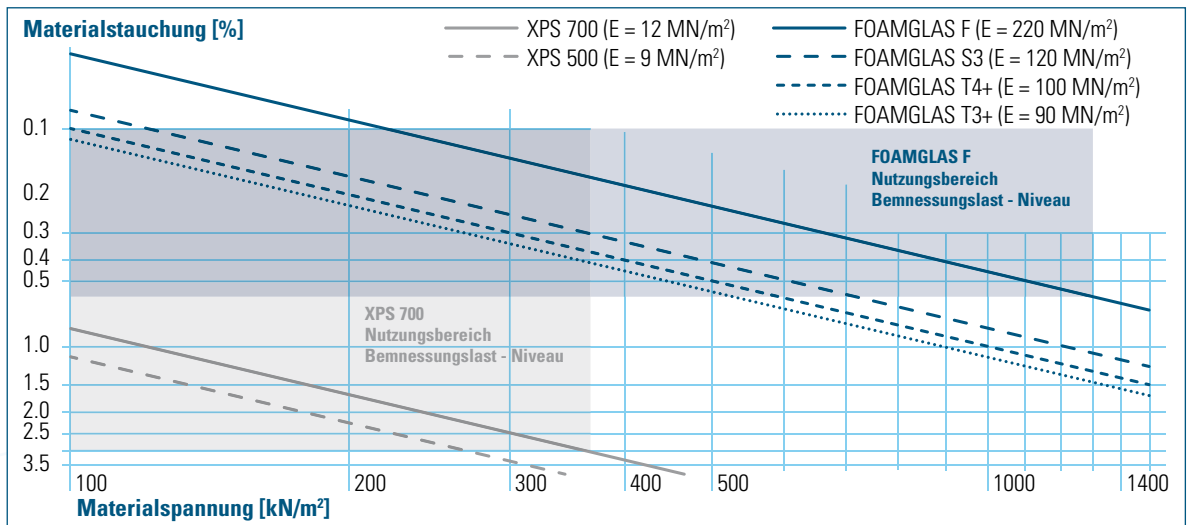


Diagramm 1 Spannungs-Stauchungsverhalten von Dämmstoffen bis auf Höhe Bemessungslast-Niveau

Die folgenden beiden Diagramme zeigen den Zusammenhang zwischen Last und Stauchung für auf Sand bzw. Splitt gebettete FOAMGLAS Platten und XPS bei gegebenem U-Wert für $U = 0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Für Bodenplatten und Fundamente in weniger als 2.5 m Tiefe) bzw. $U = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Für Bodenplatten und Fundamente in mehr als 2.5 m Tiefe).

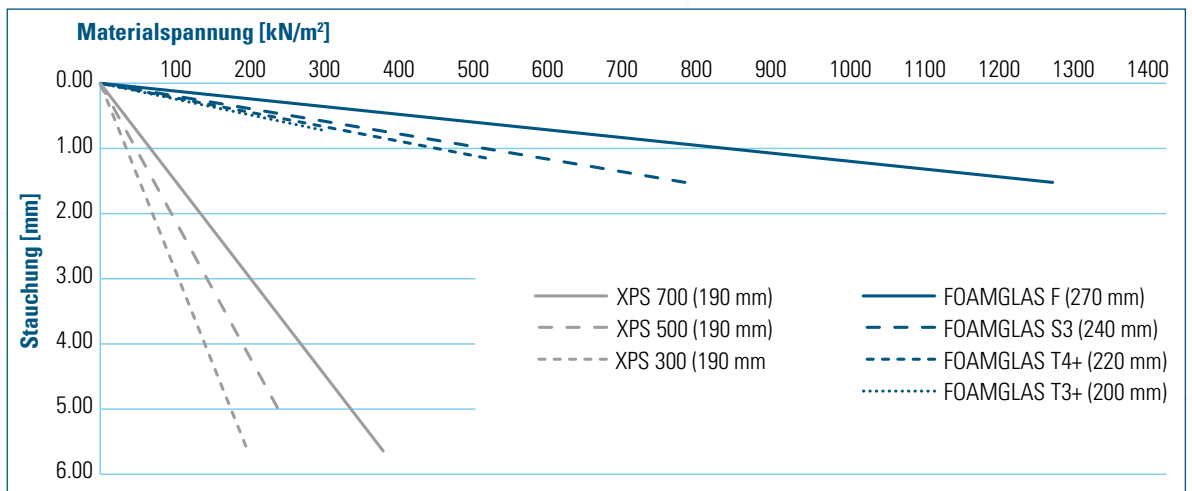


Diagramm 2 Stauchung der Dämmung mit $U = 0.18 \text{ W/m}^2\text{K}$ infolge Flächenspannung

