



Verfestigungen von Böden und Mineralstoffgemischen sowie Bodenverfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln sind Bauweisen mit Tradition. Die Bauweisen wurden bereits von den Römern praktiziert, um die Tragfähigkeit der Böden und Straßenkonstruktionen zu verbessern. Bei der Herstellung von Verfestigungen als Tragschicht im Oberbau und von Bodenverfestigungen kann man auf ausgereifte Technologien und Techniken zurückgreifen. Aufgrund der vorhandenen Langzeiterfahrungen zählen sie zu den ausgereiftesten Bauweisen des Erd- und Straßenbaus.

Begriffe

Verfestigungen von frostsicheren Böden und Mineralstoffgemischen sind Tragschichten des Oberbaus einer Straße. Durch Zumischen von hydraulischen Bindemitteln und Wasser wird die Widerstandsfähigkeit von Böden und Mineralstoffgemischen gegen Beanspruchungen durch Verkehr und Klima erhöht. Die so hergestellten Schichten sind dauerhaft tragfähig und frostbeständig. Mit „Verfestigung“ wird sowohl das Verfahren als auch die fertig eingebaute Schicht bezeichnet. Verfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln werden durch die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau“ (ZTVT-StB) geregelt.

Bodenverfestigungen sind Verfahren des Erdbaues, mit denen die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen Beanspruchungen durch Verkehr und Klima durch Zugabe von Bindemitteln erhöht wird. Die Tragfähigkeit und der Frostwiderstand des Bodens werden dauerhaft erhöht. Mit einer

Bodenverfestigung wird die oberste Zone des Untergrunds oder Unterbaus einer Verkehrsfläche verbessert. Herstellung und Einbau von Bodenverfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln werden durch die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau“ (ZTVE-StB) geregelt.

Anwendungen

Verfestigungen von Frostschutzschichten und Bodenverfestigungen mit Zement oder mit hydraulischen Tragschichtbindern sind wirtschaftliche Lösungen für die Verbesserung der Tragfähigkeit von Oberbau, Unterbau bzw. Untergrund von Verkehrsflächen aller Art. Solche Verkehrsflächen können sein: Rad- und Gehwege, Straßen, Containerabstellflächen, Parkplätze, Industrieböden, Sportplätze usw. Für besondere Anwendungsgebiete, wie z.B. ländliche Wege, Straßen für militärische Schwerfahrzeuge, Flugplatzbefestigungen und spezielle Bauweisen, wie wärmedämmende Tragschichten, vollgebundener Oberbau, sind weitere technische Regelwerke zu beachten.

Im Oberbau ist die Verfestigung mit Zement insbesondere dort wirtschaftlich, wo der in der RStO auf der Frostschutzschicht geforderte Verformungsmodul nicht erreicht werden kann. Bei der Verfestigung der oberen 15 cm dicken Lage der Frostschutzschicht mit Zement kann der Nachweis des Verformungsmoduls entfallen.

Ist zu erwarten, daß sich der in den ZTVE-StB geforderte Verformungsmodul für das Planum nicht erreichen läßt, bietet sich eine Bodenverfestigung des Untergrundes



Bild 1: Verfestigung im Baumischverfahren – leistungsfähige Geräte garantieren eine rasche und zuverlässige Ausführung des Bindemittel-Aufstreuens, -Mischens und -Verdichtens.

