

# 16. Erdbaufachtagung

„Sicherungen und Stabilisierungen im Erd- und Grundbau“

---



Die Verwendung von Schaumglasschüttungen als  
Leichtbaustoff im Erdbau

Referenten	<b>Dipl.-Ing. Holger Weiß</b> bi-foam GmbH
Tagungsort	<b>H4 Hotel Leipzig</b> Schongauer Straße 39 04329 Leipzig  Tel.: +49 341-2540
Termin	<b>05./06. März 2020</b>

## Schaumglasschüttungen als Leichtbaustoff im Erdbau

- **Grundlagen** aus dem 2016 erstellten Merkblatt des AK 5.8 der **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen**
- **Neue Erkenntnisse bei der Anwendung auf gering tragfähigen Böden**
- **Stand der Technik beim Einbau und erfolgreiche Anwendungen**

### Einleitung und Vorstellung Schaumglasschotter (SGS)

Schaumglasschotter, Schaumglasschüttungen sind industriell, aus Altglas, nach ISO 9001 überwacht hergestellte Leichtbaustoffe. Sie zählen zu den **Upcyclingbaustoffen**.

Sie zeichnen sich einerseits durch eine geringe Dichte mit hoher Dämmwirkung und andererseits durch hohe Tragfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit im Haufwerk, beim Einsatz im Hochbau, aber auch im Tief- und Straßenbau aus.

Eine umfassende Vorstellung des Leichtbaustoffes SGS und dessen Anwendung finden Sie im 2016 erschienenen Merkblatt des AK 5.8 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

Es wurde auf der Grundlage von 40 Jahren Forschung und Entwicklung, sowie Erfahrungen an mittlerweile über 20.000 europaweiten Bauvorhaben, in Zusammenarbeit von Fachleuten aus der Geotechnik, Planungsbüros und Anwendungstechnikern der SGS Hersteller erstellt.

Eine Auflistung von Universitäten und Hochschulen, an denen ich bei Forschungsvorhaben mitwirken durfte, zeigt, wie umfassend der Leichtbaustoff und dessen speziellen Eigenschaften untersucht und geprüft wurden.

BTU Cottbus, TU Clausthal, Uni Innsbruck, Uni Wien, Bergakademie Freiberg, TU Dortmund, TU Dresden, HTWK Leipzig. Auch in der Schweiz, Italien, den Niederlanden, Norwegen, Schweden waren und sind Experten in der Forschung aktiv.

### Herstellung von Schaumglasschotter

Schaumglasschotter wird kontrolliert in einem kontinuierlichen, thermochemischen Prozess mit gemahlenem Altglas ( 96-98%) als Rohstoff hergestellt und zählt deshalb auch zu den **Upcycling-Baustoffen**. Beim Verlassen des Ofens bricht das Schaumglas aufgrund thermischer Spannungen beim raschen Abkühlen in unterschiedlich große Einzelkörner von 30 bis zu 100 mm Korndurchmesser.

In der Praxis werden zwei Herstellungsverfahren unterschieden, die Trocken- und Nassschäum-Technologie. Der Unterschied zwischen den beiden Technologien besteht im Einsatz unterschiedlicher Schäummittel (Aktivatoren) und deren Aggregatzustand (fest bzw. flüssig).

Beide sind grundsätzlich für den Einsatz im Erdbau des Straßenbaus geeignet...

## Herstellung und Strukturen von Schaumglasschotter



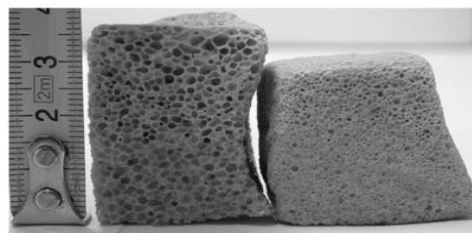
Aufgeben des Glasmehls am Tunnelofen



Schaumglasschotterplatte am Tunnelende



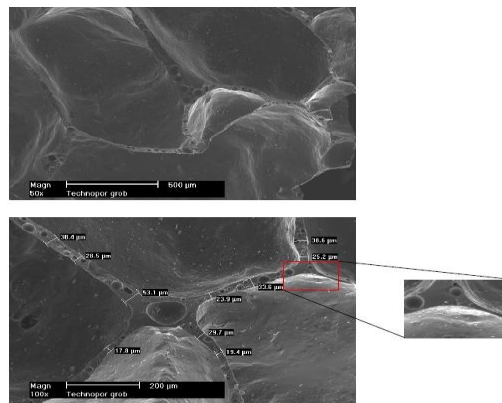
Brechen der SGS Brocken zur Schüttung



Grobporige (l.), feinporige (r.) Einzelkörner



Axiale Druckfestigkeit 1500 – 4000 KN/m<sup>2</sup>



Zellstruktur unter dem Rasterelektronenmikroskop, analog dem menschlichen Knochenaufbau