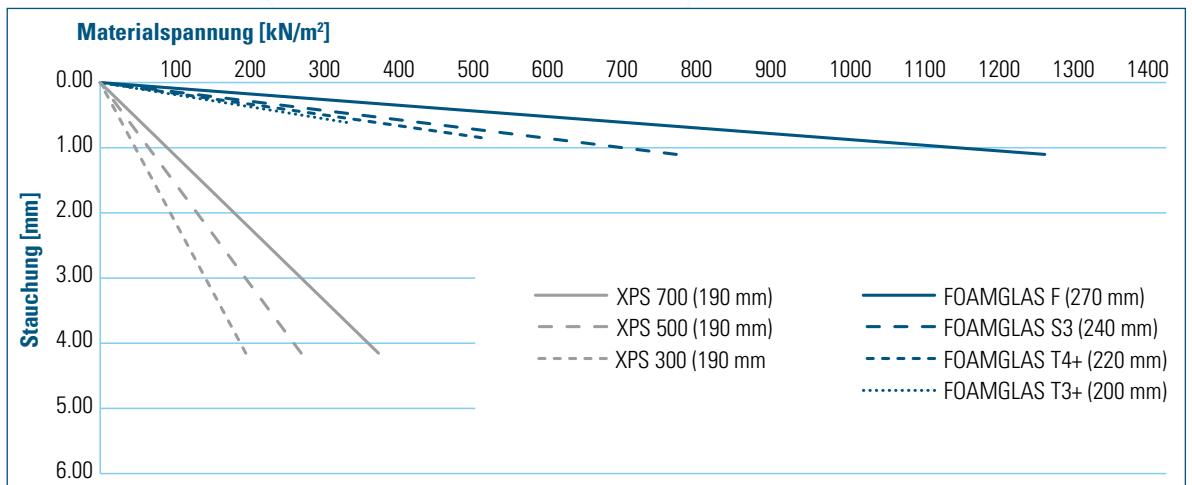
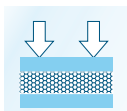


Diagramm 3 Stauchung der Dämmung mit $U = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ infolge Flächenspannung

5. Einsatzgebiete

Geringe zulässige Stauchungen und setzungempfindliche Anlagen



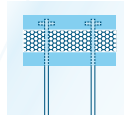
Dank der relativ hohen Steifigkeit von FOAMGLAS können Setzungen wirkungsvoll minimiert werden. Insbesondere sind aufgrund der Massstabilität keine Langzeitverformungen aus Kriechen, Schwinden oder Quellen zu erwarten.

Kombinierte Pfahl-Platten-Gründungen



Der hohe E-Modul der FOAMGLAS Dämmung erlaubt es, mit geringen Deformationen grosse Lasten einzuleiten. Dadurch wird gewährleistet, dass in kombinierten Foundationen Pfähle und Bodenplatte gleichzeitig wirken.

Einsatz von Zugpfählen



Die Ankerkopplatten von reinen Zugpfählen (z. B. gegen Wasserdruck von unten oder abhebende Kräfte im Erdbebenfall) werden oft so weit oben wie möglich im Fundament oder Bodenplatte an-

geordnet, um im Ereignisfall Durchstanzen der Kopfplatten nach unten zu verhindern. Bei unberücksichtigten Setzungen der Foundation durch Zusammendrücken der darunterliegenden Dämmschicht besteht die Gefahr, dass die sehr steifen Pfähle den Bewegungen der Foundation nicht folgen können und sich darum die Lasten der Fundamente bzw. der Bodenplatte ungewollt auf die Pfähle umlagern und so ein ausserplanmässiges Durchstanzen der Pfahlköpfe nach oben verursachen.

Je steifer und berechenbarer sich die eingebaute Dämmung verhält, desto geringer ist das Risiko für einen solchen Schadensfall.

Bodenplatten und Foundationen von Minergie-(P)-Gebäuden

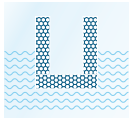


Bei den grossen Dämmstärken von bis zu 40 cm, welche für Minergie-(P)-Gebäude erforderlich sind, fallen die Stauchungen der Dämmung stärker ins Gewicht. FOAMGLAS bietet sich für diesen Fall zur wirkungsvollen Reduktion der Setzungen an.



EFH Witikon, ZH
Architekt 2_Architekten GmbH, Ittigen
Ausführungsjahr 2014
Anwendung FOAMGLAS Bodendämmung ca. 200m², FOAMGLAS T4+, Dicke 160mm.
 Wanddämmung ca. 100m², FOAMGLAS T4+, Dicke 200mm

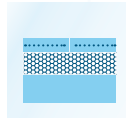
Im Grundwasser



FOAMGLAS ist wasserdicht und wirkt als Kapillarsperre.