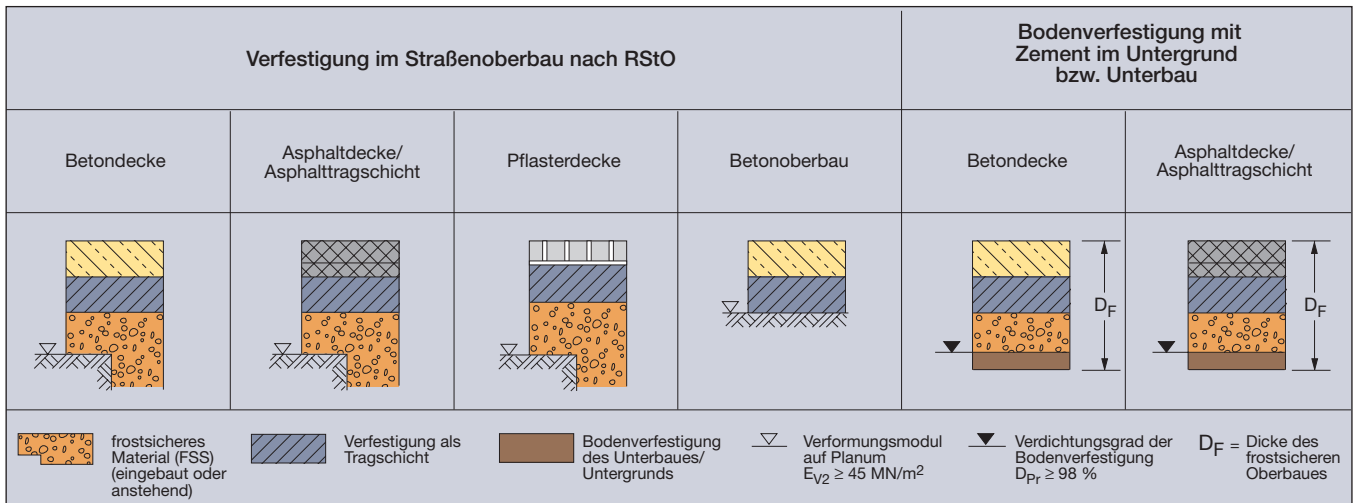


Bild 2: Beispiele für die Anwendung von Verfestigungen und Bodenverfestigungen (unmaßstäblich)

bzw. Unterbaues mit Zement in einer Mindestdicke von 15 cm ebenfalls als eine wirtschaftliche Lösung an.

Beispiele für Verfestigungen im Oberbau und Bodenverfestigungen des Unterbaus bzw. Untergrunds sind in Bild 2 angegeben.

Baugrundsätze

Die Herstellung von Verfestigungen der Frostschuttschicht setzt eine geeignete Unterlage voraus. Die Unterlage muß standfest, tragfähig, profilgerecht und eben sein. Gegebenenfalls ist die Unterlage durch eine Bodenverfestigung mit Zement diesen Anforderungen anzupassen.

Die Einbaudicke und die Anordnung von Verfestigungen der Frostschuttschichten werden je nach Bauweise und Bauklasse durch die RStO bzw. RStO-E oder entsprechende technische Regeln (z.B. Ländliche Wege in der RLW) vorgegeben. Die Mindestdicke jeder Schicht oder Lage beträgt im verdichteten Zustand beim Baumischverfahren 15 cm und beim Zentralmischverfahren 12 cm.

Bei anbaufreien Straßen ist die Unterlage (Planum) im Bereich des hochliegenden Straßenrandes mit einem Gegengefälle von mindesten 4 % auszubilden. Das Gegengefälle muß im Abstand von 1,0 m, gemessen von der äußeren Deckenoberkante zur Fahrbahnmitte, beginnen.

Unter Fahrbahndecken aus Beton ist die Verfestigung der Frostschuttschicht beiderseits um mindestens 35 cm bzw. der

Laufflächenbreite der Deckeneinbaugeräte zu verbreitern.

Sollen die Verfestigungen für längere Zeit unmittelbar befahren werden oder während der Frostperiode liegenbleiben, sind erforderlichenfalls Schutzmaßnahmen vorzusehen.

Verfestigungen sind im frischen Zustand in Querrichtung und bei Einbaubreiten über 8 m auch in Längsrichtung durch mindestens eine Kerbe zu unterteilen. Die Kerbtiefe muß mindestens 35 % der Einbaudicke betragen.

Unter Fahrbahndecken aus Beton sind Querkerben anzuordnen, wenn die Verfestigung unmittelbare Unterlage ist. Die Lage der Quer- und Längskerben in der Verfestigung muß mit den Quer- und Längsfugen der Betondecke übereinstimmen.

Wurde eine hydraulische Verfestigung im frischen Zustand nicht gekerbt, ist die Einleitung einer gezielten Reißbildung zu prüfen oder eine Trennung der Konstruktionsschichten, z.B. über ein Geotextil, herbeizuführen.

