

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

In Zusammenarbeit mit:



DBF

Deutsche Basalt Faser GmbH

Deutsche Basalt Faser GmbH
Carl-Rabe-Str. 11
06526 Sangerhausen

Tel.: +49 (0) 3464 | 276769-0

Fax: +49 (0) 3464 | 276769-6

Geschäftsführer:
Georgi Gogoladze

info@deutsche-basalt-faser.de



Institute for Advanced Architectural and Urban Studies
ARCHITEKTUR-INSTITUT LEIPZIG

Architektur-Institut Leipzig
Karl-Liebknecht-Straße 132
04277 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 | 3076 6540

Fax: +49 (0)341 | 3076 6630

Forschungsgruppenleiter:
Prof. Frank Hülsmeier | Architekt

frank.huelsmeier@htwk-leipzig.de

Betreut von:

Sarah Knechtges, M. Sc.

Im Rahmen des:



C³ BASISVORHABEN 4

Multifunktionale Bauteile aus
Carbonbeton am Beispiel der
aktivierten Gebäudehülle

Inhalt

1	Basalt - Vom Gestein zur Faser	4
2	Bewehrung aus Basaltfaser	7
3	Bemessungskonzept	14
4	Applikation	18
5	Ökonomie & Ökologie	20
6	Dauerhaftigkeit	21

1 Basalt - Vom Gestein zur Faser

1.1 Rohstoff Basalt

Basalt ist die weit verbreitetste Gesteinsart und einer der ältesten Baustoffe der Erde. Dieses basische Ergussgestein entsteht, wenn dünnflüssiges, kieselsäurearmes Magma an die Erdoberfläche oder auf den Grund der Ozeane gelangt und sehr schnell zu Basaltlava erkaltet. Im Wesentlichen besteht Basalt aus einer größeren Zahl von Oxiden (siehe Tab. 1). Die Zusammensetzung kann je nach Region des Basaltvorkommens variieren.

SiO₂	Siliziumdioxid
Al₂O₃	Aluminiumoxid
Fe₂O₃	Eisenoxid
CaO	Calciumoxid
MgO	Magnesiumoxid
	andere

Tab. 1: Basalt Bestandteile

1.2 Faserherstellung

Zur Herstellung von Endlosfasern ist nur Basalt mit folgender Zusammensetzung geeignet:

Masse %	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	TiO₂	Na₂O	andere
Minima	45	12	5	6	3	0,9	2,5	2,0
Maxima	60	19	15	12	7	2,0	6,0	3,5

Tab. 2: Basalt Zusammensetzung

Das Bruchgestein mit geeigneter Zusammensetzung in einer Größe von ca. 40 mm (siehe Abb. 1) wird bei etwa 1400 °C geschmolzen und durch kleine Düsen zu **Endlofilamenten** geformt. Diese werden nach Austritt mit kontinuierlich hoher Geschwindigkeit mechanisch abgezogen, luftgekühlt und über eine Rolle mit einer **Schlichte** benetzt. Erst dieser Schlichteauftrag sorgt für die, zur Weiterverarbeitung nötige, Flexibilität der Filamente. Auf diese Weise können die Filamente über eine Sammelrolle zu



Abb. 1: Basaltgestein

einem **Roving** (Multifilamentgarn) zusammengefasst und auf eine Spule gewickelt werden. In Abbildung 2 ist dieses **Düsenziehverfahren** schematisch dargestellt.