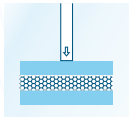
FOAMGLAS Platten, die mit Heissbitumen verklebt sind, erfüllen zusätzlich auch die Funktion einer Dampfsperre.

Bei Industrieböden mit Dilatationsfugen



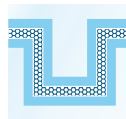
Dank der relativ hohen Steifigkeit von FOAMGLAS treten an den Fugen auch bei einseitiger Lastverteilung nur kleine Setzungsdifferenzen auf.

Bei hohen, konzentrierten Lasten

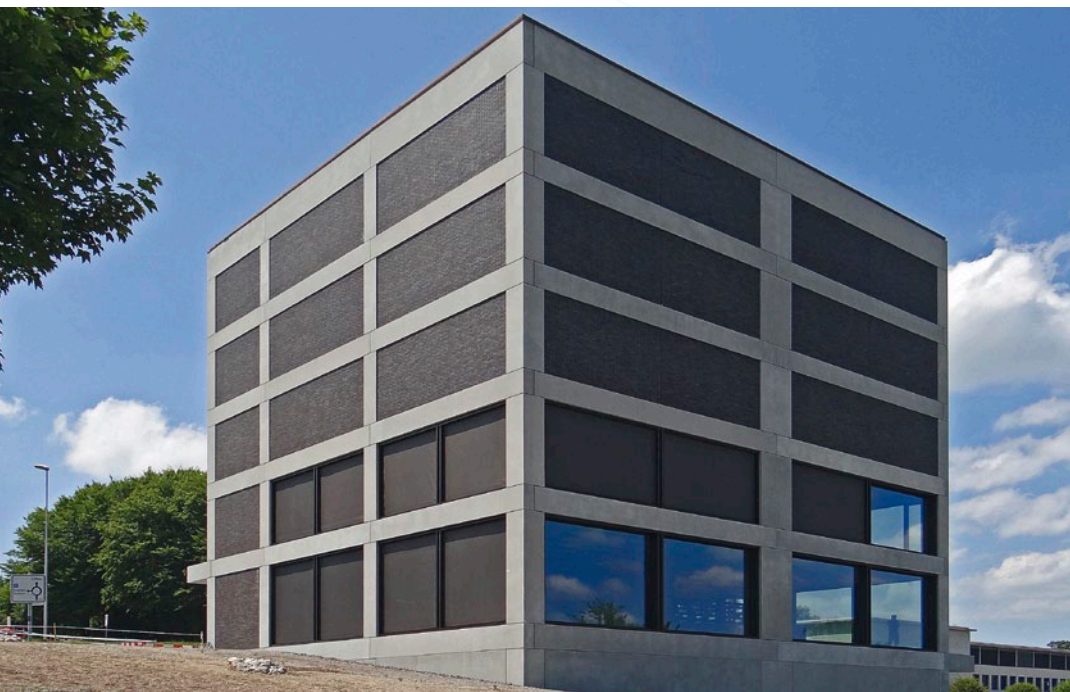


Unter Stützen- und Streifenfundamenten, Hochregallagern und bei befahrbaren Flächen sind bei definierter zulässiger Setzung wesentlich geringere Tragwerksabmessungen als mit XPS möglich.

Im Umbau



Beim Erstellen neuer tragender Bauteile wie Liftschächten oder Abfangungen mit Fundation in bestehenden Gebäuden bietet sich die Dämmung mit FOAMGLAS an, um spätere Setzungen und damit Lastumlagerungen und Rissbildung zu verhindern.



Stadtarchiv Luzern, Minergie P-Eco
Architekt Enzmann Fischer Partner Architekten
Ausführungsjahr 2015
Anwendung FOAMGLAS Dämmung UK Bodenplatte, mit gelber Wanne FOAMGLAS Floor Board T4+ und S3 200 mm zweilagig verlegt, 820 m². Kompaktdach mit Plattenbelag FOAMGLAS T4+ 120 mm, ca. 310 m². Innendämmung Boden FOAMGLAS T4+ 40 mm, 450 m²

6. Beispiel Einzelfundament

Die folgende Darstellung zeigt beispielhaft die Änderungen in den Abmessungen und Einsenkungen eines Einzelfundamentes für eine konstante Stützenlast in Abhängigkeit der Druckfestigkeit des Untergrundes und des Materials der Wärmedämmung.