Verfestigungen sind auch unter Asphalttschichten zu kerben, und zwar in Querrichtung, wenn die mittlere Druckfestigkeit der Verfestigung im Rahmen der Eignungsprüfung $9,0 \text{ N/mm}^2$ und ihre Einbaudicke 20 cm überschreiten, und die Gesamteinbaudicke der Asphalttschichten $\leq 14 \text{ cm}$ beträgt. Bei derart dünnen Asphaltdecken darf der Abstand der Querkerben nicht mehr als 2,5 m betragen. Längskerben sind nur in den vorgenannten Fällen und bei Einbaubreiten über 8 m vorzusehen.

Herstellungsgrundsätze

Verfestigungen und Bodenverfestigungen werden unter Berücksichtigung der Bodenmechanik hergestellt:

- Bestimmung des optimalen Wassergehalts und der Proctor-dichte am Boden-Zement-Gemisch mit dem Proctorversuch in Anlehnung an DIN 18 127 bzw. nach TP HGT-StB
- Ermittlung des erforderlichen Zementgehalts in der Druck- und Frostprüfung am Proctorkörper

Die Verfestigungen mit Zement sind im Grunde eine „gutmütige“ Bauweise. Dennoch sind Baustoffprüfungen und Ausführungsüberwachungen, wie sie in den ZTVT-StB, ZTVE-StB, TP HGT-StB und den TP BF-StB, Teil B 11.1, festgelegt sind, sowie eine sorgfältige Ausführung unerlässlich.

Baustoffe, Baustoffgemische

Mineralstoffe, Böden

Für Verfestigungen sind Böden oder Mineralstoffgemische bis 63 mm Größtkorn einsetzbar. Sie müssen den Anforderungen

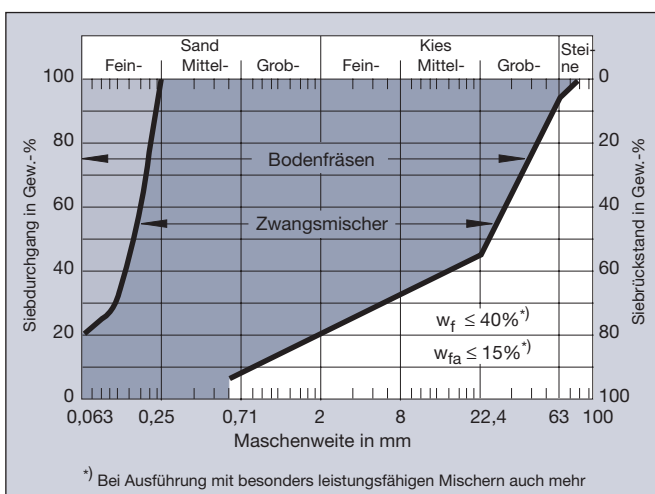


Bild 3: Sieblinienbereiche für die Verfestigungen aller Art

der TL Min-StB entsprechen. Als Mineralstoffe werden natürliche und künstliche Mineralstoffe sowie Recyclingbaustoffe verwendet.

Als Böden sind grobkörnige Böden nach DIN 18 196 (Kurzzeichen GE, GW, GI, SE, SW, SI) sowie gemischtkörnige Böden der Gruppen GU, SU, GT und ST geeignet, soweit sie der Frostempfindlichkeitsklasse F1 zugeordnet werden können. Gemäß den ZTVE-StB müssen sie bei einem Kornanteil unter 0,063 mm von 5,0 Gew.-% den Ungleichförmigkeitsgrad $U \geq 15,0$ oder bei 15 Gew.-% den Ungleichförmigkeitsgrad $U \leq 6,0$ aufweisen. Liegt der Kornanteil unter 0,063 mm im Boden oder Mineralgemisch zwischen 5 Gew.-% und 15 Gew.-%, so muß bei der Eignungsprüfung der ausreichende Frostwiderstand des erhärteten Baustoffgemisches durch eine Frostprüfung nachgewiesen werden.

Zur Vermeidung von Schäden an Bauwerken und Bauteilen sind ggf. DIN 50 929 Teil 1 und 3 und die DIN 4030 zu beachten. Werden Schmelzkammergranulate als Brechsand, Steinkohlenflugasche als Zusatzstoff, Hochofenschlacke oder Recyclingbaustoffe eingesetzt, müssen die Anforderungen der jeweiligen technischen Lieferbedingungen erfüllt sowie die wasserwirtschaftliche Unbedenklichkeit erbracht werden.