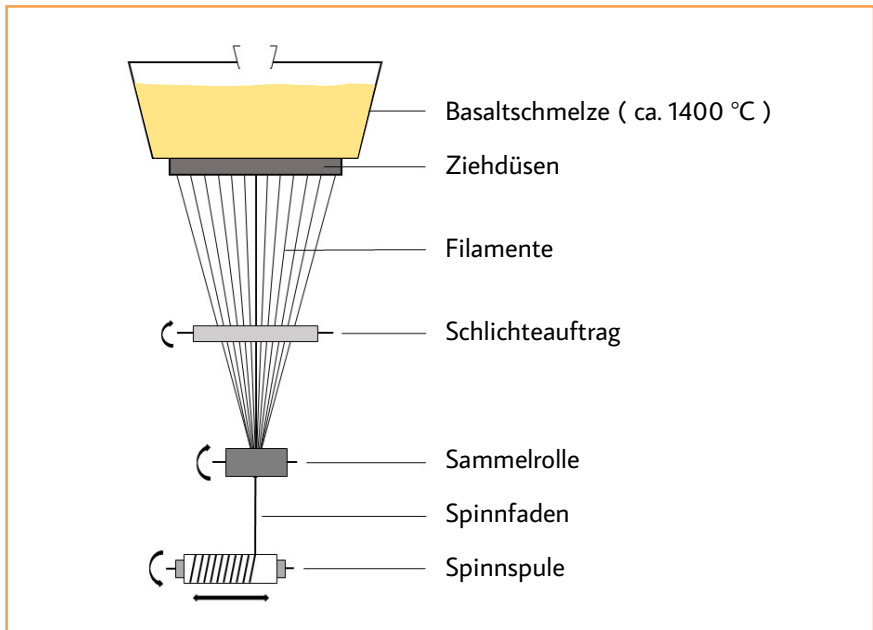


Abb. 2: Schema Düsenziehverfahren

1.3 Fasereigenschaften

Die folgenden Eigenschaften der Endlos-Basaltfaser ermöglichen den Einsatz in technischen Textilien und Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffen zur Verstärkung vorhandener Bauteile oder Entwicklung neuer Bauteile mit geringeren Abmessungen.



Abb. 3: Basalt Roving

physikalisch		chemisch		thermisch	
Dichte [g/cm³]	2,75	Massenverlust [%] 3 h, 100 °C in H ₂ O	0,2	Arbeits- temperatur [°C]	-260 bis 820
Durchmesser [µm]	9				
Zugfestigkeit [kN/mm²]	4,84	Massenverlust [%] 3 h, 100 °C in 2n NaOH	5,0	Schmelz- temperatur [°C]	1450
E-Modul [kN/mm²]	89				
Bruchdehnung [%]	3,15	Massenverlust [%] 3 h, 100 °C in 2n HCl	2,2	Wärmeleit- fähigkeit [W/mK]	0,031 bis 0,038
Stabilität bei Zug (20 °C)	100				
Stabilität bei Zug (200 °C)	95				
Stabilität bei Zug (400 °C)	82				

Tab. 3: Roving Eigenschaften

2 Bewehrung aus Basaltfaser

2.1 Bewehrungsarten

Aus dem Multifilamentgarn (Roving) lässt sich Bewehrung in unterschiedlichster Art und Geometrie herstellen.

Die folgenden Formen finden im Bauwesen die häufigste Verwendung:

2.2 Textiles Gelege

Das textile Gelege ist ein biaxiales Geflecht, bei dem Multifilamentgarne in Kett- und Schussrichtung miteinander verwebt werden. Dabei stellt die Kettrichtung meist die starke Achse dar und die Schussrichtung die Querverbindung, welche fest in die Garne der Kettrichtung eingebunden wird. Zur Verbesserung des Verbundverhaltens wird das Gelege in Styrol-Butadien Dispersion getränkt. Damit werden höhere Festigkeiten, Formstabilität und insbesondere die Alkalibee-

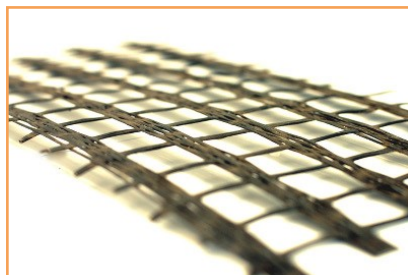


Abb. 4: Geogrid 550

ständigkeit erreicht. Die Gelege gibt es mit unterschiedlich großen Maschen (siehe Tab. 4) in einer Breite von 2 m auf Rolle.

	Gewicht [g/m ²]	Maschenweite [mm]
Geogrid 250	250	5 x 6,5
Geogrid 550	550	20 x 18

Tab. 4: Gelegearten

Die Verwendung textiler Gelege eignet sich besonders bei flächigen Bauteilen, wie dünnwandige Platten.