Eingangswerte für die Vergleichsbetrachtung

Ständige Stützenlast	$G_{1,k} = 1\,500\text{ kN}$
Eigengewicht Fundament	$G_{F,k} =$ (wird durch EDV bestimmt)
Nutzlast	$Q_k = 650\text{ kN}$ ($\psi_1 = 0.5$ für Wohngebäude)
Lastkombination Tragsicherheit	$F_d = 1.35 \times G_{1,k} + 1.35 \times G_{F,k} + 1.50 \times Q_k = 3\,080$ bis $3\,380\text{ kN}$
Lastkombination häufige Last	$F_{d,\gamma_1} = 1.00 \times G_{1,k} + 1.00 \times G_{F,k} + 0.50 \times Q_k = 1\,885$ bis $2\,105\text{ kN}$

Bodeneigenschaften: Boden-E-Modul = 200 MN/m^2 ,
Stärke der eindrückbaren Bodenschichten = 5 m

Gesamtbettungsziffern (mit Dämmung) s. Abschnitt «Vereinfachte Bestimmung der Gesamtbettungsziffer»

Die Stärke der unterschiedlichen Dämmmaterialien wurde für einen U-Wert von $U = 0.18\text{ W/(m}^2\text{K)}$ gewählt.

Die Berechnungen wurden mit dem FEM-Programm AXIS VM X4 durchgeführt. Die Setzungen e_z sind jeweils direkt unter der Stütze ausgelesen.

Baustellensituation Verlegung von FOAMGLAS Boards auf Sauberkeitsschicht



Grösse der Einzelfundation in Abhängigkeit der zulässigen Bodenpressung			
Bodenqualität	ohne Dämmung	mit FOAMGLAS (U = 0.18 W/m²K)	mit XPS (U = 0.18 W/m²K)
<p>sehr gut 770 kN/m²</p> <p>gut 500 kN/m²</p> <p>mittel 350 kN/m²</p> <p>$R_{d, Boden} = R_{k, Boden} / 1,5 (\approx R_{zul} \cdot 1,4)$</p>	<p>$e_z = 12,1 \text{ mm}$</p> <p>Stahlbeton 60 cm</p>	<p>$e_z = 12,1 \text{ mm}$</p> <p>Stahlbeton 60 cm FOAMGLAS F 27 cm</p>	<p>$e_z = 9,1 \text{ mm}$</p> <p>+ 125% Beton</p> <p>Stahlbeton 60 cm XPS 700 19 cm</p>
	<p>$e_z = 8,0 \text{ mm}$</p> <p>Stahlbeton 60 cm</p>	<p>$e_z = 8,4 \text{ mm}$</p> <p>Stahlbeton 60 cm FOAMGLAS T4+ 22 cm</p>	<p>$e_z = 9,1 \text{ mm}$</p> <p>+ 44% Beton</p> <p>Stahlbeton 60 cm XPS 700 19 cm</p>
	<p>$e_z = 5,8 \text{ mm}$</p> <p>Stahlbeton 60 cm</p>	<p>$e_z = 6,1 \text{ mm}$</p> <p>Stahlbeton 60 cm FOAMGLAS T3+ 20 cm</p>	<p>$e_z = 9,1 \text{ mm}$ $e_z = 6,3 \text{ mm}$</p> <p>+ 207% Beton</p> <p>+ 50% Setzung</p> <p>Stahlbeton 60 cm XPS 700 19 cm Stahlbeton 70 cm XPS 500 19 cm</p>

Abbildung 1 Einfluss des Dämmmaterials auf die Abmessungen von Einzelfundamenten

Ergebnisse der Vergleichsbetrachtung

Als Referenzwert dient ein Fundament ohne Dämmung.

Es fällt auf, dass es kaum Unterschiede bei den Abmessungen und Einsenkungen von ungedämmten und mit FOAMGLAS gedämmten Fundamenten gibt.

Einzelfundamente mit Dämmung aus XPS 500 bzw. XPS 700 hingegen können gute und sehr gute Bodendruckfestigkeiten nicht ausnutzen, da die Druckspannung in der Dämmung gemäss Herstellerangaben auf $R_d = 255$ bzw. 355 kN/m^2 (Tragsicherheitsniveau) begrenzt ist. Daraus resultiert zwangsläufig eine Vergrößerung der Fundamentfläche.

Möchte man bei der Projektierung die Langzeitsetzungen der Fundamente auf den gleichen Wert begrenzen, vergrössern sich die Fundamente aufgrund der geringeren Steifigkeit bei Einsatz von XPS Dämmstoffen im Vergleich zu FOAMGLAS sogar noch weiter.



7. Bodenplatten: Einflüsse auf Bemessung und Setzungsverhalten

Die Verformbarkeit eines Untergrundes respektive Dämmstoffes beeinflusst wesentlich die Spannungsverteilung innerhalb der lastabtragenden Gründungsplatte.

