

Erfahrungen beim Einsatz von EPS-Hartschaumstoffen in der Geotechnik

Dipl.-Ing. Lutz Schäfer

BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen

Dipl.-Ing. Giselher Beinbrech

BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen

Dipl.-Ing. Matthias Seip

Ingenieursozietät Professor Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, Frankfurt am Main

Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach

Institut und Versuchsanstalt für Geotechnik, Technische Universität Darmstadt

1 Einleitung

Beim Straßenbau auf gering tragfähigem Untergrund muss mehr als sonst beachtet werden, dass jede Auflast (z.B. in Form einer Dammschüttung) die weichen Bodenschichten merklich verformt. Je nach Dicke und Durchlässigkeit der weichen Bodenschichten dauert dieser Verformungsvorgang (Konsolidierung) über Jahre hinaus an. Zur Gewährleistung der dauerhaften Gebrauchstauglichkeit sind daher zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung von gering tragfähigem Untergrund erforderlich.

Durch die Verwendung von Leichtbaustoffen kann das Gewicht einer Dammschüttung und damit die Belastung des Untergrundes wesentlich reduziert werden. Eine weitgehend setzungsfreie Bauweise bei gering tragfähigem Untergrund erhält man dann, wenn durch den bzw. die verwendeten Baustoffe praktisch keine zusätzlichen Belastungen aufgebracht werden, d. h. das Gewicht des Dammbaustoffes sehr gering ist, wie z. B. bei der Verwendung von Leichtbaustoffen aus expandiertem Polystyrol-Hartschaumstoff (EPS, wie z.B. Styropor[®] = registriertes Warenzeichen der BASF Aktiengesellschaft).

Eine derartige Ausführung wird auch als GEOFOAM-Bauweise bezeichnet (**Bild 1**).

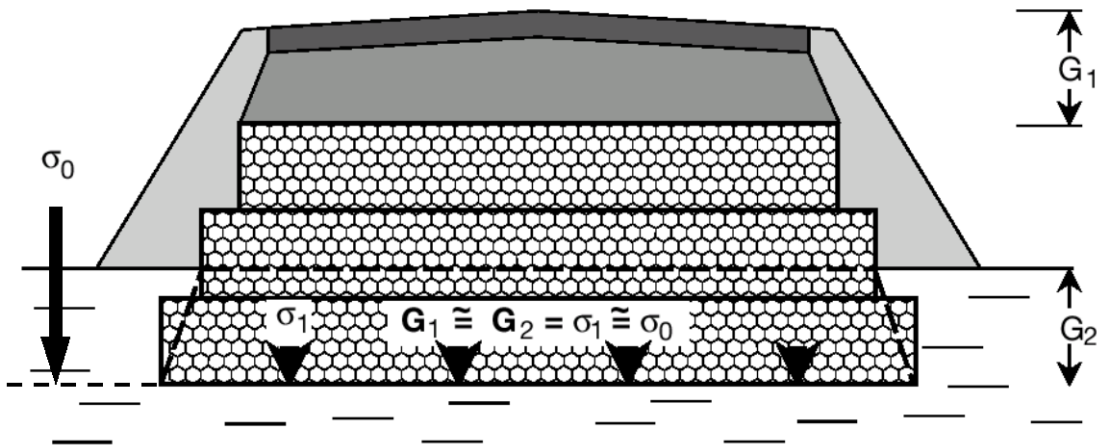


Bild 1 Prinzip der GEOFOAM-Bauweise beim Bau von Straßendämmen auf schlecht tragfähigem Untergrund

2 Grundlagen der Geofom-Anwendung

Grundlage für die Entwicklung dieser Baumethode bildeten die Erfahrungen mit Polystyrol-Hartschaumstoffplatten als Frostschuttschicht im Straßen- und Gleisbau. Diese Bauweise wird seit Mitte der sechziger Jahre vor allem in Ländern mit strengen Wintern (großen Frosteindringtiefen) die einen entsprechend aufwendigen Unterbau zur Frostsicherung von Straßen- und Eisenbahnstrecken notwendig machen (wie z. B. in den Alpenregionen, in Nordamerika und in skandinavischen Ländern) angewandt. Mit dem Erscheinen des **Merkblattes** für die „Ausführung von Fahrbahnbefestigungen mit Wärmedämmschichten aus harten Schaumkunststoffen“ (Ausgabe 1984) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“, konnte die „Frostschuttbauweise“ als Regelbauweise ausgeschrieben und ausgeführt werden.

Die Verwendung von Polystyrol-Hartschaumstoff nicht nur als Frostschuttschicht in Form von Dämmplatten, sondern als lastübertragender Unterbau bei Straßen und Brückenauffahrten in Form von großformatigen Blöcken basiert auf diesen Praxiserfahrungen. Expandierter Polystyrol-Hartschaumstoff (EPS) besitzt bei sehr geringer Dichte (ca. 20 kg/m³) eine hohe Biege- und Schubfestigkeit, zur Verteilung der Eigen- und Verkehrslasten auf gering tragfähigem Untergrund.

In Deutschland wurde von der vorgenannten Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“, Arbeitskreis „Leichtbaustoffe“ des Arbeitsausschusses „Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund“ das **„Merkblatt für die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen“** erstellt, das 1995 veröffentlicht wurde [6]. Seit dieser Zeit wird die Geofom-Bauweise als wirtschaftliche Alternative auch in Deutschland vermehrt angewendet [9].