technische Eigenschaften		Einheit	Kennwerte
Gewicht		[g/m ²]	550 ± 10 %
Dicke		[mm]	1,50 ± 10 %
Breite		[mm]	2000 ± 3 %
Fläche		[m ²]	100 - 400
Dichtheit	Kette / Schuss	[thr/cm]	0,31 x 0,47 ± 10 %
Verflechtung			L L
Maschengröße	Kette / Schuss	[mm]	20 x 18 ± 10 %
Rohdichte	ρ	[g/cm ³]	2,8 ± 5 %
lineare Faserdichte	Kette Schuss	[tex]	9600 (8 x 1200) 3000
Zugfestigkeit	Kette Schuss	[kN/m]	140 ± 10 % 70 ± 10 %
Spannung	Kette σ _{tk}	[N/mm ²]	1210
E-Modul	Kette E	[N/mm ²]	87700
Dehnung	Kette ε	[%]	1,5
Querschnittsfläche	Kette A _t	[mm ² /m]	107
Strangumfang	Kette u	[mm]	23,57
Strangdurchmesser	Kette Ø	[mm]	7,5 (idealisiert)

physikalische Eigenschaften	
Form	Gewebe
Vibrationsbeständigkeit	vibrationsresistent
Schadstoffe	keine
Temperaturbeständigkeit	-35 °C bis +200 °C
Feuerbeständigkeit	Baustoffklasse B - brennbarer Binder
chemische Eigenschaften	
Farbe	grau, grünlich
Geruch	geruchlos
Zusammensetzung [M-%]	SiO ₂ 48 - 52; Al ₂ O ₃ 14 - 18; Fe ₂ O ₃ 7 - 11; CaO 8 - 11; MgO 3,5 - 8,5; Na ₂ O-K ₂ O 2,5 - 6,0; TiO ₂ 0,2 - 2; MnO«0,2; SO ₃ «0,2
weitere Eigenschaften	
Ökologie	harmlos
vorbeugende Maßnahmen	weder technische noch individuelle Maßnahmen nötig
Wicklung	Polyethylen
Lagerung	trocken, geschützt vor Feuchtigkeit

Tab. 5: Eigenschaften des Geogrid 550

2.3 Rundstab

Beim Bewehrungsrundstab aus Basaltfaser wird eine große Anzahl von Multifilamentgarnen zusammengefasst und für den Verbund untereinander in Epoxidharz getränkt. Die Stäbe gibt es mit einem Durchmesser von 3,5 mm bis 28 mm. Je nach Anforderung an den Verbund zwischen Stab und Beton, kann die Oberfläche glatt, gerippt oder auch besandet ausgebildet sein. Die Verwendung von Rundstäben eignet sich beson-



Abb. 5: Basaltfaserrundstab

ders bei linienförmigen Bauteilen oder als Zulage bei der Flächenbewehrung.

technische Eigenschaften		Einheit	Kennwerte
Durchmesser	\varnothing	[mm]	3,5
Rohdichte	ρ	[g/cm ³]	2,2
lineare Faserdichte		[tex]	9600
Zugfestigkeit		[kN]	16 ± 10 %
Spannung	σ_{tk}	[N/mm ²]	1730
E-Modul	E	[N/mm ²]	61800
Dehnung	ε	[%]	7
Querschnittsfläche	A_t	[mm ²]	9,6

physikalische Eigenschaften	
Form	Stab
Korrosion	resistent
UV-Strahlung	resistent
Alkalibeständigkeit	alkalibeständig
Schadstoffe	keine
Temperaturbeständigkeit	-35 °C bis +200 °C
chemische Eigenschaften	
Farbe	grau, grünlich
Geruch	geruchlos
Zusammensetzung [M-%]	SiO ₂ 48 - 52; Al ₂ O ₃ 14 - 18; Fe ₂ O ₃ 7 - 11; CaO 8 - 11; MgO 3,5 - 8,5; Na ₂ O-K ₂ O 2,5 - 6,0; TiO ₂ 0,2 - 2; MnO«0,2; SO ₃ «0,2
weitere Eigenschaften	
Ökologie	harmlos, recyclebar
vorbeugende Maßnahmen	weder technische noch individuelle Maßnahmen nötig
Tränkung	Epoxidharz
Lagerung	trocken, geschützt vor Feuchtigkeit

Tab. 6: Eigenschaften des Basaltfaserrundstabs 3,5

2.4 Integrale Faser

Zur Herstellung von integralen Fasern wird der Roving mit einer alkaliresistenten Beschichtung benetzt und auf eine bestimmte Länge geschnitten. Diese AR-Beschichtung verbessert auch das Verbundverhalten der Fasern zum Beton. Die Fasern gibt es je nach Anforderung in den Längen von 4 bis 60 mm und mit einer linearen Faserdichte von 100 bis 450 tex. Die Verwendung von integralen Fasern, wie der Turbobuild, eignet sich besonders bei Bauteilen mit unbestimmter Lastrichtung, da die Fasern jeden Winkel des Bauteils erreichen können. Ein großer Vorteil gegenüber synthetischer Fasern ist die bessere