*Einfamilienhaus Obereg
Architekt Holzbau AG Obereg
Ausführungsjahr 2014
Anwendung FOAMGLAS
Bodendämmung: FOAMGLAS Floor Board
T4+, Dicke 80 mm, 78 m²
Perimeterdämmung: FOAMGLAS Platten
T4+, Dicke 150 mm, 92 m²*



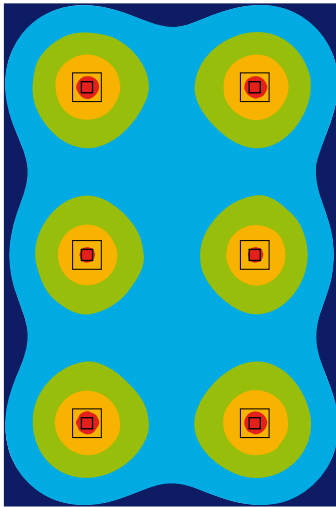
Bei Bodenplatten, die hohe Einzellasten (z. B. unter Stützen oder in abgeschwächter Form auch bei Fusspunkten von Hochregallagern) abtragen, ergeben sich durch den Einsatz von FOAMGLAS eine Reihe von Vorteilen gegenüber dem Einsatz von XPS:

- > Die Einsenkung der Stützen und Lastverteilung unter der Bodenplatte ist nahezu identisch mit der Lagerung ohne Dämmung.
- > Geringere Momente in der Bodenplatte reduzieren die rechnerisch erforderliche Armierung.
- > Höhere, resultierende Bodenpressungen direkt unter den Lasteinleitungspunkten wirken sich günstig auf den Durchstanznachweis aus.
- > Es ist keine allfällige Erhöhung der Bodenplattenstärke zur Kompensation erhöhter Setzungen und/oder Einhaltung des Durchstanznachweises erforderlich, welche bei den üblicherweise vorhandenen Anforderungen an die Begrenzung der Rissbreiten zu zusätzlichem Armierungsbedarf führen würde.

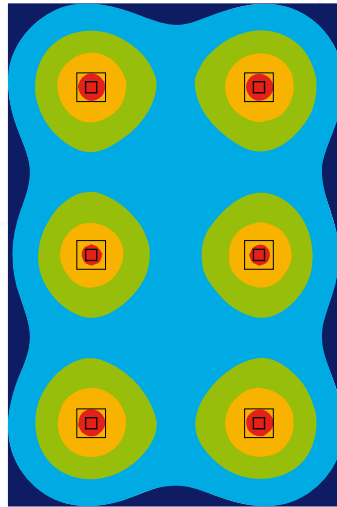
Diese Vorteile von FOAMGLAS wirken sich auch positiv auf die Gesamtwirtschaftlichkeit aus, da Bodenplattenstärken, Armierungsgehalte etc. im Gegenzug stärker optimiert werden können und/oder später im Lebenszyklus des Bauwerks diesbezüglich keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich werden.

Wir empfehlen für eine Bemessung auf der sicheren Seite, die Bodenplatte für Tragsicherheitsnachweise als ungerissenen Querschnitt und für Gebrauchstauglichkeitsnachweise als gerissenen Querschnitt, z. B. vereinfacht durch eine angemessene Reduktion des E-Moduls des Stahlbetons, zu betrachten.

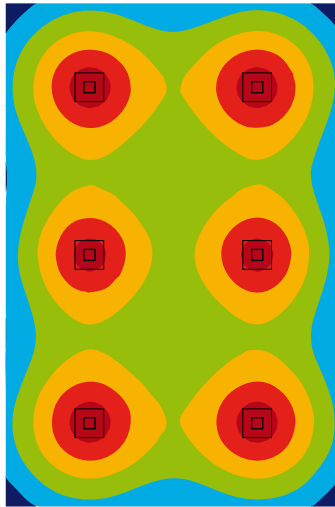
Im Vergleich zur Gründung mit Einzelfundamenten gibt es neben Lastniveau und Bodenkennwerten zusätzliche Faktoren, welche Einfluss auf die absoluten und differenziellen Setzungen haben. So spielen das Stützenraster (d. h. Abstand der Lastangriffspunkte untereinander), die Stärke der Bodenplatte in ihrer Eigenschaft als Lastverteilplatte, die eingelegte Armierung und ob die Bodenplatte bei der Berechnung durch den Ingenieur als gerissen oder ungerissen angenommen wird, eine grosse Rolle. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel von einem voll-



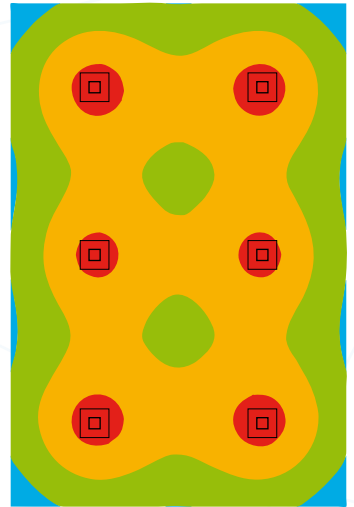
Fall 1: Bodenplatte (d = 30 cm) direkt auf Boden



Fall 2: Bodenplatte (d = 30 cm) auf FOAMGLAS T3+ (d = 20 cm)



Fall 3: Bodenplatte (d = 30 cm) auf XPS 500 (d = 19 cm)



Fall 4: Bodenplatte (d = 40 cm) auf XPS 500 (d = 19 cm)

ständigen Rechenbeispiel abgesehen, sondern in der Grafik lediglich qualitativ die Setzung bei verschiedenen Dämmstoffen und Bodenplattenstärken verglichen.

