

Leichtigkeit in der Geotechnik Zur Verwendung von Leichtbaustoffen im Erdbau

Dr. Rainer Hart, Neuwied
Dipl.-Ing. Holger Weiß, Chemnitz

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.

Mit Leichtbaustoffen wie Schaumglas, Blähton und EPS kann die Masse drastisch reduziert werden. Das reduziert den bautechnischen Aufwand erheblich und ermöglicht in manchen Fällen erst sinnvolle geotechnische Konstruktionen.

Gängige Leichtbaustoffe für die Geotechnik

Blähton

Blähton wird aus kalkarmen Tonen mit organischen Anteilen, meist Tonen des geologischen Zeitalters Tertiär, durch Mahlen, Granulieren und anschließendem Brennen bei ca. 1200 °C hergestellt. Das durch die Verbrennung der organischen Substanz entstehende Kohlendioxid bläht die Tonpellets auf das vier- bis fünffache Volumen auf, wobei im Inneren z. T. geschlossene Poren entstehen. Die Sinterung bei der hohen Temperatur macht das Material frostbeständig. Konstruktiv und statisch gilt zu beachten, dass Blähton große Wassermengen in seinem Porenraum aufnehmen kann und dadurch schwerer wird.

Für den Erdbau wird Blähton aus der Nassaufbereitung gewählt, der wegen seiner rauen Oberfläche einen hohen Reibungswinkel aufweist. Geliefert wird er üblicherweise in Fraktionen von 4 mm bis 25 mm Durchmesser. Für Blähton gilt in Deutschland DIN EN 13055-2 „Leichte Gesteinskörnungen, Teil 2: Leichte Gesteinskörnungen für Asphalte und Oberflächenbehandlungen sowie für gebundene und ungebundene Verwendung“. Hinweise zum Einsatz gibt die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen mit dem „Merkblatt über die Verwendung von Blähton als Leichtbaustoff im Erdbau des Straßenbaus“ (FGSV 2012a).

Schaumglas

Schaumglas-Schüttungen werden industriell in einem thermochemischen Prozess hergestellt. Es gibt zwei unterschiedliche Herstellungsverfahren, die „Trockentechnologie“ und die „Nasstechnologie“. Ausgangsmaterial für die Herstellung bei der „Trockentechnologie“ ist 98 % Altglas. Dieses wird vorsortiert, gebrochen und durchläuft einen mehrstufigen Trennungs- und Zerkleinerungsprozess. Anschließend wird es in einer Kugelmühle zu Glasmehl zermahlen. Im Mischer erfolgt das Zumischen von rund 2 % eines mineralischen Aktivators (im Trockenverfahren, z. B. Siliziumcarbid). In den beheizten Tunnelöfen findet das Aufschäumen und Versintern des Glasmehls bei Temperaturen um 900°C statt. Den Ofen verlässt eine noch über 300 °C heiße Schaumglasplatte. Durch eine rasche Abkühlung entstehen Spannungsrisse, diese lassen die Platte in 5 bis 6 cm große Stücke, die „Schaumglas-Schüttung“ zerfallen. Schaumglas wird als geschlossenzelliges Material hergestellt, die Wasseraufnahme liegt daher weit unter 10 M.-%. Es ist chemisch inert, nicht brennbar und wird von Lösemitteln nicht angegriffen.

Das Schüttgewicht des für den Straßenbau geeigneten Materials liegt bei 170 bis 210 kg/m³, die Dichte der eingebauten und verdichteten Schaumglas Schüttungen bei 220 bis 275 kg/m³.

Für den Einsatz von Schaumglas-Schüttungen im Erdbau liegt aktuell ein Merkblatt vor.

EPS

EPS wird durch Aufschäumen aus dem Kunststoff Polystyrol oder einem seiner Co-Polymere industriell hergestellt. Es ist unter dem Handelsnamen Styropor[®] bekannter. Für die geotechnische Anwendung werden quaderförmige Blöcke geliefert und entsprechend der Druckspannung bei 10 % Stauchung mit Werten zwischen 50 kPa bis 200 kPa klassifiziert. Dimensioniert wird auf 30 % des angegebenen Druckspannungswertes für 10% Stauchung. Die Rohdichten nehmen mit der Druckspannungsklasse zu und liegen nur zwischen ca. 15 kg/m³ und 30 kg/m³. Hinweise zum Einsatz enthält das „Merkblatt über die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen als Leichtbaustoff im Erdbau des Straßenbaus“ (FGSV 2012b).