Abb. 6: Turbobuild Integral

Mischbarkeit mit der Betonmatrix. Auf diese Weise bedarf es etwa nur ein Fünftel der Fasermenge pro Kubikmeter Beton. Zudem weisen die integralen Basaltfasern eine höhere Strangintegrität als AR-Glasfasern auf.

technische Eigenschaften	Einheit	Kennwerte
Länge	[mm]	$12 \pm 0,5$
lineare Faserdichte	[tex]	150 ± 10
Filament Durchmesser	[μm]	14 - 16
Rohdichte	[g/cm ³]	$1,9 \pm 5 \%$
Beschichtungsanteil	[%]	$18 \pm 2,0$

physikalische Eigenschaften	
Form	Kurzfaser
Vibrationsbeständigkeit	vibrationsresistent
chemische Eigenschaften	
Farbe	grau, grünlich
Geruch	geruchlos
weitere Eigenschaften	
Ökologie	harmlos
vorbeugende Maßnahmen	weder technische noch individuelle Maßnahmen nötig
Verpackung	Pappkiste bis 10 kg
Lagerung	trocken in Originalverpackung bei 15 °C bis 35 °C Raumtemperatur bei 35 % bis 65 % Luftfeuchtigkeit

Tab. 7: Eigenschaften des Turbobuild AC-12-150

3 Bemessungskonzept

3.1 Tragverhalten

Bei der Bemessung ist zu unterscheiden, ob die Bewehrung gerichtet oder willkürlich zum Lastabtrag beitragen soll. Integrale Kurzfasern werden während des Betonierens beigemischt

und verstärken das Bauteil ungerichtet. Rundstäbe und textile Gelege werden gezielt in Kraftschlussrichtung im Bauteil platziert.

Integrale Fasern	Rundstab / Textil
Dimensionierung nach Faservolumengehalt	Dimensionierung über die Querschnittsfläche der Bewehrung

Für die Dimensionierung der integralen Fasern im Bauteil muss lediglich der Faservolumengehalt für die jeweilige Anforderung bestimmt werden. Generell sollte der Anteil der Fasern bei 0,7 bis 1,0 Vol.-% liegen.

Zur Dimensionierung von Rundstäben und textilen Gelegen muss hingegen die exakte Lage der Bewehrung ermittelt werden. Dafür sind Betonüberdeckung und Verankerungslänge zu bestimmen.

3.2 Betonüberdeckung

Der große Vorteil, den die Bewehrung aus Basaltfaser mitbringt, ist die Korrosionsbeständigkeit. Damit verlieren die aus dem Stahlbeton bekannten Expositionsklassen ihre Bedeutung. Bewehrungsstäbe und textile Gelege aus Basaltfaser müssen nur aus ästhetischen Gründen einen Mindestabstand zur Bauteiloberfläche einhalten.

Damit sich an dieser die Bewehrung nicht abzeichnet, wird empfohlen den folgenden Wert einzuhalten:

Mindestbetondeckung $c_{\min} = 10 \text{ mm}$

Im Einzelfall unter besonderen Umständen kann dieser Wert auch unterschritten werden.

3.3 Verankerungslänge

Damit das Bauteil die wirkenden Kräfte aufnehmen kann, müssen das Textil oder die Stäbe von der Lasteinleitung über eine gewisse Länge im

Beton verankert sein. Zur Bestimmung der Verankerungslänge kann wie im Eurocode 2 vorgefahren werden:

Bemessungswert der Verbundspannung:

$$f_{bd} = \frac{2,25 \cdot \eta_1 \cdot f_{ctk;0,05}}{\gamma_c}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\eta_1 = 1,0 \quad \text{bei guten Verbundbedingungen}$$

$$= 0,7 \quad \text{bei mäßigen Verbundbedingungen}$$

$$= 0,9 \quad \text{für textile Gelege}$$

Zur Ermittlung der Verbundspannung wird die Zugfestigkeit des Betons ($f_{ctk;0,05}$) mit Faktoren, welche die Verbundbedingungen und die Art der Bewehrung berücksichtigen, multipliziert. Für die Berechnung des Grundwertes der Verankerungslänge wird der Quotient aus den Bemessungswerten der Stab- bzw. Textilspannung

und der Verbundspannung mit dem Viertel des Stab- bzw. Strangdurchmessers multipliziert. Dieser Grundwert kann, mit den aus dem Eurocode 2 bekannten α -Beiwerten, abgemindert werden und der Bemessungswert der Verankerungslänge, unter Berücksichtigung der Mindestverankerungslänge, ermittelt werden.