Eingangsgrößen der Modellierung:

Stützenlasten $G = 750 \text{ kN} / Q = 250 \text{ kN}$ ($\psi_{11}=0.5$); im Raster $5 \times 5 \text{ m}$
 Boden: Steifigkeit $E = 200 \text{ MN/m}^2$, eindrückbare Schichtstärke $d = 8 \text{ m}$
 Bodenplatte Stahlbeton C25/30, $E_{\text{gerissen}} = 0.5 \times E$

< XPS 700 weist gegenüber FOAMGLAS T3+ eine deutliche höhere Kriechverformung auf! >



Baustellensituation Fertig verlegte Fläche mit FOAMGLAS Floor Board

8. Vereinfachte Bestimmung der Gesamtbettungsziffer

Zur statischen Bemessung werden heutzutage häufig FINITE ELEMENTE - Programme verwendet. Zur korrekten Modellierung der Foundation wird die Bettungsziffer benötigt.

Die Bettungsziffer einer Schicht i wird aus dem Verhältnis von E-Modul und Schichtstärke gebildet:

$$k_i = E_i / t_i \text{ [MN/m}^3\text{]}$$

mit

k_i :	Bettungsziffer der Schicht i	[MN/m ³]
t_i :	Stärke der Schicht i	[m]
E_i :	E-Modul der Schicht i	[N/mm ² = MN/m ²]

Wenn der Aufbau des Baugrunds und die E-Module der einzelnen Schichten bekannt sind, kann daraus die Bettungsziffer für die gesamte Foundation berechnet werden:

$$\begin{aligned} 1/k_{\text{ges}} &= \sum (1/k_i) \\ &= 1/k_{\text{FOAMGLAS}} + 1/k_{\text{Boden}_1} + 1/k_{\text{Boden}_2} + \dots + 1/k_{\text{Boden}_n} \end{aligned}$$





Da die Eigenschaften und Schichtdicken des Untergrundes üblicherweise nicht genau bekannt sind und sogar in Bodengutachten oft nur «von-bis-Werte» angegeben sind, wurden zu Vorbemessungs- und Vergleichszwecken in den Tabelle 3 und Tabelle 4 Gesamtbettungsziffern für unterschiedliche Bodenqualitäten und -schichtstärken sowie verschiedene Dämmmaterialien ermittelt.

Falls exakte Werte zu den tatsächlichen anliegenden Baugrundverhältnissen (Dicken und E-Module der einzelnen Schichten, Lage Felshorizont etc.) vorliegen, können alternativ über die oben angegebenen Formeln genauere Bettungsziffern bestimmt werden.

Hotel Bella Sky, Kopenhagen, Dänemark
Architekt 3XN Arkitekter, Kopenhagen
Eröffnung 2010
Anwendung FOAMGLAS Bodenisolierung; Fundamentplatte

Baustellensituation *Detailausbildung einer Fundamentvertiefung mit FOAMGLAS Boards*



Hinweis zu den Tabellenwerten:

Da offiziell keine Bodenverbesserung beim Austausch gegen Dämmplatten angesetzt werden darf, sind in den Tabellen alle Angaben der prozentualen Veränderung der Bettungsziffer nach oben auf 0 % begrenzt.

Sollte die rechnerisch ermittelte Gesamtbettungsziffer (Boden und Dämmung) höher als die Bettungsziffer des ungestörten Bodens sein, wird nur die des ungestörten Bodens angesetzt.

Dies ist immer dann der Fall, wenn das E-Modul der Dämmung grösser ist als das E-Modul des Bodens, d. h. in den meisten Fällen hat der Einsatz von FOAMGLAS keine Auswirkung auf die statische Berechnung der Fundamente und Bodenplatte.