## Eigenschaften von Schaumglasschotter

Die Materialeigenschaften von Schaumglasschüttungen hängen von den Eigenschaften der jeweilig zugrunde liegenden Schaumglasbrocken und damit der verschiedenen verwendeten Rohstoffe sowie der Herstellungsprozesse ab. Wegen des größeren Porenraums in der Schüttung werden Schaumglas körnungen mit möglichst gleichförmiger Korngrößenverteilung verwendet, im Verkehrswegebau üblicherweise Schaumglasschüttungen der Korngrößen 8 mm bis 63 mm.

Der Hohlraumgehalt der Schaumglasschüttung (Haufwerksporen) beträgt üblicherweise mehr als 35 %. Nach dem Verdichten einer Einbaulage liegt der Hohlraumgehalt bei ca. 25 %.

Die Wasserdurchlässigkeit nach DIN 18130-1 für übliche Schaumglasschüttungen liegt in einer Größenordnung von  $k_f > 5 \cdot 10^{-3}$  m/s und entspricht damit der Durchlässigkeit von grobem Kies.

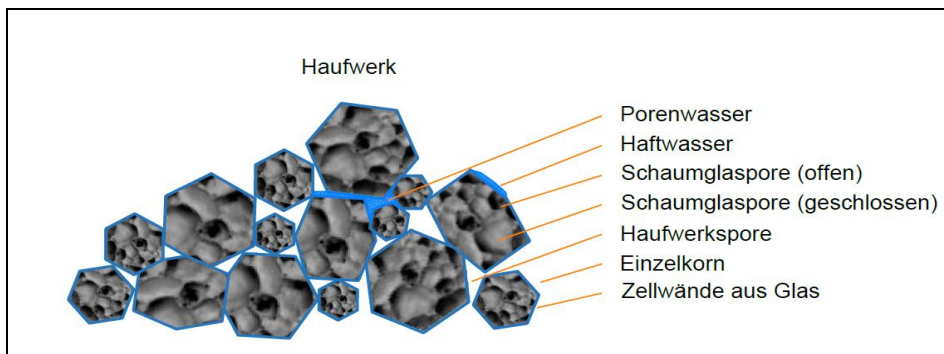
Das kapillare Saugvermögen, auch das des Feinkornes, ist vernachlässigbar. Schaumglasschüttungen sind bei entsprechender Korngrößenverteilung und Entwässerung frostbeständig. Sie sind recycelbar und grundsätzlich wiederverwendbar.

### Schaumglasschüttungen weisen folgende Eigenschaften auf:

- gering verformbar bei hoher Tragfähigkeit, wenig belastend aufgrund des geringen Gewichtes,
- geringe absolute Gewichtszunahme durch Wasseraufnahme (da „geschlossenzellig“), starke Wasserdurchlässigkeit,
- wärmedämmend und frostbeständig,
- unverrottbar, nicht brennbar,
- hohe chemische Beständigkeit gegenüber organischen und anorganischen Säuren / Basen,
- beständig gegen Tierbefall (Verbiss).

### mechanischen Eigenschaften von Schaumglasschüttungen

- die Form der Körner (Kantenform und deren Gleichförmigkeit),
- die Kornrohichte, die Kornfestigkeit / Zellstruktur,
- die Korngrößenverteilung,
- den Winkel der inneren Reibung des Haufwerks,
- die Wasseraufnahme



Wasserzugänglicher und wasserunzugänglicher Porenraum von Schaumglasschüttungen

Schaumglasschüttungen können im Straßenunterbau und Untergrund beispielsweise bei folgenden Bauvorhaben verwendet werden:

- beim Hinterfüllen von Bauwerken, bei der Verbreiterung und Erhöhung von Dämmen,
- beim Bau von Dämmen und Schutzwällen,
- bei der Entlastung des Untergrundes an bestehenden Verkehrswegen zur Sanierung von Setzungsschäden und weiteren Anwendungsmöglichkeiten.