Für die Bodenverfestigung mit Zement eignen sich alle Böden nach DIN 18 196 bis zu einer Korngröße von 63 mm, Böden der Bodengruppen SU, ST, GK, SU*, ST*, GU*, GT*, UL, UM, UA und TL sowie bedingt industrielle Nebenprodukte, wie Aschen, Schlacken, Haldenabraum, Waschberge, Tone, gemischtkörnige Böden, Böden mit organischen Beimengungen und Böden mit sehr wechselhafter Zusammensetzung.

Ungeeignet für Bodenverfestigungen mit Zement sind veränderlich feste Gesteine, unvollständig zersetzte Gesteine und organische Böden.

Bindemittel

Für Verfestigungen der Frostschutzschichten und Bodenverfestigungen werden Zemente nach DIN 1164, hydraulische Tragschichtbinder nach DIN 18 506 oder bauaufsichtlich zugelassene hydraulische Bindemittel der Festigkeitsklasse 32,5 verwendet. Hydrophobierte Zemente können von Vorteil sein. Bei niedrigen Außentemperaturen oder wenn die Verkehrsfreigabe frühzeitig erfolgen soll, sind Zemente einer höheren Festigkeitsklasse günstig.

Druckfestigkeit und Frostwiderstand steigen bei jedem Boden mit höherer Zementfestigkeitsklasse bzw. größerem Zementgehalt an.

Wasser

Als Zugabewasser eignet sich jedes in der Natur vorkommende Wasser. Es muß frei von zementschädigenden Bestandteilen sein. Meerwasser kann verwendet werden; dabei ist zu berücksichtigen, daß die vorhandenen Chloride eine Erhärtungsbeschleunigung bewirken. Moor- und Industrieabwässer eignen sich nicht.

Zusätze

Der Zusatz von Steinkohlenflugasche kann die Kornverteilung des Bodens verbessern und die Frühbefahrbarkeit erhöhen. Die Flugasche muß der DIN EN 450 bzw. den „Technischen Lieferbedingungen für Steinkohlenflugasche im Straßenbau (TL SFA-Stb) und dem „Merkblatt über die Verwendung von Steinkohlenflugasche im Straßenbau“ entsprechen.

In Fällen, in denen eine Erhärtungsbeschleunigung erwünscht ist, wie z.B. vor Frostbeginn oder bei organisch verunreinigten Böden, ist eine Zugabe von Kalziumchlorid zum Baustoffgemisch in der Größenordnung von 2 %, bezogen auf das Zementgewicht, von Vorteil.

Tafel 1: Kriterien für die Bestimmung der Bindemittelmenge bei der Eignungsprüfung nach ZTVT-StB

Zeile	Art des Bodens oder der Mineralstoffgemische	Frostwiderstand ¹⁾ Längenänderung ‰	Druckfestigkeit ¹⁾ unter Asphalt- schichten unter Fahrbahn- decken aus Beton	
			im Alter von 28 Tagen N/mm ²	
1	Boden und Mineralstoffgemisch für Frostschutzschichten	–		
2	Boden oder Mineralstoffgemisch mit Kornanteilen < 0,063 mm zwischen 5 und 15 Gew.-%	$\Delta l \leq 1$	7,0	$\geq 15,0$

¹⁾ Ermittlung der Druckfestigkeit und des Frostwiderstandes nach TP HGT-StB

Das Baustoffgemisch

Die zweckmäßige Zusammensetzung des Baustoffgemisches für Verfestigungen einer Frostschutzschicht ist durch eine Eignungsprüfung zu ermitteln. Die Bindemittelmenge darf jedoch 3 Gew.%, bezogen auf den trockenen Boden oder auf das trockene Mineralstoffgemisch, nicht unterschreiten. Die Bindemittelmenge ist so zu wählen, daß die Anforderungen der Tafel 1 eingehalten werden.

Die erforderliche Druckfestigkeit muß im Mittel von drei zusammengehörigen Probekörpern erbracht werden und der zugehörige Mittelwert darf um maximal 2 N/mm² unter- oder überschritten werden. Ergibt sich aufgrund des Nachweises des Frostwiderstandes eine höhere Bindemittelmenge, so ist diese maßgebend. Die Druckfestigkeitskriterien gelten für zylindrische Probekörper der Höhe $H = 125$ mm und dem Durchmesser $D = 150$ mm.