Grundwert der Verankerungslänge:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_{td}}{f_{bd}}$$

$$\sigma_{td} = \frac{\sigma_{tk}}{\gamma_t}$$

$$\gamma_t = 1,5$$

Die Allgemeingültigkeit dieses Verfahrens ist durch weitere Versuche zu überprüfen. Für den Geogrid 550

wurden die mit diesem Verfahren errechneten Werte in einer Versuchsreihe bestätigt.

3.4 Bemessung

Die Bemessung von basaltfaserbewehrten Bauteilen mit Biegebeanspruchung kann wie im Eurocode 2 mittels Bemessungshilfe erfolgen. Dafür bietet sich eine Bemessungssta-

belle mit dimensionslosen Beiwerten für Rechteckquerschnitte ohne Druckbewehrung für Biegung mit und ohne Normalkraft besonders gut an.

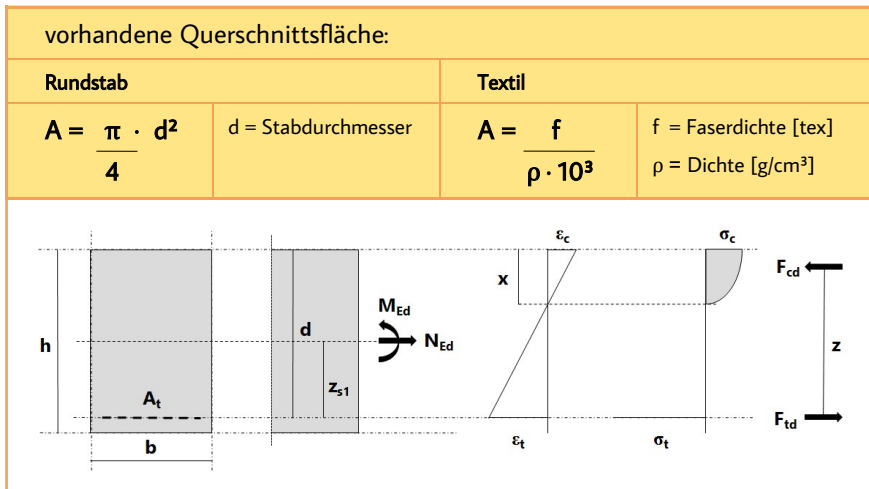


Abb. 7: Bewehrungslage im Bauteil

$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$	$\alpha_{cc} = 0,85 \text{ (i.d.R.)}$ $\gamma_c = 1,5$	$\sigma_{td} = \frac{\sigma_{tk}}{\gamma_t}$	$\gamma_t = 1,5$
$M_{Edt} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_{s1}$		$\mu_{Edt} = \frac{M_{Edt}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$	
erforderliche Querschnittsfläche:		$A_t = \frac{1}{\sigma_{td} \cdot \lambda_{td}} (\omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} + N_{Ed})$	

Die Allgemeingültigkeit auch dieses Verfahrens ist durch weitere Versuche zu überprüfen. Für den Geogrid 550

wurden die mit diesem Verfahren errechneten Werte in einer weiteren Versuchsreihe bestätigt.

μ_{Edt}	ω	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	ϵ_c	$\epsilon_c / \epsilon_{cu1}$	ϵ_t	λ_{td}	
[-]	[-]	[-]	[-]	[‰]	[-]	[‰]	[-]	
0,01	0,0102	0,063	0,979	0,53	0,19	8,0	1,00	Textilverstärken
0,02	0,0206	0,089	0,970	0,78	0,28	8,0	1,00	
0,03	0,0312	0,110	0,963	0,98	0,35	8,0	1,00	
0,04	0,0418	0,127	0,957	1,15	0,41	8,0	1,00	
0,05	0,0526	0,142	0,951	1,32	0,47	8,0	1,00	
0,06	0,0634	0,156	0,946	1,48	0,53	8,0	1,00	
0,07	0,0744	0,169	0,941	1,62	0,58	8,0	1,00	
0,08	0,0854	0,181	0,936	1,76	0,63	8,0	1,00	
0,09	0,0966	0,193	0,932	1,90	0,68	8,0	1,00	
0,10	0,1078	0,205	0,928	2,04	0,73	8,0	1,00	
0,11	0,1192	0,216	0,923	2,18	0,78	8,0	1,00	
0,12	0,1306	0,226	0,919	2,35	0,84	8,0	1,00	
0,13	0,1422	0,237	0,914	2,49	0,89	8,0	1,00	
0,14	0,1539	0,247	0,910	2,63	0,94	8,0	1,00	
0,15	0,1657	0,258	0,905	2,77	0,99	8,0	1,00	
0,16	0,1781	0,276	0,898	2,80	1,00	7,3	0,91	Betonverstärken
0,17	0,1907	0,296	0,891	2,80	1,00	6,7	0,83	
0,18	0,2037	0,316	0,884	2,80	1,00	6,1	0,76	
0,19	0,2168	0,336	0,876	2,80	1,00	5,5	0,69	
0,20	0,2302	0,357	0,869	2,80	1,00	5,0	0,63	
0,21	0,2439	0,378	0,861	2,80	1,00	4,6	0,58	
0,22	0,2579	0,400	0,853	2,80	1,00	4,2	0,53	