### Verwendung von Leichtbaustoffen im Erdbau

Boden ist schwer. Die hohe Masse bedingt häufig hohe konstruktive Aufwendungen, beispielsweise beim Bau von Stützbauwerken und Dämmen in Gebieten mit gering tragfähigem Baugrund, für Überschüttungen oder Baumaßnahmen in Rutschgebieten.

Die Auflast der Überschüttung unterirdischer Bauwerke wird bei Verwendung von Schaumglasschotter auf ca. 15 % des Betrages üblicher Erdbaustoffe, wie Sand und Kies, reduziert. Die geringere Auflast kommt der sparsamer Dimensionierung des Bauwerks und vor allem auch seiner Gründung zugute. Entsprechend niedriger fallen auch die Setzungen der Massivkonstruktionen aus. Werden Erdbaustoffe zur Hinterfüllung von Hochbauwerken oder Stützkonstruktionen verwendet, erfolgt eine drastische Reduzierung des Erddrucks auf die Konstruktion.

## Beispiel zum Vergleich des aktiven Erddrucks bei Anwendung von SGS

Bauwerk:	Schwerkgestützmauer, gestütztes Gelände eben $\beta = 0$ Höhe $h = 5$ m, Rückseite senkrecht $\alpha = 0^\circ$ , kein Grundwasser
Erddruckansatz:	aktiv
Hinterfüllung 1:	Kies, Wichte $\gamma = 22$ kN/m <sup>3</sup> , Reibungswinkel $\varphi = 35^\circ$ ; Kohäsion $c' = 0$ kN/m <sup>3</sup> ; Wandreibungswinkel $\delta_a$ : $2/3 \varphi = 23,3^\circ$ ; Erddruckbeiwert $K_{agh} = 0,2244$
alternativ	
Hinterfüllung 2:	Schaumglasschüttung: Wichte $\gamma = 3$ kN/m <sup>3</sup> , Reibungswinkel $\varphi = 40^\circ$ ; Kohäsion $c' = 0$ kN/m <sup>3</sup> ; Wandreibungswinkel $\delta_a$ : $2/3 \varphi = 26,7^\circ$ ; Erddruckbeiwert $K_{agh} = 0,1786$
Horizontaler Erddruck:	
$E_{agh}$	$= 0,5 \times \gamma \times h^2 \times K_{agh}$
$E_{agh}$ (Kies)	$= 0,5 \times 22 \times 5,0^2 \times 0,2244 = 61,7$ kN/m
$E_{agh}$ (Schaumglas)	$= 0,5 \times 3 \times 5,0^2 \times 0,1786 = 6,7$ kN/m
Vertikaler Anteil:	
$E_{agv}$	$= E_{agh} \times \tan \delta_a$
$E_{agv}$ (Kies)	$= 61,7 \times \tan 23,3^\circ = 26,6$ kN/m
$E_{agv}$ (Schaumglas)	$= 6,7 \times \tan 26,7^\circ = 3,4$ kN/m
Resultierender Erddruck:	
$E_{ag}$	$= E_{agh} / \cos \delta_a$
$E_{ag}$ (Kies)	$= 61,7 / \cos 23,3^\circ = 67,2$ kN/m
$E_{ag}$ (Schaumglas)	$= 6,7 / \cos 26,7^\circ = 7,5$ kN/m

Man erkennt wie wirksam der Erddruck durch die Verwendung des SGS Leichtbaustoffs reduziert wird. Während die Kieshinterfüllung mit 67,2 kN/m auf das Stützbauelement drückt, sind es bei einer Schüttung aus SGS nur noch 7,5 kN/m. Dies entspricht in diesem Fall einer Reduzierung des Erddrucks um 89 %.

Der drastisch reduzierte Erddruck erlaubt schlankere Konstruktionen und reduziert die Aufwendungen für die Gründung. Erhebliche Optimierungen sind hier insbesondere auch bei Brückenwiderlagern in Bereichen mit eingeschränkt tragfähigem Baugrund möglich. Bei entsprechender Konzeption besteht der Vorteil von Hinterfüllungen sowie eventuell auch der anschließenden Brückenrampen aus Leichtbaustoffen nicht nur in der wirtschaftlicheren Ausführung der Gründung und der aufgehenden Konstruktion, sondern auch in einer Reduzierung der Setzungsdifferenzen zwischen Bauwerk und Rampe. Zudem fallen Mitnahmesetzungen benachbarter Bauwerke geringer aus.

