Zur Verwendung von Leichtbaustoffen im Erdbau:

Leichtigkeit in der Geotechnik

von Dr. Rainer Hart*, Dipl.-Ing. Holger Weiß**

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 verringert den bautechnischen Aufwand erheblich und ermöglicht in manchen Fällen erst sinnvolle geotechnische Konstruktionen.

Die gängigen Leichtbaustoffe für die Geotechnik sind:

Blähton

Blähton wird aus kalkarmen Tonen mit organischen Anteilen, meist Tonen des geologischen Zeitalters Tertiär, durch Mahlen, Granulieren und anschließendes Brennen bei ca. 1.200 °C hergestellt. Das durch die Verbrennung der organischen Substanz entstehende Kohlendioxid bläht die Tonpellets auf das vier- bis fünffache Volumen auf, wobei im Inneren zum Teil geschlossene Poren entstehen. Die Sinterung infolge 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 die Zumischung 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. Sie 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 beträgt 220 bis 275 kg/m³. Für den Einsatz von Schaumglas-Schüttungen im Erdbau liegen noch keine Regelwerke vor.

EPS

EPS wird durch Aufschäumen aus dem Kunststoff Polystyrol oder einem seiner Co-Polymere industriell hergestellt. Es ist unter dem Handelsnamen Styropor bekannt. Für die geotechnische Anwendung werden quaderförmige Blöcke geliefert und entsprechend der Druckspannung bei 10% Stauchung mit Werten zwischen 50 kPa und 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

Leichtbaustoff	Wichte eingebaut γ [kN/m³]	Reibungswinkel φ' [°]	Kohäsion c'_k [kN/m²]	Scherfestigkeit τ_f [kN/m²]	Druckspannung bei 10% Stauchung $\sigma_{10} / f_{c,Nenn}$ [kN/m²]	Dauerdruckbelastung Stauchung < 2% σ_{cd} / f_{cd} [kN/m²]
Blähton	(2,5 - 4) 1)4)	>= 37,5 1)	0			
Schaumglas-Schüttung	1,9 - 2,8 3)	40 3)	0 3)	30 % der Druckspannung; τ_{max}= 200	560 3)	270 3)
EPS 50	~ 0,15 2)			35 2)6)	50 2)5)	15 2)6)
EPS 100	~ 0,20 2)			75 2)6)	100 2)5)	30 2)6)
EPS 200	~ 0,30 2)			125 2)6)	200 2)5)	60 2)6)

Tabelle 1: Bodenmechanische Kennwerte von Blähton, Schaumglas-Schüttung und EPS
1) FGSV 2012a
2) FGSV 2012b
3) Herstellerangabe Technopor
4) Wasseraufnahme ist zusätzlich zu berücksichtigen
5) Mindestwerte nach DIN EN 14933, Absch. 4.2.6
6) Richtwerte aus DIN EN14933, Anhang E (informativ)

*ö.b.u.v. Sachverständiger für Geotechnik, (Ingenieurkammer Rheinland-Pfalz), Bendorf.
**Mitwirkung im AK 5.8 der FGSV und an Forschungsprojekten der Uni Innsbruck sowie der TU Freiberg.

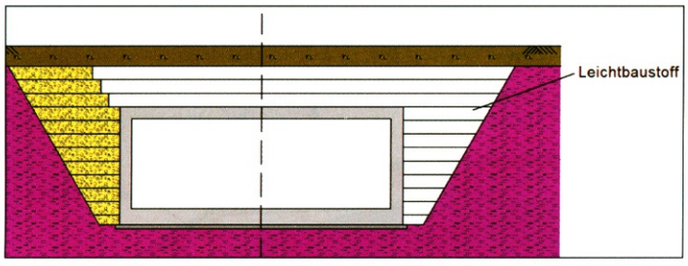

Abbildung 1: Reduzierung der Masse von Überschüttungen unterirdischer Bauwerke. Links: Reduzierung der Auflast (Leichtbaustoffe nur oberhalb des Bauwerkes). Rechts: Reduzierung von Auflast und Erddruck (Leichtbaustoffe über und neben dem Bauwerk).