Tab. 8: Bemessungstabelle mit $\epsilon_{cu1} \geq 2,8 \text{ ‰}$ und $\epsilon_t \geq 8 \text{ ‰}$

4 Applikation

4.1 Voraussetzungen

Die Basaltfaserbewehrung, mit höheren Festigkeiten als der Betonstahl bei miniaturisierter Geometrie und mit geringerer Betonüberdeckung, ermöglicht vielfach filigranere und leichtere Bauteile als in Stahlbetonbauweise. Durch die hohe Flexibilität der Bewehrung lassen sich darüber hinaus ganz neue Bauteilformen entwerfen, was ein vielfältigen Anwendungsbereich eröffnet. Je nach Belastung und Bauteilgeometrie kann aus

textilem Gelege, Rundstäben und integralen Fasern die geeignetste Art der Bewehrung gewählt oder miteinander kombiniert werden. Unter Berücksichtigung der bewehrungsspezifischen Eigenschaften ist die Lage und das Maß der Bewehrung zu bemessen. Zur Herstellung eines, mit Basaltfaser bewehrten, Bauteils ist ein dementsprechend geeigneter Beton auszuwählen.

4.2 Betonanforderungen

Die Maschengröße des textilen Geleges bzw. die Abstände der Rundstäbe untereinander begrenzen den Korndurchmesser auf 1 bis 5 mm. Beton mit einem Größtkorn in diesem Bereich wird als Feinkornbeton oder kurz **Feinbeton** bezeichnet. Damit bei filigranen Bauteilen die folglich kleine Betondruckzone nicht versagt, ist für Basaltfaserbewehrung ein hochfester Beton mit einer Druckfestigkeit von über **100 N/mm²** nach 28 Tagen

zu verwenden. Diese hohe Festigkeit wird mit einem sehr niedrigen Wasserzementwert von **w/z 0,2 bis 0,4** erreicht. Dafür ist ein hoher Bindemittelanteil notwendig. Dieser sollte auf Compositzement **CEM II** oder Hochofenzement **CEM III** basieren, da diese einen geringeren Portlandzementklinkeranteil aufweisen. Die Alkalität des Betons sinkt mit geringerem Klinkeranteil, was für Basaltfaserbewehrung besonders von Vorteil ist.

Die je nach Anwendung zur Verarbeitung notwendige Konsistenz des Betons wird bei niedrigem Wassergehalt durch Fließmittel erzielt. Auf diese

Weise können Frischbetone von extrem fließfähig bis sehr zähflüssig variiert werden.

4.3 Herstellungsverfahren

Bei der Herstellung filigraner Bauteile wird die Basaltfaserbewehrung in Textil- oder Stabform meistens im **Laminierverfahren** appliziert. Dabei wird die Bewehrung manuell in eine erste Feinbetonschicht gedrückt und mit Abstandshaltern genau positioniert. Daraufhin wird die Schalung mit Feinbeton vollständig oder bis zur nächsten Bewehrungsschicht aufgefüllt und so weiter. Bei der Bauteil-

verstärkung wird das textile Gelege zumeist über Kopf in eine zuerst aufgespritzte Feinbetonschicht eingedrückt und mit weiterem Feinbeton überdeckt. Für dieses **Spritzverfahren** wird eine dementsprechende Apparatur benötigt. Bauteile mit integraler Faserbewehrung lassen sich am unkompliziertesten herstellen, da die Fasern einfach während der Betonherstellung beigemischt werden.