Ein weites Anwendungsspektrum ergibt sich bei der Ausführung von Straßendämmen mit Kern aus SGS Leichtbaustoffen. Es reduziert die Absolutsetzung und verbessert die Sicherheit gegen Böschungs- und Grundbruch. Damit sinkt auch der Aufwand für Maßnahmen zur Stabilisierung und / oder der Dränung des Untergrunds.

Entsprechend können Straßendämme aufgehört oder verbreitert werden, ohne die Lasteinwirkung auf den Untergrund zu erhöhen. Dies ist in kritischen Standsicherheitssituationen erforderlich und verhindert eine weitere Setzungsphase, was gleichzeitig angrenzende oder nahe gelegene Bauwerke im Einwirkungsbereich der Setzungen schont.

## Bauvorhaben mit Schaumglasschotter an einer Brückenrampe

In Bremerhaven wurde beim Neubau einer Verbindungsbrücke zum Osthafen zur Entlastung eines Widerlagers eine Schaumglas-Schüttung (Glasschaum-Granulat) als Leichtbaustoff geplant und erfolgreich eingebaut. Der mehrlagig Einbau mit einer Gesamtdicke von über 2,40 m konnte in sehr kurzer Zeit durchgeführt werden. Die insgesamt 650 m<sup>3</sup> wurden mit nur 7 Sattelzügen a. 92 m<sup>3</sup> angeliefert und innerhalb von 2 Tagen eingebaut. Die Verteilung der sechs, ca. 40 cm dicken Schüttlagen erfolgte mit einem Kompaktlader (Bobcat T 250) unter Verwendung einer großen Ladeschaufel. Die Verdichtung der einzelnen Schüttlagen erfolgte ebenfalls mit dem Kompaktlader.



Transport, Anlieferung mit 92 m<sup>3</sup> Sattelzug



Verteilung mit Kompaktlader 2,5 m<sup>3</sup> Schaufel



Verdichtung mit Kompaktlader und 2,5 m breiter Anbauverdichterplatte, Fertigstellung in 2 Tagen

## Bautechnische Grundsätze

Schaumglasschüttungen sind einfach und in großen Mengen transportierbar, leicht und auch gezielt zu verteilen. Außerdem lassen sie sich optimal verdichten. Dabei werden die herstellungsbedingten, thermischen Spannungsrisse idealerweise vollständig aufgebrochen. Die gebrochenen, porösen Körner verzahnen und verkrallen sich beim Verdichten und bilden durch die Reibung der rauen Oberfläche im Haufwerk eine tragfähige und kraftschlüssige Struktur.

Grundsätzlich ist eine Schaumglasschüttung zur sicheren Trennung von den angrenzenden Erdstoffen vollständig mit einem geeigneten Geokunststoff zu umhüllen. Übergänge von Schaumglasschüttungen zu Schüttungen aus natürlichen Dammbaustoffen sollten in Längsrichtung des Bauwerkes keilförmig mit ausreichend flacher Neigung ausgebildet werden.