3 Wirtschaftlichkeit

Bei einem Preisvergleich mit anderen Hartschaumstoffen liegt EPS-Schaumstoff zwar bei weitem an der unteren Preisgrenze, im Vergleich zu konventionellen Baustoffen für den Straßenunterbau und bezogen auf das Einbauvolumen (m^3) ist EPS-Schaumstoff jedoch teurer.

Der aktuelle Materialpreis des EPS-Schaumstoffs für geotechnische Anwendungen mit einer Rohdichte von 20 kg/m^3 liegt bei ca. $30\text{-}40 \text{ EUR/m}^3$ frei Baustelle. Für den Einbau können ca. $5\text{-}8 \text{ EUR/m}^3$ angesetzt werden [12].

Bei einem Kostenvergleich muss deshalb eine Gesamtbetrachtung alternativer Bauverfahren angestellt werden. Hier zeigt sich dann, je nach den örtlichen Gegebenheiten, dass die Geofoam-Bauweise nicht nur eine technisch, sondern auch eine wirtschaftlich interessante Lösung bietet, vor allem im Bereich bestehender Kunstbauten (z. B. Brücken, Stützwände, Rohrleitungen usw.), wenn Setzungen vermieden werden sollen.

Praktische Erfahrungen zeigen, dass in bestimmten Fällen, im Vergleich zu konventionellen Bauverfahren, eine Kostensenkung um bis zu 50 % erreicht werden kann. Vorteile bieten sich auch dann, wenn konventionelles Schüttmaterial über große Strecken herangeschafft werden müsste oder aus Gründen des Umweltschutzes besondere Auflagen erfüllt werden müssen.

4 EPS-Hartschaumstoff

EPS ist die genormte Abkürzung für expandiertes Polystyrol.

EPS-Partikelschaum wurde im Jahre 1950 in den Laboratorien der BASF erfunden und unter dem Rohstoff-Warenzeichen Styropor[®] (registriertes Warenzeichen der BASF Aktiengesellschaft) bald weltweit für Anwendungen im Bauwesen und der Verpackungsindustrie vermarktet.

Ausgehend von einem perl förmigen, treibmittelhaltigen Granulat (Styropor) geschieht die Herstellung von EPS-Schaumstoffen in drei Stufen (**Bild 2**):

Zuerst wird das Granulat vorgeschäumt und dabei durch Erwärmung expandiert. Das im Rohstoff enthaltene Treibmittel (Pentan, ein in der Natur vorkommender Kohlenwasserstoff) bläht die Teilchen bis zum ca. Fünfzigfachen ihres ursprünglichen Volumens zu geschlossenzelligen Schaumstoffpartikeln auf. Es folgt eine Zwischenlagerungszeit, während der Luft ein und Treibgas teilweise ausdiffundiert.

Zuletzt werden die vorgeschäumten Partikel in Formen gefüllt und ausgeschäumt, wobei diese erneut expandieren und miteinander verschweißen. Es entsteht ein kompakter Schaumstoff mit einem großen Luftanteil, der in vielen mikroskopisch kleinen Zellen eingeschlossen ist.

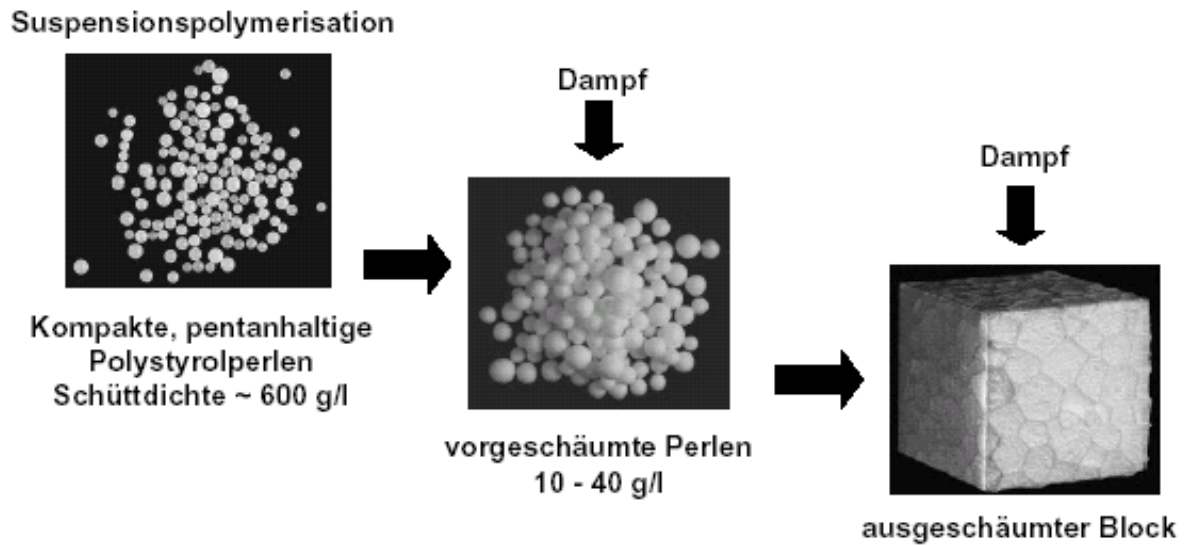


Bild 2 Herstellungsschritte von EPS-Hartschaumstoff / Styropor

Das spezielle Herstellungsverfahren ermöglicht es, die Rohdichte von EPS-Hartschaumstoffen in einem weiten Bereich zu variieren. Da die Eigenschaften des ESP-Hartschaums weitgehend von der Rohdichte abhängen, lassen sich Schaumstoffe mit einem anwendungsbezogenen Eigenschaftsspektrum herstellen: von der Dämmstoffplatte bis zum konstruktiven Leichtbaustoff.