Muß die Druckfestigkeit β_{D7} ausnahmsweise im Alter von sieben Tagen geprüft werden, kann die Druckfestigkeit β_{D28} nach 28 Tagen näherungsweise gemäß

$$\beta_{D28} = \beta_{D7} \cdot \frac{N_{28}}{N_7} \quad (\text{N/mm}^2)$$

mit N_{28} = Druckfestigkeit des Bindemittels nach 28 d
 N_7 = Druckfestigkeit des Bindemittels nach 7 d

errechnet werden.

Das Ergebnis der Eignungsprüfung beinhaltet insgesamt

- die Art und Herkunft des Bodens oder des Mineralstoffgemisches,
- die Korngrößenverteilung,
- die Art und Herkunft des Bindemittels,
- den Bindemittelgehalt in Gew.-% und
- die Ergebnisse des Proctorversuchs, der Druckfestigkeit und ggf. der Frostprüfung.

Das Baustoffgemisch für die Bodenverfestigung im Untergrund bzw. Unterbau muß so zusammengesetzt werden, daß eine Proctordichte von ≥ 98 % des Boden-Bindemittelgemisches erreicht wird und die Bindemittelmenge des gesamten Bauloses um maximal 8 % über- bzw. um nicht mehr als 5 % unterschritten wird. Die Zusammensetzung ist ebenfalls durch eine Eignungsprüfung zu ermitteln. Die Kriterien für die Bestimmung des Bindemittelgehalts bei der Eignungsprüfung sind der Tafel 2 zu entnehmen.

Bei langsam erhärtenden hydraulischen Bindemitteln kann auch eine längere Erhärtungszeit als 28 Tage erforderlich werden. Wird für die Bodenverfestigung als Bindemittel Baukalk

eingesetzt, so darf die Bindemittelmenge 4 Gew.-% nicht unterschreiten und ist nach TP BF-StB, Teil B 11.5, festzulegen.

Mischen

Das Baustoffgemisch für eine Verfestigung mit Zement kann sowohl im Bau- als auch im Zentralmischverfahren aufbereitet werden. Bodenverfestigungen werden aus wirtschaftlichen Gründen in der Regel im Baumischverfahren hergestellt.

Baumischverfahren

Im Baumischverfahren wird dem zur Verfestigung vorgesehenen und verdichteten Boden oder Mineralstoffgemisch an Ort und Stelle die erforderliche Bindemittelmenge zugemischt. Das Bindemittel wird mittels eines Zementstreugerätes mit guter Dosiereinrichtung ausgestreut und nachfolgend untergemischt.

Noch fehlendes Wasser ist erst nach dem ersten Mischgang oder bei Eingangsmischern während des Mischgangs zuzugeben. Die Wasserzugabe erfolgt entweder durch Wassersprengwagen oder durch einen Sprühbalken in der Frästrommel. Feinkörnige Böden sollten vor der Verfestigung angefeuchtet werden, um eine gleichmäßige Durchfeuchtung einzustellen.

Liegt der Wassergehalt insbesondere gemischt- und feinkörniger Böden deutlich über dem günstigen Wassergehalt muß vor der Verfestigung der Wassergehalt durch Belüftung mittels Fräsen, Aufreißen oder durch Behandlung mit Feinkalk vermindert werden.

Boden, Bindemittel und gegebenenfalls andere Baustoffe oder Wasser werden vorteilhaft mit leistungsfähigen Fräsen gemischt. Die meisten Fräser haben eine Mischtiefe mit ausreichender Mischwirkung von ca. 25 cm im verdichteten Zustand. Es gibt aber auch Fräsen, die bis zu 50 cm tief arbeiten können.

Scheibeneggen oder Motorgrader haben eine unzureichende Mischwirkung. Acker- und Gartenfräsen können für kleine Flächen eine Notlösung sein.

Die Durchmischung des Bindemittels mit der zur Verfestigung vorgesehenen Schicht und die Verdichtung des Baustoffgemischs müssen so gewählt und aufeinander abgestimmt werden, daß die Verfestigung über den gesamten Querschnitt zügig in der Verarbeitungszeit des Baustoffgemischs hergestellt wird.

Beim Baumischverfahren ist zu beachten, daß sich zwei benachbarte Mischspuren auf mindestens 20 cm Breite überlappen und keine unbehandelten Bodenstreifen verbleiben.