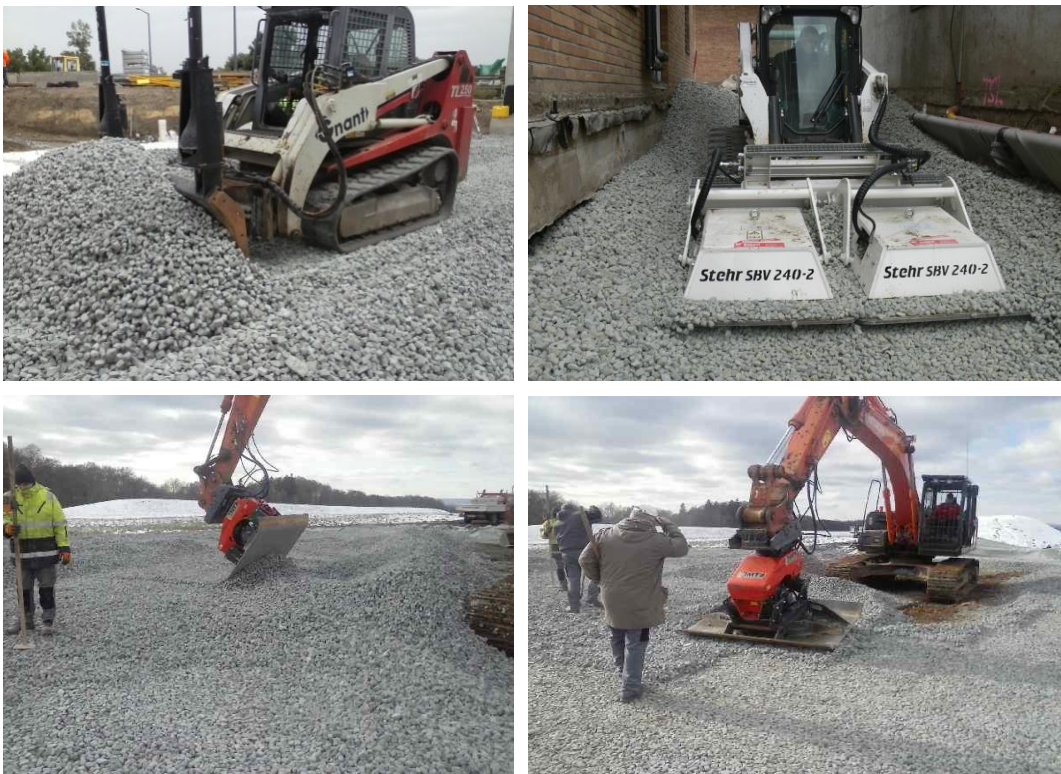
Vor dem Einbau von Schaumglasschüttungen ist ein Geotextil als Trennschicht zu verlegen. Das Geotextil ist so zu bemessen, dass die Filterstabilität zum angrenzenden Erdstoff und eine ausreichende Geotextil-Robustheitsklasse gegeben sind. Damit wird verhindert, dass die angrenzenden Erdstoffe durch zyklische oder dynamische Belastung sowie durch Wasserbewegungen in die Haufwerksporen der Schaumglasschüttungen eindringen. Die Böschungsfüße der Schaumglasschüttung sollten beim Einbau durch seitliche Stützwälle gesichert werden.



Stützwälle bei der Herstellung einer Schaumglasschüttung

Die Schaumglasschüttung wird lagenweise in verdichteten Schichtstärken bis 0,5 m eingebaut. Die Mindestdicke beträgt üblicherweise 0,2 m. Der Einbau erfolgt durch Abkippen (erforderlichenfalls vor Kopf) und durch anschließendes Verteilen mit Erdbaugeräten. Die verdichtete Schaumglasschüttung kann mit Raupenfahrwerken befahren werden. Bei Beanspruchung der verdichteten Schicht, z.B. durch LKW ist eine Stabilisierung der Fahrspur („stabilisierende“ mineralische Zwischenschicht) zu empfehlen oder eine seitliche Andienung vorzusehen. läche des SGS

Idealerweise wird die Schaumglasschüttung möglichst mit großflächigen Anbauplatten verdichtet



Die Schaumglasschüttung wird mit 30% Überhöhung eingebaut und durch maschinelles Verdichten auf das Endmaß gebracht. Anbauplattenverdichter für Kompaktraupen, Anbauplattenverdichter für Bagger.

## Neue Erkenntnisse bei der Verdichtung

Mit den Firmen Bomag, Stehr, MTS wurden in den letzten Jahren Verdichtungstechnologien mit handgeführten 100 kg schweren Rüttelplatte entwickelt, aber auch mit Anbaugeräten an Baggern, oder Kompaktraupen die für große Flächen mit hohen Einbauleistungen geeignet sind. Es können damit von 2000 m<sup>2</sup> bis zu 4000 m<sup>2</sup> Tagesleistung erreicht werden.

Das effektive Verdichten des SGS spielt beim Materialverbrauch und zum Erreichen der geforderten Steifigkeit eine wichtige Rolle. Mit der optimalen Einbautechnologie kann man die Einbaukosten erheblich senken und spart kostbare Zeit.

Beim Verdichten wirken verschiedene Prozesse, die Kornzerkleinerung an den Sollbruchstellen, das Verzahnen der Brocken untereinander und der Aufbau eines tragfähigen Korngerüsts.