Übliche Schaumstoff-Rohdichten für geotechnische Anwendungen liegen im Bereich von 15 – 30 kg/m³ und damit in einer Größenordnung von etwa 1% der Dichte von üblichen Böden und Schüttmaterialien. Blöcke aus EPS-Hartschaumstoff sind somit leichter als alle anderen Leichtbaustoffe.

EPS-Schaumstoffe als Dämmstoffe für das Bauwesen sind in DIN 18164, Teil 1 genormt. Im Rahmen der europäischen Normung wird die nationale Norm bis zum 31.03.2003 durch die DIN-EN 13163 „Wärmedämmstoffe für Gebäude –Werksmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS)- Spezifikation“ ersetzt. Für die tiefbautechnische Anwendung von EPS-Hartschaum wird z.Zt. auf europäischer Ebene der Normenentwurf „Light weight fill and insulation products for civil engineering applications (CEA)“ erarbeitet.

4.1 Physikalische Eigenschaften

Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften von EPS-Hartschaumstoff sind in **Tab. 1** dargestellt.

Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	Prüfergebnis		
Güteschutz-Typen	GSH-Gütebedingung		PS 15 SE	PS 20 SE	PS 30 SE
Anwendungstypen	DIN 18164-1		W	WD	WS + WD
Mindestrohdichte	DIN-EN 1602	kg/m ³	15	20	30
Baustoffklasse (mit Flammschutz)	DIN 4102		B1 (schwer entflammbar)		
Wärmeleitfähigkeit Messwert bei 10°C	DIN 52612	mW/(m·K)	36 – 38	33 – 36	31 – 35
Wärmeleitfähigkeit Rechenwert gemäß	DIN 4108	mW/(m·K)	40	40	35
Druckspannung bei 10 % Stauchung	DIN-EN 826	kPa	65 – 100	110 – 140	200 – 250
Dauerbelastung, Stauchung < 2%, 50 Jahre	DIN-EN 1606	kPa	20 – 30	35 – 50	70 – 90
Biegefestigkeit	DIN-EN 12089	kPa	150 – 230	250 – 310	430 – 490
Scherfestigkeit	DIN 53427	kPa	80 – 130	120 – 170	210 – 260
Zugfestigkeit	DIN-EN 1608	kPa	160 – 260	230 – 330	380 – 480
E-Modul (Druckprüfung)	DIN-EN 826	MPa	1,0 – 4,0	3,5 – 4,5	7,5 – 11,0
Wärmeformbeständigkeit, kurzfristig	–	°C	100	100	100
Wärmeformbeständigkeit, langfristig bei 20kPa	DIN 18164-1	°C	75	80	80
Therm. Längenänderungskoeff.		1/K	$5 - 7 \cdot 10^{-5}$	$5 - 7 \cdot 10^{-5}$	$5 - 7 \cdot 10^{-5}$
Spez. Wärmekapazität	DIN 53765	J/(kg·K)	1210	1210	1210
Wasseraufn. UW-Lagerung 7d	DIN-EN 12087	Vol.-%	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5	0,5 – 1,5
Wasseraufn. UW-Lagerung 28d	DIN-EN 12087	Vol.-%	1,0 – 3,0	1,0 – 3,0	1,0 – 3,0
Wasserdampfdiff.-Widerstand Rechenwert DIN 4108-4	DIN-EN 12086	1	20/50	30/70	40/100

N/mm² = 1 MPa = 1000 kPa

Tab. 1 physikalische Eigenschaften von EPS-Hartschaumstoff

Für die Verwendung im Straßenbau sind vor allem die folgenden Eigenschaften von Bedeutung:

- günstiges Verhalten bei statischer und dynamischer Dauerbelastung
- geschlossenzellige Struktur, d. h. sehr geringe Wasseraufnahme
- frostbeständig und verrottungsfest
- kein Nährboden für Ungeziefer, Schimmel- oder Fäulnisbakterien
- biologisch unbedenklich

4.2 Mechanisches Verhalten

EPS-Schaumstoff ist ein thermoplastischer Kunststoff, der unter Last ein von elastischen Werkstoffen abweichendes, visko-elastisches Verhalten zeigt. Anstelle der Druckfestigkeit wird deshalb die Druckspannung bei einer Stauchung von 10 % angegeben (DIN-EN 826). Dieser Wert liegt jedoch bereits im Bereich einer irreversiblen Stauchung und ist deshalb nur für die Qualitätskontrolle aussagefähig (**Bild 3**).

Das Druckspannungs-Stauchungsverhalten zeigt, dass bei einem linearen Anstieg der Druckspannung die Elastizitätsgrenze je nach Rohdichte bei 1,5 bis 2 % Stauchung erreicht wird. Infolge der dann beginnenden Deformation der Zellen steigt die Stauchung sehr viel schneller an, ohne dass es zu einem Bruch kommt.

Zur Darstellung des Verformungsverhaltens sind in **Bild 4** die lastabhängigen Anfangsstauchungen in Abhängigkeit von der Hartschaum-Rohdichte angegeben. **Bild 5** zeigt die zugehörigen Gesamtstauchungen nach einer Belastungsdauer von 50 Jahren. Das bei dieser Dauerbelastung auftretende Kriechmaß (%) ergibt sich aus der Differenz zwischen Anfangs- und Gesamtstauchung. Aus Sicherheitsgründen ist die Rohdichte der EPS-Hartschaumblöcke so zu wählen, dass bei der vorgesehenen Belastung eine Gesamtstauchung von 1,5 % nicht überschritten wird.