4.4 Anwendungsgebiete

Basaltfaserbewehrung kann in nahezu allen Bereichen des Stahlbetonbaus Anwendung finden. Mit ihrer hohen Korrosionsbeständigkeit und geringen

Wärmeleitfähigkeit ermöglicht sie darüber hinaus eine Verwendung für dünne Fassadenplatten und Sandwich-Wandelemente.

Materialverhalten	Anwendungsgebiete
Korrosionsbeständigkeit	Parkhäuser, Tiefgaragen, Brückenkappen, Brückendecks und Brüstungen, Uferbefestigungen, Wasserbau
Chemikalienbeständigkeit	Industriebodenplatten, Industriebehälter, Kläranlagen, Agrargebäude

Tab. 9: Anwendungsbereich

5 Ökonomie & Ökologie

5.1 Kostenanalyse

Der günstige Rohstoff und nur die Hälfte der Produktionsschritte für die Herstellung der Basaltfaser im Vergleich zur AR-Glas- und Carbonfaser ermöglichen einen Preis von nur 3 bis 5 €/kg. Materialeinsparungen durch das filigrane Bauteil selbst und aufgrund des geringeren Gewichtes, auch bei dessen lastabtragender Konstruktion, sorgen für große Kostenersparnisse im Vergleich zur Stahlbetonbauweise.

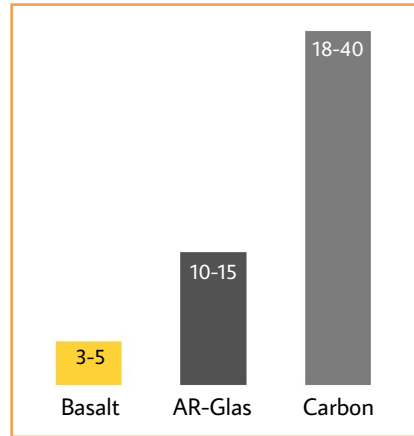


Abb. 8: Marktpreise in €/kg

5.2 Umweltbilanz

Mit dem als unerschöpflich geltenden Basaltvorkommen auf der Erde, stellt Bewehrung aus Basalt eine besonders umweltfreundliche Alternative dar. Zudem werden durch die material-effiziente Bauweise wertvolle Ressourcen gespart. Der Energieverbrauch bei der Herstellung der Basaltfaser ist der maßgebliche Einfluss auf die Umwelt. Fast 90 % der Auswirkungen resultieren aus der eingesetzten Energie. Verglichen mit der Herstellung von Stahl, AR-Glas- und ins-

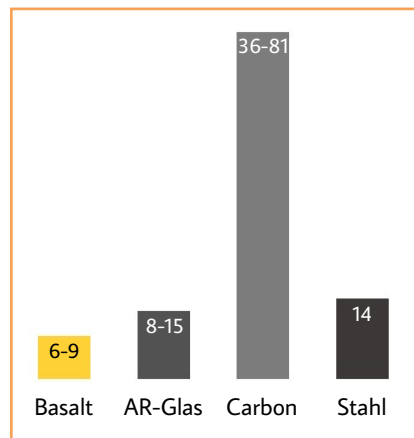


Abb. 9: Energieverbrauch in kWh/kg

besondere Carbonfaser verbraucht die Basaltfaser weit weniger Energie (siehe Abb. 9). Bei dem Verbrauch elementarer Ressourcen nehmen der Basaltabbau und Transportprozesse, gegenüber der Schlichte mit 35 %, nur einen geringen Anteil ein. Bei der Basaltfaserherstellung macht die Emission von Kohlendioxid den größten Anteil der Treibhauswirkungen aus. Mit 3 bis 5 kg CO₂ wird die Umwelt aber vergleichsweise (siehe Abb. 10) mitunter erheblich geringer belastet, als durch die Herstellung von Stahl, AR-Glas- und Carbonfaser. Bezüglich des Recyclings der Rohstoffe bringt die Faser aus Basalt ein großes Potenzial mit sich. Doch nicht nur die Natur wird durch die Basalt-