Grafiken: Hart

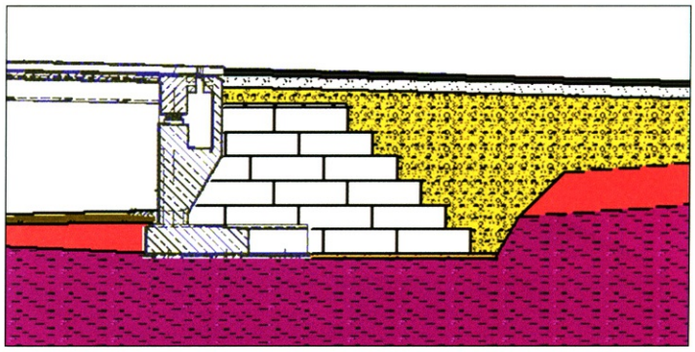

Abbildung 2: Reduzierung des Erddrucks auf ein Brückenwiderlager mit Leichtbaustoff

auch höhere Reibungswinkel als die meisten Erdbaustoffe auf, was den Erddruck reduziert und ggf. auch steilere Böschungen erlaubt. Maßgebende bodenmechanische Kennwerte zur Vorbemessung sind in Tabelle 1 gegenüber gestellt.
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 (Abbildung 1). Die Schüttdichte von Blähton liegt bei ca. 12 bis 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 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:

Bauwerk:

Schwergewichtsstützmauer,
gestütztes Gelände eben $\beta = 0$
Höhe h = 5 m,
Rückseite senkrecht $\alpha = 0°$,
kein Grundwasser

Erddruckansatz: aktiv

Hinterfüllung 1 (Kies):
Wichte $\gamma = 22$ kN/m³,
Reibungswinkel $\varphi = 35°$;
Kohäsion $c' = 0$ kN/m²;
Wandreibungswinkel δ_a: $2/3\ \varphi = 23{,}3°$,
Erddruckbeiwert $K_{agh} = 0{,}2244$

alternativ

Hinterfüllung 2 (Schaumglas-Schüttung):
Wichte $\gamma = 3$ kN/m³,
Reibungswinkel $\varphi = 40°$;
Kohäsion $c' = 0$ kN/m²;
Wandreibungswinkel δ_a: $2/3\ \varphi = 26{,}7°$;
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:

$E_{agv} = E_{agh} \times \tan \delta_a$
$E_{agv\ (Kies)} = 61{,}7 \times \tan 23{,}3° = 26{,}6$ kN/m
$E_{agv\ (Schaumglas)} = 6{,}7 \times \tan 26{,}7° = 3{,}4$ kN/m

Resultierender Erddruck:

$E_{ag} = E_{agh} / \cos \delta_a$
$E_{ag\ (Kies)} = 61{,}7 / \cos 23{,}3° = 67{,}2$ kN/m
$E_{ag\ (Schaumglas)} = 6{,}7 / \cos 26{,}7° = 7{,}5$ 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).

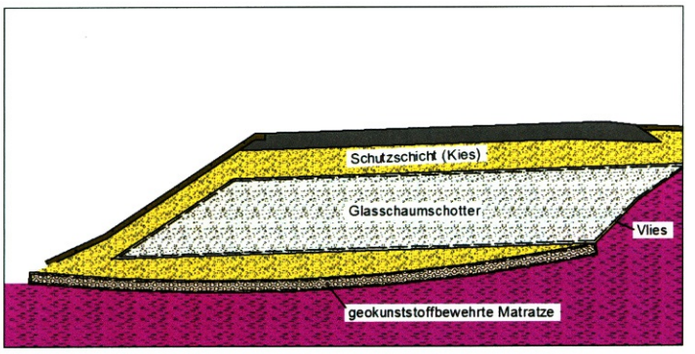

Abbildung 3: Reduzierung von Setzungen der Anrampung eines Brückenwiderlagers mittels Schaumglas nach Gold, G. & Dietrich, M. (2012)

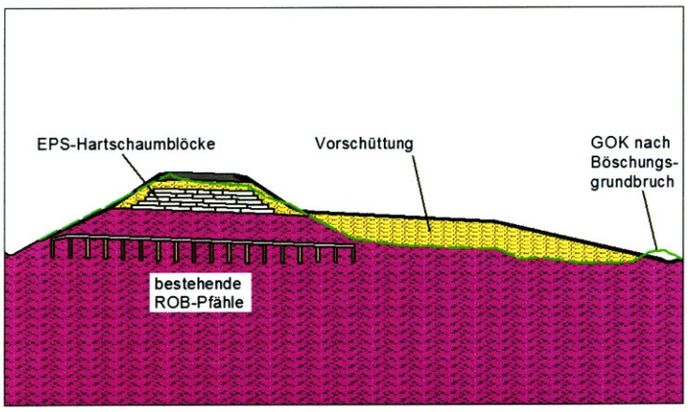

Abbildung 5: Sanierung eines Verkehrsdamms mittels EPS (nach Raithel et al., 2005)