In **Bild 6** ist dies beispielhaft dargestellt:

Bei einer Druckbelastung von 35 kN/m² wird ein EPS-Hartschaum der Rohdichte von 20 kg/m³ gewählt, dessen Gesamtstauchung über einen Zeitraum von 50 Jahren bei 1,3 % ($\leq 1,5$ %) liegt. Die Anfangsstauchung bei Lastaufnahme liegt bei 0,7 %. Die Differenz von 0,6 % zwischen der Anfangsstauchung (nach Baufertigstellung) und der Gesamtstauchung ergibt die Größe der Kriechverformung des Hartschaums während des 50jährigen Betriebszustandes eines Straßenaufbaus.

Bei Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen [5] sind Verkehrsbelastungen durch Impulsgeber simuliert worden, die einer Million Radlasten mit 10 t Achslast entsprechen. Die Überbauhöhe der EPS-Hartschaumblöcke (Rohdichte 20 kg/m³) betrug bei allen Varianten 56 cm. Die Ergebnisse zeigen, dass infolge der (simulierten) Verkehrsbelastung keine bleibenden Verformungen an der Hartschaumoberfläche auftreten, d. h. eine Muldenbildung war nicht feststellbar. Bestätigt wird dies auch durch die mittlerweile vorliegenden praktischen Erfahrungen.

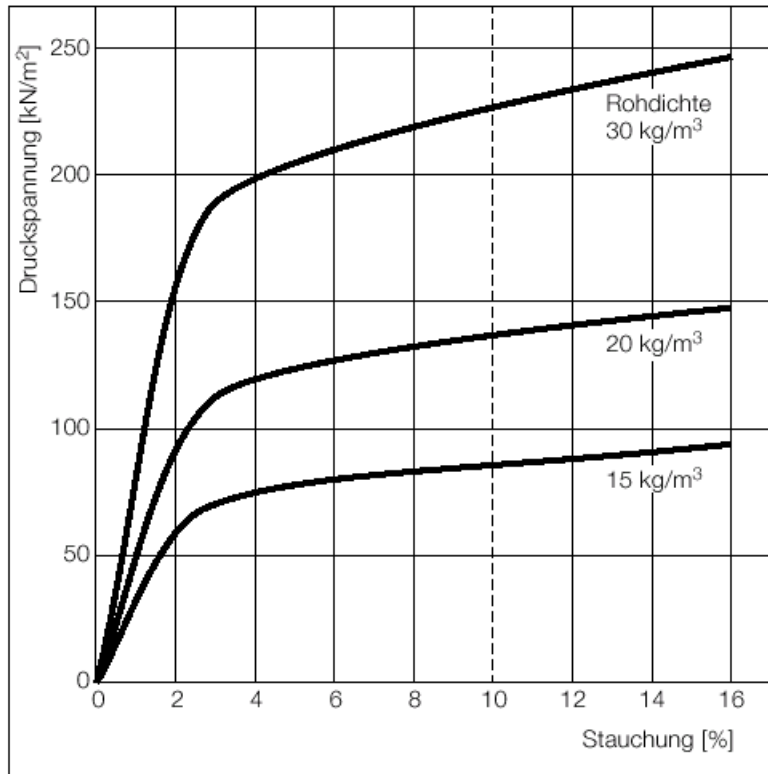


Bild 3 Druckspannungs-Stauchungsdiagramme von Hartschaum aus Styropor mit unterschiedlicher Rohdichte [10] ($1 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ kPa}$)

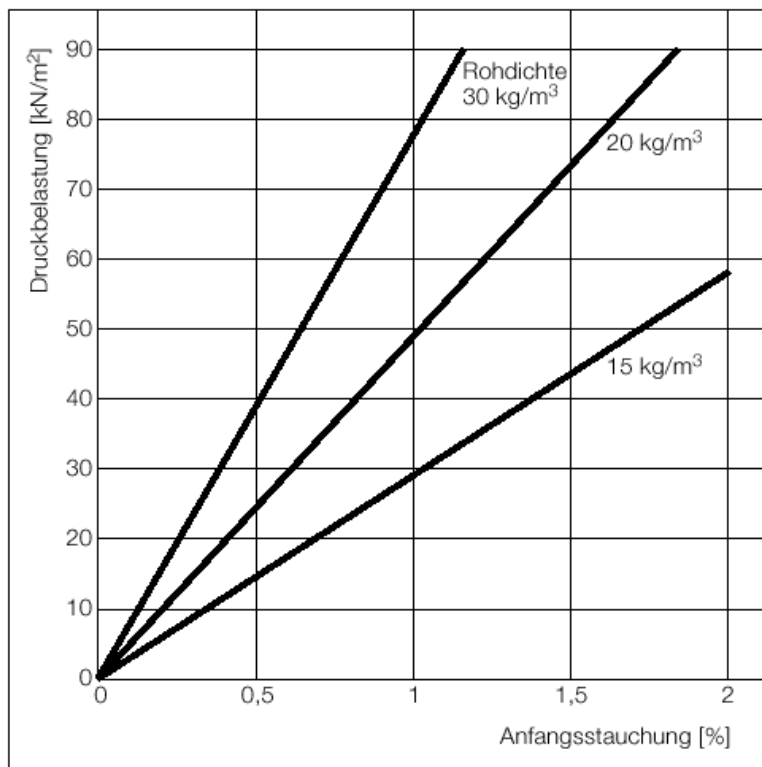


Bild 4 Druckbelastung/Anfangsstauchung bei Lastaufnahme von Hartschaum aus Styropor [10] ($1 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ kPa}$)