Erfahrungen zeigen, dass die Verdichtung das A&O ist, deshalb ist es sinnvoll bei großen Bauvorhaben ein Versuchsfeld anzulegen, die bauvorhabenbezogene Technologie zu definieren.

Hinweis: verdichtet man zu stark, dann wird das verdichtete Volumen geringer, es fehlt Material, verdichtet man zu oft, lockert sich das Gefüge und die Kanten der SGS Brocken werden „rund“. Das Haufwerk entspannte sich, es wird keine ausreichend Steifigkeit erreicht.

Im Forschungsvorhaben an der TU Wien wurden in Vorbereitung des Autobahnknotens am Prater Versuche zum Prüfen einer erreichten, geforderten Steifigkeit durchgeführt. Dabei wurde das Prüfverfahren mit der dynam. Fallplatte als geeignete Nachweismethode definiert.

Mit der Firma Zorn wurden an der TU Freiberg und auf Feldversuchen die speziellen Eigenschaften des SGS untersucht. Aktuell gibt es Vorbereitungen bei der Erstellung einer Anwendungsvorschrift auf dem SGS und einer dem SGS konformen Auswertung.

## Neue Erkenntnisse bei der Anwendung im Bereich Hoch- und Tiefbau

Die Betrachtung der SGS erfolgt in den letzten Jahren nicht mehr nur unter dem Aspekt eines Dämmstoffes, sondern als Gründungspolstern mit einem Leichtbaustoff, der mit seinen umfassenden Eigenschaften, völlig neue und effektivere Anwendungen im Gründungsbereich ermöglicht. Es stellt ein mit einem künstlich hergestellten Leichtbaustoff (Gesteinskörnung) in einem Geotextil, wenn notwendig mit einem Geogitter bewehrt, eingepackten definierten Baugrund dar. Aktuell wird die Kombination von Rüttelstopfsäulen, Bohrpfählen, Geokunststoffen und dem Schaumglasschotter untersucht.

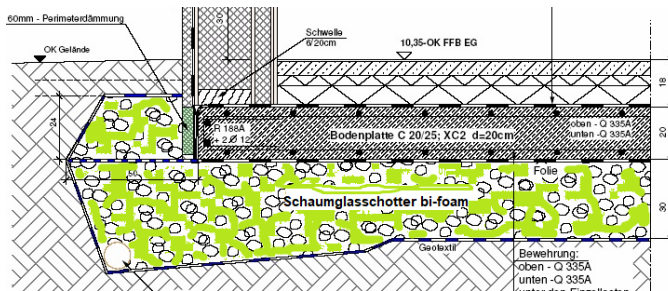




## Das Bauteil „Bodenplatte“ im Zusammenwirken mit dem Gründungspolster

Das Bauteil Bodenplatte mit den Systembestandteilen, beginnt direkt auf dem Baugrund und wird mit den weiteren Trag- und Dämmschichten je nach den Anforderungen aufgebaut

Tragfähigkeit, frostsicher, wasserableitend, kapillarbrechende Schicht,  
Dämmschicht die optimiert werden kann, Sauberkeitsschicht für Unterleisten der Bewehrung,  
mögliche Bauteiltemperierung der Bodenplatte mit geplanten Nutzschichten.

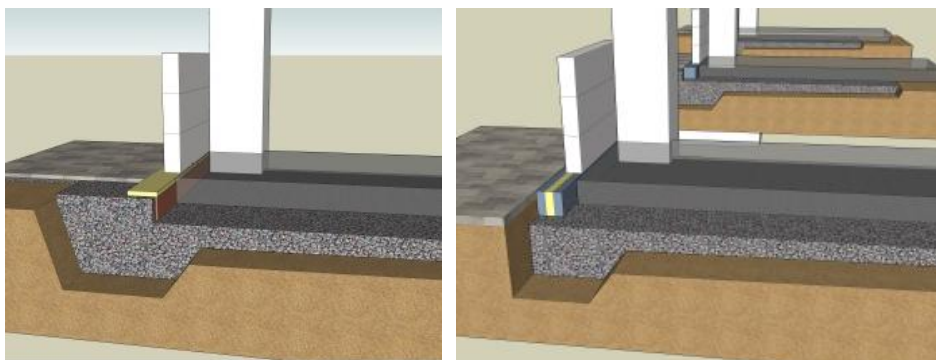


Eine optimierte, temperierte, bewehrte Bodenplatte auf einem frostsicheren gedämmten und kapillarbrechenden Gründungspolster, welches auch als Drainage wirkt.