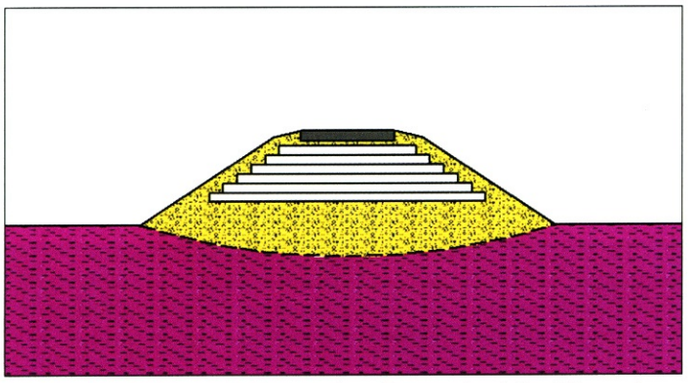

Abbildung 6: Massenreduzierung eines Damms durch Ausführung des Kerns mit Leichtbaustoff

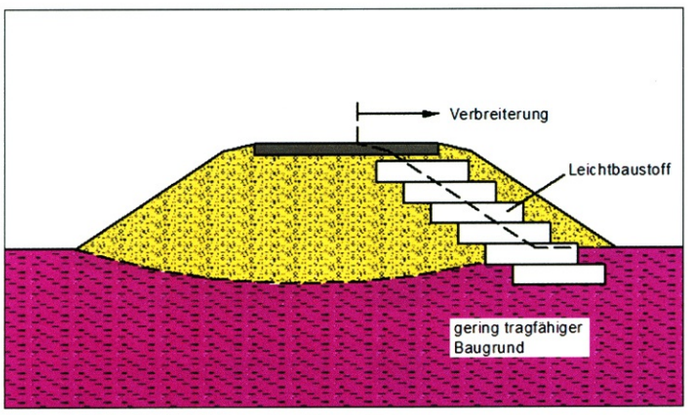

Abbildung 7: Massenneutrale Dammverbreiterung mit Leichtbaustoff

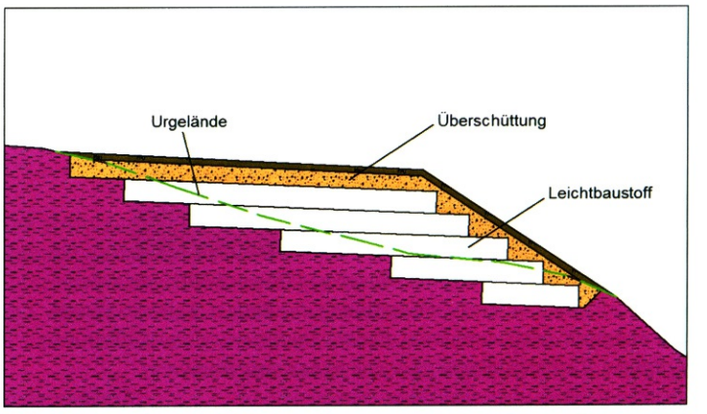

Abbildung 4: Verwendung von Leichtbaustoffen in Hanglagen

Vom Einsatz einer Schaumglas-Schüttung 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. Der anschließende Geländeauftrag erfolgt dann ebenfalls mit dem Leichtbaustoff (Abbildung 4). Bei der Verwendung von EPS kann der Geländeauftrag sogar in Bereichen erfolgen, die mit Transportfahrzeugen nicht erreichbar sind, da die leichten EPS-Blöcke manuell zum Einsatzort getragen werden können (Abbildung 9). Schaumglas-Schüttungen wurden im Hochgebirge bereits im Big Bag per Hubschrauber befördert.
Entsprechend ist oft auch eine Stabilisierung von Rutschungen möglich, indem im oberen, treibenden Bereich der Rutschung ein Bodenaustausch mit Leichtbaustoffen erfolgt. Über eine Maßnahme zur Hangstabilisierung eines abgängigen Verkehrsdammes berichten Raithel et al. 2005 (Abbildung 5).
Ein weites Anwendungsspektrum für Leichtbaustoffe ergibt sich bei der Herstellung von Erdbauwerken auf gering tragfähigem Baugrund (FGSV 2010). Die Ausführung von Straßendämmen mit Kern aus Leichtbaustoffen 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. Ein Anwendungsbeispiel ist der Bau der Internationalen Formel 1-Rennstrecke in Shanghai, beschrieben von Hart, R. et al. 2012 (Abbildung 8).
Entsprechend können Straßendämme aufgehöht 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 (Abbildungen 6 und 7). Weiterhin können infolge unplanmäßiger Setzungen geschädigte Dämme durch Rückbau und partiellen Ersatz des Dammkörpers durch Leichtbaustoffe saniert werden.