Bodenmechanische Kennwerte der Leichtbaustoffe

Blähton und Schaumglas sind nicht nur deutlich leichter als natürliche Erdbaustoffe, sondern weisen auch höhere Reibungswinkel als die meisten Erdbaustoffe auf, was den Erddruck reduziert und ggf. auch steilere Böschungen erlaubt. Einige bodenmechanische Kennwerte zur Vorbemessung sind in der folgenden Tabelle gegenüber gestellt:

Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte von Blähton, Schaumglas und EPS

Leichtbaustoff	Wichte eingebaut γ [kN/m ³]	Reibungswinkel φ_k [°]	Kohäsion c'_k [kN/m ²]	Scherfestigkeit T_f [kN/m ²]	Druckspannung bei 10 % Stauchung σ_{10} [kN/m ²]	Dauerdruckbelastung Stauchung < 2 % [kN/m ²]
Blähton	(2,5 – 4) ¹⁾⁴⁾	37,5 ¹⁾	0			
Schaumglas-schüttung	1,9 – 2,8 ³⁾	40 ³⁾	0	30 % d. Druckspannung; Peak-Scherfestigkeit: 197 bei 200 kN/m ²	560 ($f_{c,Nenn}$)	270 (f_{cd})
EPS						
EPS 50	~ 0,15 ²⁾			35 ²⁾	50 ²⁾	15 ²⁾
EPS 100	~ 0,20 ²⁾			75 ²⁾	100 ²⁾	30 ²⁾
EPS 200	~ 0,30 ²⁾			125 ²⁾	200 ²⁾	60 ²⁾

- 1) FGSV 2012a
- 2) FGSV 2012b
- 3) Herstellerangabe Technopor
- 4) Wasseraufnahme ist zusätzlich zu berücksichtigen

Für statische Nachweise sind die jeweiligen Herstellerangaben heranzuziehen. Insbesondere für Objekte der geotechnischen Kategorie GK 3 sind die Werte in der Regel labortechnisch abzusichern.

Anwendung

Die Auflast der Überschüttung unterirdischer Bauwerke kann mit der Verwendung von Schaumglas auf ca. 15 %, bei EPS auf 1 % des Betrages üblicher Erdbaustoffe, wie Sand und Kies, reduziert werden (Abb. 1). Die Schüttdichte von Blähton liegt bei ca. 12 % - 20 % von Sand- und Kiesschüttungen, jedoch ist zusätzlich eine Wasseraufnahme zu berücksichtigen (FGSV 2012a).

Die geringere Auflast kommt einer sparsamen Dimensionierung des unterirdischen 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, wie folgende Beispielrechnung für den aktiven Erddruck zeigt:

Beispiel:

Bauwerk:	Schwerkheitsstützmauer, 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 ³ , Reibungswinkel $\varphi = 35^\circ$; Kohäsion $c' = 0$ kN/m ² ; Wandreibungswinkel $\delta_a: 2/3 \varphi = 23,3^\circ$, Erddruckbeiwert $K_{agh} = 0,2244$
alternativ Hinterfüllung 2:	Schaumglasschüttung: Wichte $\gamma = 3$ kN/m ³ , Reibungswinkel $\varphi = 40^\circ$; Kohäsion $c' = 0$ kN/m ² ; 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

Dieses Beispiel zeigt, wie wirksam der Erddruck durch die Verwendung eines Leichtbaustoffs reduziert werden kann. Während die Kieshinterfüllung mit 67,2 kN/m auf das Stützbauwerk drückt, sind es bei einer Schüttung aus Schaumglas 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 (Abbildung 2).

Vom Einsatz einer Schaumglasschüttung zur Reduzierung von Setzungsdifferenzen zwischen einem Brückenwiderlager und einer hohen Dammschüttung der Bundesautobahn A 8 auf gering tragfähigem Baugrund berichten GOLD, G. & Dietrich, M. (2012). Die Einbauposition ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Möglichkeiten der Geländemodellierung mit natürlichen Erdbaustoffen sind in Hanglagen wegen der großen Masse oft durch die Hangstabilität eingeschränkt. Mit Hilfe von Leichtbaustoffen kann ein masseneutraler Geländeauftrag erfolgen, indem ein Teil des natürlichen Baugrunds abgetragen und durch den Leichtbaustoff ersetzt wird, anschließend der Geländeauftrag ebenfalls mit dem Leichtbaustoff erfolgt. Schaumglas-Schüttungen wurden im Hochgebirge bereits im Big Bag per Hubschrauber befördert.

Dr. Rainer Hart
ö.b.u.v. Sachverständiger für Geotechnik
(Ingenieurkammer Rheinland-Pfalz)
Engerser Landstraße 38 56170 Bendorf
E-Mail: hart@ConsultantHart.com

Dipl.-Ing. Holger Weiß
Mitwirkung an Forschungsprojekten der Uni Innsbruck,
der TU Freiberg und im AK 5.8 der FGSV
Am Beutenberg 15a 09128 Chemnitz
E-Mail: weiss@sgsb.de