**Der aktuelle Stand der Technik.** Das Institut für Umweltenergie (IFU) definiert das Bauteil Bodenplatte auf einem SGS Gründungspolster als eine **optimierte Systemlösung** wie folgt.

Ein geotechnisch geplantes Gründungspolster, mit einer statisch, als elastisch gebettete Bodenplatte berechnet und bauphysikalisch optimierten Schaumglasschotter Dämmung als obere Schicht des Gründungspolsters unter der Bodenplatte.

Mit Einsatz von SGS wird ein frostsicheres Gründungspolster ohne Streifenfundamente geplant.



SGS Gründungspolster im Randbereich eines Hallenbauwerks in Riegel Stützen Konstruktion, der SGS wird als Frostschild, Drainagegraben und Tragschicht geplant, so dass die Sockelwandkonstruktion, wärmebrückenfrei direkt auf dem SGS eingebaut werden kann.

## Das SGS Gründungspolster als Grundlage für die SGS Systemlösung.

Das System ist eine optimierte, temperierte, stahlfaserbewehrte Bodenplatte mit einer Nutzschicht für höchste Ansprüche, auf einem frostsicheren Gründungspolster, welches neben der dämmenden und drainierenden Eigenschaft, bei Erfordernis auch die Tragfähigkeit des Baugrunds verbessern kann, und den unter dem Bauwerk liegenden Wärmespeicher vor Energieverlusten im Randbereich schützt. In Verbindung mit Komponenten der Haustechnik ( Wärmepumpe ) werden Heizung/Kühlung des Gebäudes sowie die Energiespeicherung möglich.



## Erfolgreich realisierte Bauvorhaben mit dem SGS Gründungspolster



Schulgebäude in Frankfurt im Passivhausstandart auf 40 cm SGS Gründungspolster, optimiert, fachgerecht eingebaut



Nachweis der erreichten Steifigkeit durch statische und dynamische Lastplatte



Feuerwehrgebäude in Frankfurt im Passivhausstandart auf 60 cm SGS Gründungspolster, optimiert



Sportzentrum Hannover 30 cm SGS Gründungspolster Krankenhaus Gera 30 cm SGS Gründungspolster

## Literatur und Quellen

Prof. Adam und Dr. Steurer Uni Wien  
Grundlagenforschung Glasschaumschüttungen als lastabtragender und wärmedämmender Baustoff

Prof. Kudla Bergakademie Freiberg  
Untersuchungen an Glasschau-Granulat als Baustoff

Dr. Dietrich ABDSB München, Dr. Gold Crystal Geotechnik Utting,  
Leichtbaustoff Glasschaumgranulat Einsatz an der BAB A 8 bei Bernau am Chiemsee.

Geotechnik Erberlein Bad Aibling  
Herstellung von Probefeldern für den Einbau von Glasschaum-Granulat – Westtangente Rosenheim

Prof. Wilms und Dr. Hellinger TU Dortmund,  
Energieeffizientes Bauen durch bauphysikalische Detailplanung mit Fokus auf SGS Gründungspolster

Dipl.-Geologin U.Nohlen MTS Maschinentechnik Schrode AG  
Einsatzbericht zur Anwendung von MTS Verdichtern auf SGS

K. Rönnebeck ZORN INSTRUMENTS Stendal  
Untersuchung der Kornfestigkeit mit Hilfe des dynamischen und statischen CBR Versuches zur Ermittlung einer optimalen Verdichtungsarbeit auf dem SGS

Masterarbeit F. Stopp an der HTWK Leipzig  
Schaumglasschotter als innovatives Gründungspolster unter Bodenplatten

Dr. Lehnert AK 5.8 der FGSV  
Merkblatt über die Verwendung von Schaumglas als Leichtbaustoff im Erdbau des Straßenbaus

Dr. Hart Neuwied, Dipl.-Ing. Weiß Chemnitz  
Leichtigkeit in der Geotechnik – Fachbeitrag zum Schaumglasschotter

Institut für Umweltenergie Bad Emstal  
Gründungspolster mit Schaumglasschotter

FRANZ ROTTNER bi-foam Schaumglas GmbH Oranienbaum-Wörlitz  
Herstellung von Schaumglasschotter

Fotos und Zeichnungen Dipl.-Ing. Weiß Chemnitz