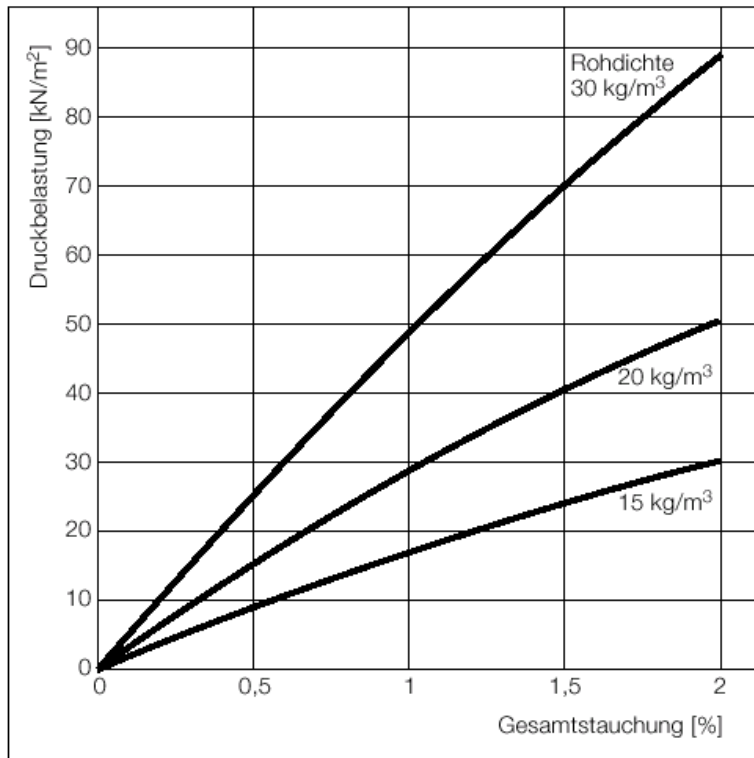


Bild 5 Druckbelastung/Gesamtstauchung von Hartschaum aus Styropor, Belastungsdauer: 50 Jahre [10] ($1 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ kPa}$)

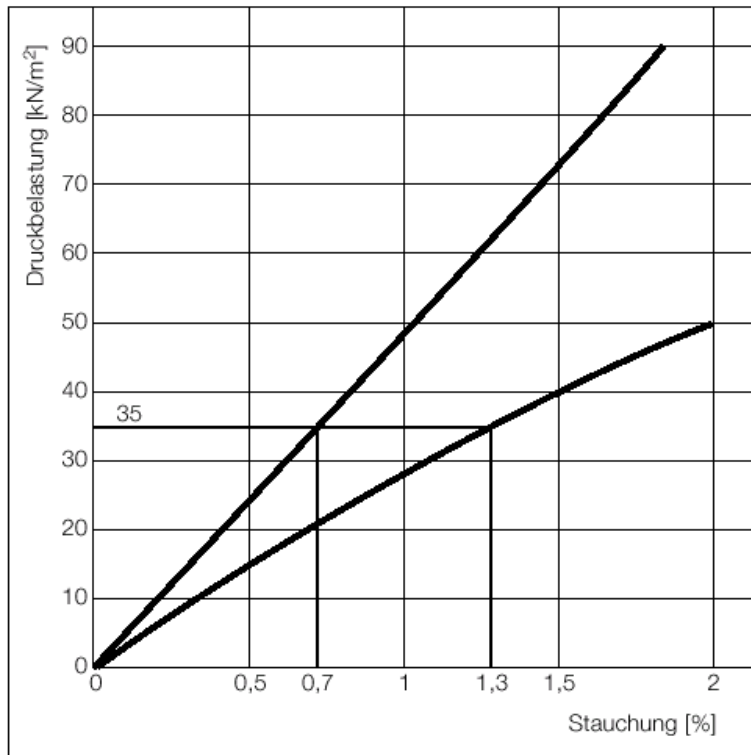


Bild 6 Gesamt- und Anfangsstauchung von Hartschaum aus Styropor, Rohdichte 20 kg/m^3 , in Abhängigkeit von der Druckbelastung [10] ($1 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ kPa}$)

4.3 Chemisches Verhalten

Schaumstoffe aus Styropor sind beständig gegenüber Alkalien, Seifen, verdünnten Säuren und Salzen (s. **Tab. 2**).

Einwirkendes Agens	Styropor P, F (FH)
Salzlösungen (Meerwasser)	+
Seifen- und Netzmittellösungen	+
Bleichlaugen, wie Hypochlorit, Chlorwasser, Wasserstoffperoxidlösungen	+
Verdünnte Säuren	+
Salzsäure 35 %ig, Salpetersäure bis 50 %ig	+
Wasserfreie Säuren, z. B. rauchende Schwefelsäure, Eisessig, 100 %ige Ameisensäure	-
Natronlauge, Kalilauge, Ammoniakwasser	+
Organische Lösungsmittel, wie Aceton, Essigester, Benzol, Xylol, Lackverdünnung, Trichlorethylen	-
Gesättigte aliphatische Kohlenwasserstoffe, Wundbenzin, Testbenzin	- (+-)
Paraffinöl, Vaseline	+ (+)
Dieselöl	- (+)
Vergaserkraftstoff (Normal- und Superbenzin)	-
Alkohole, z. B. Methanol, Ethanol	+
Siliconöl	+

+ Beständig: Schaumstoff wird auch bei längerer Einwirkung nicht zerstört.