Die durchschnittliche Tagesleistung beim Baumischverfahren kann bei einer Schichtdicke von 15 - 20 cm im verdichteten Zustand je nach Gerät und Boden 1 000 - 6 000 m² betragen.

Das Baumischverfahren ist vorteilhaft:

- bei der Verfestigung anstehender Böden
- bei bindigen Böden
- oder dort, wo Straßenfertiger für den Einbau des Baustoffgemischs nicht zur Verfügung stehen

Zentralmischverfahren

Der Boden oder das Mineralstoffgemisch sowie das Bindemittel und das Zugabewasser werden in einer Mischanlage gemischt. Dazu werden Chargenmischer, wie sie z.B. für die Betonaufbereitung verwendet werden, oder Durchlaufmischer mit Dosiereinrichtungen eingesetzt. Die Dosierung der Ausgangsstoffe kann gewichtsmäßig oder volumetrisch erfolgen. Trommel- und Freifallmischer eignen sich nur für die Verarbeitung von grobkörnigen Böden (Kies und Sand). Die Mischanlagen müssen eine ausreichend große Leistung haben, damit Einbau und Verdichtung zügig möglich sind. Es muß solange gemischt werden, bis das Bindemittel und Wasser gleichmäßig mit dem Mineralstoffgemisch vermischt sind; das Baustoffgemisch muß einen einheitlichen Farbton aufweisen.

Tafel 2: Kriterien für die Bestimmung der Bindemittelmenge (Zement, Tragschichtbinder, hydraulischer Kalk) bei der Eignungsprüfung für eine frostbeständige Bodenverfestigung grob-, fein- und gemischtkörniger Böden nach ZTVE-StB

Zeile	Bodengruppe	Frostwiderstand ²⁾	Druckfestigkeit ¹⁾
1	SW-SI-SE GW-GI-GE	-	Zement und Tragschichtbinder HT 35 4,0 N/mm ² im Alter von 7 Tagen oder 6,0 N/mm ² im Alter von 28 Tagen
2	SU-ST-GU-GT ³⁾ und die Böden der Zeile 1, die brüchiges, poröses oder angewittertes Korn enthalten	$\frac{\Delta l}{l} \leq 1\%$	wie Zeile 1 oder Hydraulischer Kalk HL 5, Tragschichtbinder HT 15 6,0 N/mm ² im Alter von 28 Tagen
3	SU*-GU*-UL-UM ST*-GT*-TL-TM-TA	$\frac{\Delta l}{l} \leq 1\%$	-
4	industrielle Nebenprodukte	$\frac{\Delta l}{l} \leq 1\%$ ⁴⁾	6,0 N/mm ² im Alter von 28 Tagen

¹⁾ Diese Druckfestigkeiten dienen nur zur Festlegung des Bindemittelgehaltes und beziehen sich auf einen Probendurchmesser von 10 cm

²⁾ Hebung der Probe

³⁾ Anforderung an den Frostwiderstand nur, wenn Bodenklassen F2 vorliegen. Sonst nur Prüfung der Druckfestigkeit

⁴⁾ Wenn die Frostbeständigkeit des industriellen Nebenprodukts nicht außer Zweifel steht.

Das im Zentralmischverfahren aufbereitete Baustoffgemisch wird im Lastkraftwagen zur Einbaustelle gebracht. Das Gemisch muß bei größeren Transportentfernungen oder bei ungünstiger Witterung mit Planen abgedeckt werden. Das Baustoffgemisch kann mit Straßenfertigern, Gradern oder Planiertraupen eingebaut werden. Hochverdichtungsbohlen erzeugen bereits einen hohen Verdichtungsgrad.

Es sind Tagesleistungen bis 7 000 t erzielbar; dies entspricht bei 15 cm Schichtdicke einer Fläche von 20 000 m².

Das Zentralmischverfahren hat folgende Vorteile:

- gleichmäßiges Baustoffgemisch
- Einbau in mehreren Lagen möglich
- günstig für Verfestigungen in bebauten Gebieten
- Einsatz örtlich vorhandener Mischanlagen möglich

Verarbeiten

Die Verarbeitungszeit von der Zugabe des Normalzements bis zum Abschluß der Verdichtung beträgt bei Temperaturen bis 20 °C maximal 2 h, bei höheren Temperaturen maximal 1,5 h.