U-Wert Gründung	0.18	W/m ² K	E-Modul Boden [MN/m ²]	Bettungsziffer [MN/m ³] für eine eindrückbare Bodenschicht ab UK Fundament mit einer Dicke [m] von											
				1			5			10			25		
				Boden	Boden + Dämmung	Verlust	Boden	Boden + Dämmung	Verlust	Boden	Boden + Dämmung	Verlust	Boden	Boden + Dämmung	Verlust
FOAMGLAS T3+	Dämmstärke 200 mm Langzeit-E-Modul 90 N/mm ² Bettungsziffer 450,0 MN/m ³	20	20	19.1	0 %	4	4.0	0 %	2	2.0	0 %	0.8	0.8	0 %	
		50	50	45.0	0 %	10	9.8	0 %	5	4.9	0 %	2	2.0	0 %	
		100	100	81.8	-2 %	20	19.1	-1 %	10	9.8	0 %	4	4.0	0 %	
		200	200	138.5	-17 %	40	36.7	-5 %	20	19.1	-3 %	8	7.9	-1 %	
		500	500	236.8	-43 %	100	81.8	-15 %	50	45.0	-8 %	20	19.1	-4 %	
FOAMGLAS T4+	Dämmstärke 220 mm Langzeit-E-Modul 100 N/mm ² Bettungsziffer 454,5 MN/m ³	20	20	19.2	0 %	4	4.0	0 %	2	2.0	0 %	0.8	0.8	0 %	
		50	50	45.0	0 %	10	9.8	0 %	5	4.9	0 %	2	2.0	0 %	
		100	100	82.0	0 %	20	19.2	0 %	10	9.8	0 %	4	4.0	0 %	
		200	200	138.9	-15 %	40	36.8	-8 %	20	19.2	-2 %	8	7.9	-1 %	
		500	500	238.1	-42 %	100	82	-18 %	50	45.0	-8 %	20	19.2	-4 %	
FOAMGLAS S3	Dämmstärke 240 mm Langzeit-E-Modul 120 N/mm ² Bettungsziffer 500,0 MN/m ³	20	20	19.2	0 %	4	4.0	0 %	2	2.0	0 %	0.8	0.8	0 %	
		50	50	45.5	0 %	10	9.8	0 %	5	5.0	0 %	2	2.0	0 %	
		100	100	83.3	0 %	20	19.2	0 %	10	9.8	0 %	4	4.0	0 %	
		200	200	142.9	-11 %	40	37.0	-8 %	20	19.2	-4 %	8	7.9	-1 %	
		500	500	250	-38 %	100	83.3	-17 %	50	45.5	-9 %	20	19.2	-4 %	
FOAMGLAS F	Dämmstärke 270 mm Langzeit-E-Modul 220 N/mm ² Bettungsziffer 814,8 MN/m ³	20	20	19.5	0 %	4	4.0	0 %	2	2.0	0 %	0.8	0.8	0 %	
		50	50	47.1	0 %	10	9.9	0 %	5	5.0	0 %	2	2.0	0 %	
		100	100	89.1	0 %	20	19.5	0 %	10	9.9	0 %	4	4.0	0 %	
		200	200	160.6	0 %	40	38.1	0 %	20	19.5	0 %	8	7.9	0 %	
		500	500	309.9	-21 %	100	89.1	-11 %	50	47.1	-6 %	20	19.5	-3 %	
XPS 500	Dämmstärke 190 mm Langzeit-E-Modul 9 N/mm ² Bettungsziffer 47,4 MN/m ³	20	20	14.1	-16 %	4	3.7	-8 %	2	1.9	-5 %	0.8	0.8	0 %	
		50	50	24.3	-42 %	10	8.3	-17 %	5	4.5	-10 %	2	1.9	-5 %	
		100	100	32.2	-62 %	20	14.1	-30 %	10	8.3	-17 %	4	3.7	-8 %	
		200	200	38.3	-77 %	40	21.7	-46 %	20	14.1	-30 %	8	6.8	-15 %	
		500	500	43.3	-90 %	100	32.2	-68 %	50	24.3	-51 %	20	14.1	-30 %	
XPS 700	Dämmstärke 190 mm Langzeit-E-Modul 12 N/mm ² Bettungsziffer 63,2 MN/m ³	20	20	15.2	-10 %	4	3.8	-5 %	2	1.9	-5 %	0.8	0.8	0 %	
		50	50	27.9	-34 %	10	8.6	-14 %	5	4.6	-8 %	2	1.9	-5 %	
		100	100	38.7	-54 %	20	15.2	-24 %	10	8.6	-14 %	4	3.8	-5 %	
		200	200	48.0	-71 %	40	24.5	-39 %	20	15.2	-24 %	8	7.1	-11 %	
		500	500	56.1	-87 %	100	38.7	-61 %	50	27.9	-44 %	20	15.2	-24 %	

Tabelle 3 Bettungsziffern für verschiedene Böden bei U = 0.18 W/m²K



Lufthansa, New A380 Maintenance Hangar,
Frankfurt, Deutschland
Architekt gmp – Architekten von Gerkan,
Marg und Partner
Eröffnung 2007
Anwendung FOAMGLAS Unter belasteten Boden