+– Bedingt beständig: Schaumstoff kann bei längerer Einwirkung schrumpfen oder oberflächlich angegriffen werden.

- Unbeständig: Schaumstoff schrumpft mehr oder weniger schnell und wird aufgelöst.

Tab. 2 Beständigkeit von Schaumstoffen aus Styropor gegen Chemikalien

Organische Lösemittel greifen den Schaumstoff mehr oder weniger an. Die im Vergaserkraftstoff oder Dieselöl enthaltenen Lösemittel führen bei längerer Einwirkung zu einem Schrumpfen oder Anlösen des Schaumstoffes. Praxisversuche zeigten, dass die im Straßenbau übliche Überdeckung durch die Schichten des Oberbaues ausreichend ist, um eine Beschädigung des EPS-Unterbaues durch geringe Mengen auslaufender Kraftstoffe zu vermeiden. Bei größeren Mengen, etwa bei einem Tankwagenunfall, müsste aus Gründen des Umweltschutzes ohnehin ein Bodenaustausch und damit eine Fahrbahnerneuerung vorgenommen werden. Als zusätzliche Sicherheit kann eine Abdeckung des EPS-Unterbaues vorgenommen werden.

4.4 Biologisches Verhalten

EPS-Hartschaumstoff bildet keinen Nährboden für Mikroorganismen. Er fault, schimmelt und verrottet nicht. Auch Bodenbakterien greifen den Schaumstoff nicht an. Tiere können ihn zwar annagen oder beschädigen, die bisherigen langjährigen Erfahrungen im Straßenbau zeigen jedoch, dass im Vergleich zu konventionellen Dammbaustoffen ein bevorzugter Aufenthalt von Tieren nicht zu befürchten ist.

EPS-Schaumstoffe haben keine umweltschädigenden Auswirkungen.

5 Praktische Erfahrungen

Die ersten größeren Streckenabschnitte mit EPS-Schaumstoffblöcken als Straßenunterbau wurden 1972 in Norwegen gebaut. Initiator dieser Entwicklung war das „Norwegian Road Research Laboratory“ in Oslo, in dem die langjährigen Praxiserfahrungen mit Polystyrol-Hartschaumstoffplatten als Frostschutzschicht im Straßen- und Eisenbahnbau gesammelt und ausgewertet wurden. Obwohl die positiven Ergebnisse der Geofoam-Bauweise in verschiedenen Fachveröffentlichungen publiziert wurden, war das Interesse zunächst nur auf den skandinavischen Raum beschränkt. Erst als 1985 bei einer internationalen Straßenbau-Tagung in Oslo über die seit mehr als einem Jahrzehnt vorliegenden Praxiserfahrungen berichtet wurde, gewann diese Bauweise das Interesse der Fachwelt in den Ländern, in denen schwierige Untergrundverhältnisse vorherrschen und die Geofoam-Bauweise als eine wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Bauverfahren von Bedeutung ist: so z. B. in den Poldergebieten Hollands, in Südfrankreich, in den USA, in Kanada und in Japan.

Mittlerweile liegen von den Forschungsinstituten der verschiedenen Länder umfangreiche Ausarbeitungen über praktische und theoretische Untersuchungen der Geofoam-Bauweise vor.

In Norwegen werden pro Jahr etwa 50.000 m³ EPS-Schaumstoffblöcke als Straßenunterbau verwendet. In Holland, vor allem in Poldergebieten, wird diese Bauweise seit 1985 zunehmend als wirtschaftliche Alternative praktiziert. Allein in einem 1988 ausgeführten Bauobjekt (Capelle a/d IJssel) wurden 35.000 m³ EPS-Schaumstoff als Dammbaumaterial verwendet.

In Schweden wurde im Zeitraum 1990 – 1991 zwischen Stora Höga und Ljungskile (ca. 100 km nördlich von Göteborg) die Europastraße 6 vierspurig ausgebaut. Wegen der schwierigen Boden- und Geländebedingungen wurden auch hier ca. 40.000 m³ EPS-Hartschaumstoffblöcke im Straßenunterbau verwendet.

Auch bei den äußerst schwierigen Untergrundverhältnissen in Japan (ca. 70 % der Oberfläche Japans bestehen aus unwegsamen Gebirgsregionen, die restlichen 30 % sind größtenteils Moor- oder Sumpfbiete) wird die EPS-Bauweise seit 1985 mit Erfolg praktiziert. Dabei werden sowohl internationale Erfahrungen umgesetzt als auch eigene, umfangreiche Grundlagenforschung betrieben [8].

6 Geofom-Anwendungen

Die Geofom-Bauweise kommt vor allem in folgenden Bereichen zur Anwendung:

- **Damm- und StraÙenbau auf wenig tragfähigem Untergrund**
geringe Belastung des Untergrundes; bisher häufigster Anwendungsfall
- **Hinterfüllung von Bauwerken**
zur Verringerung des Erddrucks (Horizontalkräfte) und ungleichmäßiger Setzungen
- **Überbauung von Bauwerken**
zur Verringerung der auf das Bauwerk einwirkenden Auflast
- **Ausbau von HangstraÙen**
Ausführung ohne talseitige Böschung
- **Polster-/Deformationsschichten gegen Erddruck, Quelldruck, Erdbebenwirkung und zur Erschütterungsdämpfung**

Für die richtige Entscheidung zur geeigneten Bauweise sind insbesondere zu berücksichtigen:

- die Verkehrsbedeutung der Straße
- die Untergrundverhältnisse
- die Wasserverhältnisse (Auftrieb!)
- die Vorbelastung des Untergrundes sowie
- die örtlichen Verhältnisse, wie z. B. Lage von Leitungen und Randbebauung.