Zu beachtende Eigenschaften der verschiedenen Leichtbaustoffe

Die genannten Leichtbaustoffe sind leichter als Wasser und entwickeln daher unter Wasser Auftriebskräfte, die erdstatisch für den Endzustand, aber auch für die Bauzustände zu berücksichtigen sind. Ein Prognoseverfahren für bauzeitlich zu berücksichtigende Grundwasserstände ist in Hart, R. & Schopphoven, J. (2012) beschrieben.

Blähton

Bei Blähton muss die Wasseraufnahme durch Niederschlag, Bodenfeuchte und Grundwasser in der Bemessung berücksichtigt werden. Die im Versuch ermittelte Bandbreite der Wasseraufnahme beträgt 100 M.-% bis 130 M.-% (FGSV 2012a). Erhöhungsfaktoren für die Wichte infolge Wassereinwirkung sind im „Merkblatt über die Verwendung von Blähton als Leichtbaustoff im Erdbau des Straßenbaus"

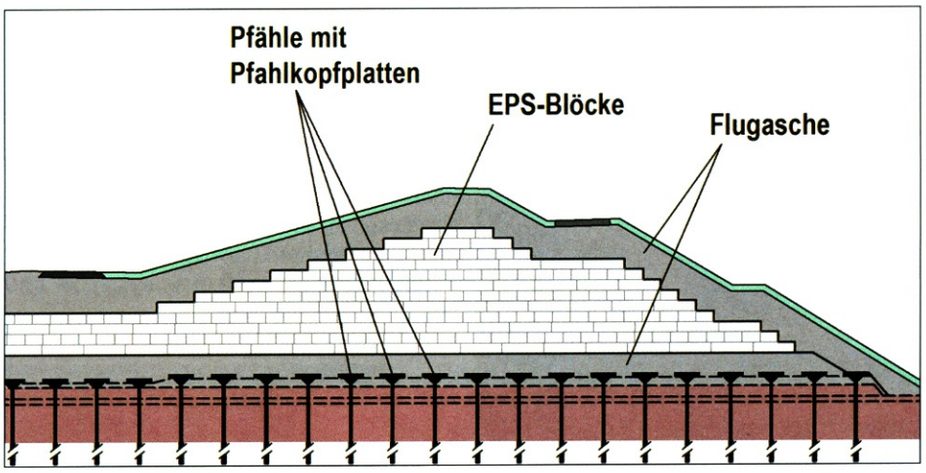

Abbildung 8: Konstruktionsschema der Gründungsmaßnahmen für die Dämme der Internationalen Rennstrecke Shanghai

(FGSV 2012a) enthalten. Der Einbau von Blähton erfolgt durch Einblasen oder Vorkopf-Schüttung und anschließendem Verteilen mit Erdbaugerät in Lagenstärken von 30 cm bis 80 cm. Die Verdichtung soll durch dreimaliges Überfahren der einzelnen Schüttlagen mit einer Planierraupe (Sohldruck < 50 kN/m²) erfolgen. Die Befahrbarkeit mit Radfahrzeugen ist erst nach Überschüttung des so eingebauten Blähtons mit mindestens 30 cm geeignetem und verdichtetem Erdbaustoff gegeben. FGSV 2012a gibt die notwendige Überschüttungshöhe in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung an.

Schaumglas-Schüttungen

Der Einbau von Schaumglas erfolgt mit Schüttlagen von ca. 30 cm bis 40 cm und anschließender lagenweiser Verdichtung mit geeigneten Flächenrüttelgeräten. Gold, G. & Dietrich, R. (2012) haben keine maßgebenden Setzungen der Schaumglas-Schüttung in ihrem Pilotprojekt an einem Brückenwiderlager der BAB A8 festgestellt.

EPS

Nach Herstellung der EPS-Blöcke ist innerhalb der ersten 150 Tage mit einem Restschwinden von 0,3% bis 0,5% der Kantenlänge zu rechnen. Auch EPS ist nicht unmittelbar überfahrbar. Der EPS-Körper ist entweder mit einer geotextilen Trennschicht GRK 3 abzudecken und mit mindestens 1,0 m Dammbaustoff zu überschütten, bevor der Straßenoberbau aufgebaut wird. Alternativ kann man ihn mit einer bewehrten Betonplatte schützen.