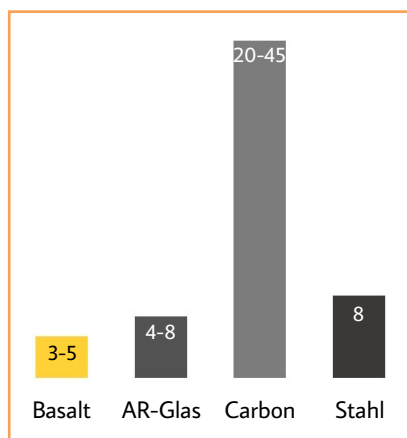


Abb. 10: CO₂-Emission in kg CO₂

faser weniger belastet, sie ist auch für den Menschen ungefährlich. Mit einem Durchmesser von 9 µm liegt sie weit über dem Grenzwert von 3 µm zu lungengängigen WHO-Fasern, die wie Asbest oder Glaswolle Lungenkrebs auslösen können.

6 Dauerhaftigkeit

Die Langlebigkeit der Basaltbewehrung im Beton wird sich, wie bei vielen neuen Baustoffen, erst mit der Zeit zeigen. Fest steht, dass die Tränkung der Bewehrung in Styrol-Butadien bzw. Epoxidharz den Masseverlust der Fasern durch Alkaliangriff stark begrenzt. Das alkalische Milieu ist in den ersten Tagen nach dem

Betonieren am stärksten und löst sich durch Karbonatisierung der alkal. Bestandteile des Zements zunehmend auf. Damit werden Festigkeitsverluste des Bauteils nach den ersten 28 Tagen immer unwahrscheinlicher und die bis dahin erreichte Festigkeit sollte nur die üblichen Ermüdungserscheinungen aufweisen.

Quellverzeichnis

Seite 4	Vgl. Basalt-Actien-Gesellschaft (Hrsg.): <i>Mobilität hat eine Basis: Naturstein und Asphalt</i> . 2013.
Seite 4, 6	Vgl. Liu, Jianwen: <i>Untersuchung von Verbundstoffen mit Basalt- und POB-Faser-Verstärkung</i> . 2007.
Seite 5	Vgl. Kulas, Christian: <i>Zum Tragverhalten getränkter textiler Bewehrungselemente für Betonbauteile</i> . Aachen 2013.
Seite 7, 10, 12, 20, 21	Vgl. Deutsche Basalt Faser GmbH, 2016.
Seite 14, 16, 18, 19	Vgl. Bergmeister, Konrad u.a. (Hrsg.): <i>Beton-Kalender 2010. Brücken—Betonbau im Wasser</i> . Berlin 2010.
Seite 15	Vgl. Eurocode 2, 2016.
Seite 16	Vgl. Rempel, Sergej: <i>Bemessungsdiagramm für Textilbetonbauteile unter Biegebeanspruchung</i> . In: Tudalit 7. Anwendertagung Textilbeton, 2015.
Seite 20, 21	Vgl. Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.): <i>Bewertung der Nachhaltigkeit: Ökologische Aspekte von Basaltfasern</i> . 2016.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1, 3, 4, 5, 6	Fotoarchiv, Deutsche Basalt Faser GmbH, 2016.
Abb. 2	Vgl. Kulas, Christian: <i>Zum Tragverhalten getränkter textiler Bewehrungselemente für Betonbauteile</i> . Aachen 2013.
Abb. 7	Vgl. Rempel, Sergej: <i>Bemessungsdiagramm für Textilbetonbauteile unter Biegebeanspruchung</i> . In: Tudalit 7. Anwendertagung Textilbeton, 2015.
Abb. 8	Vgl. Deutsche Basalt Faser GmbH, 2016.
Abb. 9, 10	Vgl. Das Kunststoff-Zentrum (Hrsg.): <i>Bewertung der Nachhaltigkeit: Ökologische Aspekte von Basaltfasern</i> . 2016.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1, 2, 3	Vgl. Liu, Jianwen: <i>Untersuchung von Verbundstoffen mit Basalt- und POB-Faser-Verstärkung</i> . 2007.
Tab. 4, 5, 6, 7	Vgl. Deutsche Basalt Faser GmbH, 2016.
Tab. 8	Vgl. Rempel, Sergej: <i>Bemessungsdiagramm für Textilbetonbauteile unter Biegebeanspruchung</i> . In: Tudalit 7. Anwendertagung Textilbeton, 2015.
Tab. 9	Vgl. Schöck ComBAR (Hrsg.): <i>Technische Information</i> . 2014.

Bearbeiter:

B.Eng. Vinzenz Ächtner

HTWK Leipzig

Karl-Liebknecht-Straße 132

04277 Leipzig

Oktober 2016