In Deutschland ist bei der Anwendung der EPS-Bauweise das „**Merkblatt für die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von StraÙendämmen**“ der FGSV [6] zu beachten. Unter anderem werden darin Hinweise zur Bemessung und bautechnische Grundsätze behandelt.

Lassen die Untergrundverhältnisse und die Gradienten es zu, wird die Bauweise mit EPS im unteren Dammbereich empfohlen, da hier ohne Einschränkung in der Verkehrsbelastung nicht nur eine maximale Gewichtseinsparung des Dammes erreicht wird, sondern auch keine besonderen Maßnahmen für die Fundamentierung von Verkehrsschildern, Leiteinrichtungen etc. erforderlich werden. Die Bauweise mit EPS im oberen Dammbereich ist bei hohen Verkehrsbelastungen nur bei ausreichend dimensionierten, lastverteilenden Schichten oberhalb des EPS realisierbar und kommt in diesen Fällen nur selten zur Ausführung (vgl. [6]).

7 Qualitätsanforderungen

Gemäß dem o.g. Merkblatt der FGSV [6] werden Qualitätsanforderungen an folgende Eigenschaften der EPS-Schaumstoffblöcke gestellt:

- **Beschaffenheit**
(gleichmäßiges Gefüge, gute Partikelverschweißung)
- **Rechtwinkligkeit**
(Abweichung ≤ 3 mm auf 500 mm)
- **Maßgenauigkeit**
(Abweichung $\leq 0,5$ %; ≤ 7 mm auf Länge 4,0 m; ≤ 4 mm auf Breite 1,0 m)
- **Rohdichte**
(mittlere Rohdichte \geq Sollrohddichte; Toleranz Einzelwerte ≤ -10 % vom Sollwert)
- **Druckfestigkeit**
(mittlere Druckspannung bei 10 % Stauchung entsprechend Sollwert (DIN EN 826); Toleranz Einzelwerte ≤ -10 % vom Sollwert)
- **Biegefestigkeit**
(mittlere Biegefestigkeit (bei Rohdichte ≥ 20 kg/m³) ≥ 220 kN/m²; Toleranz Einzelwerte ≤ -10 % vom Sollwert)
- **Wasseraufnahme**
(≤ 7 Vol.-% nach 7 Tagen Unterwasserlagerung)

Die vorgenannten Prüfungen werden je nach dem Einbauvolumen an einer repräsentativen Anzahl von Schaumstoffproben durchgeführt. Die Wasseraufnahme (z. B. bei Lagerung im Grundwasser) ist lediglich für die Berechnung der Eigenlast von Bedeutung und hat keinen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften von EPS-Hartschaumstoff.

Langjährige Praxiserfahrungen mit der EPS-Dammbauweise in Norwegen zeigen, dass auch unter ungünstigen Bedingungen die Wasseraufnahme 10 Vol.-% nicht überschreitet. Für Setzungsermittlungen wird deshalb mit einer Dichte von 1,0 kN/m³ gerechnet.

Sofern die EPS-Blöcke aus Styropor F hergestellt werden, entspricht ihr Brandverhalten der Baustoffklasse B 1 nach DIN 4102 Teil 1 (schwerentflammbar).

8 Bauausführung

Die nachfolgend genannten Hinweise für die Bauausführung basieren auf den praktischen Erfahrungen mit der EPS-Leichtbauweise in verschiedenen europäischen Ländern.

Die erste Lage der Hartschaumstoffblöcke wird auf einer verdichteten Ausgleichsschicht aufgebracht. Dabei darf auf einer Länge von 4 m die Unebenheit 10 mm nicht überschreiten, damit eine einwandfreie Auflagefläche gewährleistet ist. Alle Lagen der EPS-Blöcke werden mit einem Fugenversatz eingebaut.

Der Reibungsbeiwert zwischen den Schaumstoffblöcken liegt bei ca. 0,5. Um bei mehreren Lagen ein Verrutschen zu vermeiden, werden die Blöcke durch Auflegen von je zwei Krallendübeln miteinander verbunden. Nach jeweils drei bis vier Metern Aufbauhöhe ist eine Zwischenschicht aus Beton zu empfehlen, um die horizontalen Verlegefugen zu schließen. Wichtig ist die Feststellung der Höhe des Grundwasserspiegels. Soweit dieser bis in den Bereich der EPS-Schaumstoffblöcke ansteigen kann, sind die möglichen Auftriebskräfte durch entsprechende Auflast zu kompensieren.

Seitliche Fahrbahnbegrenzungen (z. B. Leitplanken) können in der über dem EPS-Unterbau üblicherweise vorgesehenen, 10 cm dicken, druckverteilenden Betonschicht verankert werden. Wenn eine derartige Betonschicht nicht ausgeführt wird, kann eine Verankerung in der Weise erfolgen, dass in bestimmten Abständen zwischen den Schaumstoffblöcken ein Querbalken betoniert wird, wobei die Schaumstoffblöcke als Schalung dienen.

Bei seitlich abschüssigem Gelände kann eine hangseitige Entwässerung durch entsprechende Öffnungen im EPS-Unterbau vorgenommen werden. Das Zuschneiden der Blöcke, z. B. um die Entwässerungskanäle, kann mit Motorsägen an der Baustelle erfolgen. Kleinere Lücken und Spalten zwischen den Blöcken sind nicht schädlich.