Anwendungsbeispiele

Beispiel 1: EPS. Der Bau der Internationalen Rennstrecke Shanghai in den Jahren 2002 bis 2004 erforderte die Errichtung von bis zu 12 m hohen Dämmen auf einer 30 m mächtigen Folge von Weichböden. Die Verkehrsdämme konnten nur dadurch realisiert werden, dass die Sohlspannung durch die Herstellung des Dammkerns aus EPS halbiert wurde (vergleiche Abbildung 1). Insgesamt wurden 343.000 m³ EPS aus Blöcken aufgeschichtet und mit Sand und kalkverbesserter Flugasche überschüttet, bevor der Straßenoberbau erfolgte (Abbildung 9). Durch Staffelung der ebenfalls notwendigen Gründungspfähle sowie Auskeilen der EPS-Körper in den Übergangsbereichen konnten die bis zu 30 cm großen Setzungen derart harmonisiert werden, dass keine Unebenheiten in der Fahrbahn entstanden (Hart, R. et al. 2013).

Beispiel 2: Schaumglas-Schüttung. 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 mehrlagige Einbau mit einer Gesamtdicke von über 2,40 m konnte

Abbildung 9: EPS-Blöcke können problemlos per Hand zum Einbauort verbracht und dort auf die Zielgröße angepasst werden. Foto: Tilke

Abbildung 10:
Transport und Verteilung des Glasschaum-Granulats mit einem Kompaktlader.
Foto: Weiß

in sehr kurzer Zeit durchgeführt werden. Die insgesamt 650 m³ wurden mit nur sieben Sattelzügen zu je 92 m³ angeliefert und innerhalb von zwei Tagen eingebaut. Die Verteilung der sechs ca. 40 cm dicken Schüttlagen erfolgte mit einem Kompaktlader (Bobcat T 250) unter Verwendung einer großen Ladeschaufel (Abbildung 10). Die Verdichtung der einzelnen Schüttlagen erfolgte mit einer Anbaurüttelplatte, Typ: Stehr SBV 55 H2, (Abbildung 11).

Ausblick

Leichtbaustoffe sind in der Geotechnik bislang eher wenig verbreitet. Die Erfahrungen und jüngsten Entwicklungen zeigen aber, dass mit diesen Baustoffen besondere, geotechnisch anspruchsvolle Aufgaben konstruktiv einfach, schnell und elegant gelöst werden können. Das Potenzial ist enorm, vorausgesetzt, die Materialien werden zielgerichtet und unter Berücksichtigung ihrer speziellen Eigenschaften eingesetzt.

Info

E-Mail: hart@ConsultantHart.com
E-Mail: weiss@sgsb.de

Literatur:

1) FGSV (2012a): Merkblatt über die Verwendung von Blähton als Leichtbaustoff im Erdbau des Straßenbaus. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: 556, 28 S., Köln (FGSV-Verlag).

2) FGSV (2012b): Merkblatt über die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen als Leichtbaustoff im Erdbau des Straßenbaus. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: 550, 33 S., Köln (FGSV-Verlag).

3) Gold, G. & Dietrich, R. (2012): „Einsatz von Glasschaumgranulat als Übergang zwischen einer setzungsarmen Tiefgründung und einer hohen Dammschüttung mit großem Restsetzungspotential". 3rd International Seminar on Earthworks in Europe, Berlin, 19. - 20.03.2012.

4) Gollas, L., Wolf, A. & Lehners, C (2005): Leichtbaustoffe Blähton und Schaumglas für die Anwendung im Straßenbau. Teil 1: Stoffliche Beschreibung und Tragfähigkeitsmessungen; Teil 2: Erfahrungsbericht über durchgeführte Baumaßnahmen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 928: 119 S., Bonn (Bundesminister für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen).

5) Hart, R. & Schopphoven, J. (2012): Mit Grundwasserprognosen für Tiefbauarbeiten Zeit und Kosten sparen. Straßen- und Tiefbau, Jg. 66, Nr. 7/8, 6-9, Hannover (Giesel Verlag).

6) Hart, R., Tilke, H. & Waldhoff, P. (2013): Technische Lösungen für den Bau von Verkehrsdämmen auf Weichböden, aufgezeigt am Bau der Internationalen Rennstrecke Shanghai. Straßen- und Tiefbau, Jg. 67, Nr. 5, 12-15, Hannover (Giesel Verlag).

7) Raithel, M., Leusink, E., Kollmer, D. (2005): Sanierung eines Straßendammes mit EPS-Hartschaum. Symposium Geotechnik – Verkehrswegebau und Tiefgründungen. Schriftenreihe Geotechnik: H.18, Universität Kassel sowie: http://www.kup-geotechnik.de/kup/Uploads/KuP_Projekt%20Straßendamm%20Nördlingen.pdf

Abbildung 11:
Verdichtung des Glasschaum-Granulats mit Anbau-Flächenrüttler. ***Foto:Weiß***