U-Wert Gründung	0.25	W/m ² K	E-Modul Boden [MN/m ²]	Bettungsziffer [MN/m ³] für eine eindrückbare Bodenschicht ab UK Fundament mit einer Dicke [m] von											
				1			5			10			25		
				Boden	Boden + Dämmung	Verlust	Boden	Boden + Dämmung	Verlust	Boden	Boden + Dämmung	Verlust	Boden	Boden + Dämmung	Verlust
FOAMGLAS T3+	Dämmstärke 140 mm Langzeit-E-Modul 90 N/mm ² Bettungsziffer 642,9 MN/m ³	20	20	19.4	0%	4	4.0	0%	2	2.0	0%	0.8	0.8	0%	
		50	50	46.4	0%	10	9.8	0%	5	5.0	0%	2	2.0	0%	
		100	100	86.5	-1%	20	19.4	0%	10	9.8	-1%	4	4.0	0%	
		200	200	152.5	-13%	40	37.7	-3%	20	19.4	-2%	8	7.9	-1%	
		500	500	281.3	-36%	100	86.5	-11%	50	46.4	-6%	20	19.4	-3%	
FOAMGLAS T4+	Dämmstärke 160 mm Langzeit-E-Modul 100 N/mm ² Bettungsziffer 625,0 MN/m ³	20	20	19.4	0%	4	4.0	0%	2	2.0	0%	0.8	0.8	0%	
		50	50	46.3	0%	10	9.8	0%	5	5.0	0%	2	2.0	0%	
		100	100	86.2	0%	20	19.4	0%	10	9.8	0%	4	4.0	0%	
		200	200	151.5	-12%	40	37.6	-6%	20	19.4	-1%	8	7.9	-1%	
		500	500	277.8	-36%	100	86.2	-14%	50	46.3	-6%	20	19.4	-3%	
FOAMGLAS S3	Dämmstärke 170 mm Langzeit-E-Modul 120 N/mm ² Bettungsziffer 705,9 MN/m ³	20	20	19.4	0%	4	4.0	0%	2	2.0	0%	0.8	0.8	0%	
		50	50	46.7	0%	10	9.9	0%	5	5.0	0%	2	2.0	0%	
		100	100	87.6	0%	20	19.4	0%	10	9.9	0%	4	4.0	0%	
		200	200	155.8	-9%	40	37.9	-5%	20	19.4	-3%	8	7.9	-1%	
		500	500	292.7	-32%	100	87.6	-12%	50	46.7	-7%	20	19.4	-3%	
FOAMGLAS F	Dämmstärke 190 mm Langzeit-E-Modul 220 N/mm ² Bettungsziffer 1157,9 MN/m ³	20	20	19.7	0%	4	4.0	0%	2	2.0	0%	0.8	0.8	0%	
		50	50	47.9	0%	10	9.9	0%	5	5.0	0%	2	2.0	0%	
		100	100	92.1	0%	20	19.7	0%	10	9.9	0%	4	4.0	0%	
		200	200	170.5	0%	40	38.7	0%	20	19.7	0%	8	7.9	0%	
		500	500	349.2	-17%	100	92.1	-8%	50	47.9	-4%	20	19.7	-2%	
XPS 500	Dämmstärke 140 mm Langzeit-E-Modul 9 N/mm ² Bettungsziffer 64,3 MN/m ³	20	20	15.3	-13%	4	3.8	-5%	2	1.9	-5%	0.8	0.8	0%	
		50	50	28.1	-36%	10	8.7	-13%	5	4.6	-8%	2	1.9	-5%	
		100	100	39.1	-55%	20	15.3	-24%	10	8.7	-13%	4	3.8	-5%	
		200	200	48.7	-72%	40	24.7	-38%	20	15.3	-24%	8	7.1	-11%	
		500	500	57.0	-87%	100	39.1	-61%	50	28.1	-44%	20	15.3	-24%	
XPS 700	Dämmstärke 190 mm Langzeit-E-Modul 12 N/mm ² Bettungsziffer 85,7 MN/m ³	20	20	16.2	-4%	4	3.8	-5%	2	2.0	0%	0.8	0.8	0%	
		50	50	31.6	-25%	10	9.0	-10%	5	4.7	-6%	2	2.0	0%	
		100	100	46.1	-45%	20	16.2	-19%	10	9.0	-10%	4	3.8	-5%	
		200	200	60.0	-64%	40	27.3	-32%	20	16.2	-19%	8	7.3	-9%	
		500	500	73.2	-83%	100	46.1	-54%	50	31.6	-37%	20	16.2	-19%	

Tabelle 4 Bettungsziffern für verschiedene Böden bei U = 0.25 W/m²K

< Unsere Überzeugung:
Dinge sollten so gebaut werden,
dass sie lange bestehen bleiben. >

Weitere Informationen

gruner.ch
FOAMGLAS.ch