Der Einbau der Auffüllung bzw. der Tragschichten direkt auf dem EPS-Unterbau erfolgt in der „vor Kopf“-Bauweise. Die Verdichtung ist mit den üblichen Baustellengeräten möglich. Unter Berücksichtigung des elastischen Verhaltens des EPS-Unterbaues wird in der Regel lagenweise statisch verdichtet.

9 Bemessung

In Norwegen wird auf Grund langjähriger Erfahrungen eine halbempirische Bemessung vorgenommen, wobei die Dicke der über dem EPS-Unterbau liegenden Fahrbahnbefestigungen je nach Verkehrsaufkommen zwischen 35 cm und 60 cm liegt.

Wie die bisherigen Beobachtungen zeigen, besteht bei einer mehr als 35 cm dicken Überdeckung über dem EPS-Unterbau keine Gefahr einer verfrühten Glättebildung auf der Fahrbahnoberfläche (Brückeneffekt).

In der Bundesrepublik Deutschland wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Bundesanstalt für Straßenwesen die EPS-Bauweise im Praxismaßstab getestet [5]. Durch die Simulation einer Langzeit-Verkehrsbelastung wurde das Verhalten des gesamten Aufbaues erfasst, um eine abgesicherte Methode zur Bemessung verschiedener Oberbauvarianten zu erhalten. Diese Ergebnisse sowie die internationalen Praxiserfahrungen wurden in dem o.g. FGSV-Merkblatt [6] veröffentlicht.

In Deutschland ist bei Einhaltung der in diesem FGSV-Merkblatt [6] aufgestellten Regeln keine spezielle Bemessung erforderlich.

10 Zusammenfassung

Die geringe Steifigkeit wenig tragfähiger Böden führt bei zusätzlichen Belastungen zu Setzungen und Verformungen, die oft über Jahre hinaus andauern. Im Straßenbau erfordert dies besonders im Anschlussbereich bestehender Bauten aufwendige Maßnahmen. Eine weitgehend setzungsfreie Bauweise bei gering tragfähigem Untergrund kann erreicht werden, wenn nur eine sehr geringe zusätzliche Belastung aufgebracht wird, d. h. das Gewicht des Dammbaustoffes sehr niedrig ist. Diese Voraussetzung erfüllt Hartschaumstoff aus EPS (Styropor). Bereits Mitte der sechziger Jahre wurde Polystyrol-Hartschaumstoff als Frostschutzschicht im Straßen- und Gleisbau – vor allem in den skandinavischen Ländern – eingebaut. Die langjährigen, positiven Erfahrungen hieraus waren Grundlage für die Entwicklung der „GEOFOAM-Bauweise“ bei Straßen auf gering tragfähigem Untergrund. Ausgehend von Norwegen, wo 1972 EPS-Hartschaumstoffblöcke als Leichtbaustoff bei ersten größeren Streckenabschnitten verwendet wurden, gewann diese Bauweise Eingang in die Straßenbautechnik, vor allem in Ländern, in denen schwierige Untergrundverhältnisse vorherrschen, so z. B. in Skandinavien, in den Poldergebieten Hollands, in Südfrankreich, in USA, Kanada und in Japan. Auch in Deutschland, vor allem in Gebieten mit gering tragfähigem Untergrund, bietet die EPS-Bauweise mitunter eine wirtschaftliche Alternative, die zunehmend genutzt wird.

Durch die vielen bereits weltweit durchgeführten GEOFOAM-Projekte liegen die erforderlichen Langzeiterfahrungen bezüglich der Gebrauchstauglichkeit vor.

11 Literatur

- [1] Norwegian Road Research Laboratory
„Plastic Foam in Road Embankments“ Schrift Nr. 61, Aug. 87
- [2] Stichting Bouw Research, Rotterdam
„Wegen op PS-hardschuim“ Schrift Nr. 176, 1989
- [3] EPS-Construction Method Development Organization, Tokio 1989
„Technical Reports of Construction Method using EPS“
- [4] F. Hohwiller
EPS-Hartschaum als Leichtbaustoff im Straßenunterbau, „Straßen- und Tiefbau“, Heft 1/2.91
- [5] R. Bull-Wasser
EPS-Hartschaum als Baustoff für Straßen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 4, 1993
- [6] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen,
AG „Erd- und Grundbau“
Merkblatt für die Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen, 1995
- [7] R. Hillmann
Verwendung von EPS-Hartschaumstoffen beim Bau von Straßendämmen, „Straße und Autobahn“
47, 1993

- [8] EPS Construction Method Development Organisation, Japan
International Symposium on EPS Construction Method, EPS TOKYO 96

- [9] G. Beinbrech
GEOFOAM, EPS-Hartschaumstoff im Straßenbau, Vortrag im März 97, Südd. Kunststoffzentrum,
Würzburg

- [10] BASF Aktiengesellschaft
Styropor® Technische Information TI 800 „Hartschaumstoff aus Styropor als Leichtbaustoff im
Straßenunterbau: Geofoam“, März 2001

- [11] John S. Horvath, Manhattan College, USA
„Lessons Learned from Failures Involving Geofoam in Roads and Embankments“, Juli 1999

- [12] G. Beinbrech und R. Hillmann
„Erfahrungen beim Bau von Straßendämmen mit EPS-Hartschaumstoffen“,
STRASSE + AUTOBAHN 49 (1998)