Bei Verwendung von hydrophobierten Zementen und hochhydraulischem Kalk im Baumischverfahren gelten diese zulässigen Verarbeitungszeiten vom Zeitpunkt des Untermischens mit einer Fräse.

Bei Boden- und Lufttemperaturen unter +5 °C sind die Arbeiten einzustellen, es sei denn, es ist gewährleistet, daß die Temperatur des Boden-Bindemittelgemisches mindestens in den ersten drei Tagen nicht unter +5 °C absinkt. Gegebenenfalls kann als Schutz auch bituminöses Heißmischgut aufgebracht werden.

Gefrorener Boden darf nicht verarbeitet werden.

Zur Verdichtung des Boden-Bindemittelgemisches werden wahlweise oder in Kombination eingesetzt:

- Gummiradwalzen mit einem Betriebsgewicht zwischen 12 und 32 t,
- Walzenzüge mit einem Konstruktionsgewicht zwischen 6 und 16 t und
- Großflächenrüttler.

Ein Abtrag und insbesondere ein Auftrag von frischem Boden-Bindemittelgemisch zur Herstellung einer profilgerechten Oberfläche von Verfestigungen mit Zement sollte nur in Ausnahmefällen in Kauf genommen werden. Eine einwandfreie Verbindung dünner Lagen miteinander ist nur möglich, wenn die bereits verdichtete, aber noch frische Lage vor Aufbringen der nächsten Lage aufgeraut, also frisch auf frisch eingebaut wird.

Bodenverfestigungen mit Kalk sollten mindestens zwei Monate vor dem Eintreten von Frost hergestellt werden.

Tafel 3: Überwachung von Verfestigungen und Bodenverfestigungen

	ZTVE-StB		ZTVT-StB	
	Eigenüberwachungsprüfung	Kontrollprüfung	Eigenüberwachungsprüfung	Kontrollprüfung
Bindemittel				
Übereinstimmung zwischen Lieferung und vereinbarter Bindemittelart und -sorte	jede Lieferung (Lieferschein)	stichprobenweise	jede Lieferung (Lieferschein)	–
Boden				
Korngrößenverteilung	je 250 m bzw. je 3 000 m ²	–	je 250 m bzw. je 3 000 m ²	–
Zustandsgrößen	je nach Erfordernis	stichprobenweise	–	–
schädliche org. Bestandteile	je 250 m bzw. je 3 000 m ²		je nach Erfordernis	–
Wassergehalt	je nach Erfordernis	–	1 x täglich	–
Baustoffgemisch				
Wassergehalt	–	–	2 x täglich	–
Druckfestigkeit	–	–	je nach Erfordernis	je 500 m bzw. je 6 000 m ² 2)
Zur Verfestigung vorgesehener Boden				
Verdichtungsgrad	1)	stichprobenweise	–	je 250 m bzw. je 3 000 m ²
profilgerechte Lage	je 20 m x 3		–	–
Schichtdicke	–	–	–	nach Erfordernis
Verfestigte Schicht				
Verdichtungsgrad	je 250 m bzw. je 3 000 m ² mind. 1 x am Tag	je 250 m bzw. je 3 000 m ² mind. 1 x am Tag	je 250 m bzw. je 3 000 m ² mind. 1 x am Tag	je 500 m bzw. je 6 000 m ²
Bindemittelmenge	je nach Erfordernis	je 1000 m ²	–	–
profilgerechte Lage	je 20 m x 3	je 50 m	je nach Erfordernis	je 50 m
Ebenheit	je nach Erfordernis	je nach Erfordernis	je nach Erfordernis	je 50 m
Schichtdicke	je nach Erfordernis	je 1 000 m ²	je nach Erfordernis	je 100 m bzw. je 1 000 m ²

1) Für die Prüfung des Verdichtungsgrades der zur Verfestigung vorgesehenen Schicht kommt die Methode M 1, M 2 oder M 3 wie für die Bodenverdichtung zur Anwendung.

2) Anstelle der Druckfestigkeit für Verfestigungen unter Asphalttschichten beim Baumischverfahren Bindemittelmenge je 100 m bzw. je 1 000 m² bzw. 1 x täglich



Bild 4: Einbau des zentralgemischten Baustoffgemisches mit üblichem Straßenfertiger



Bild 5: Das sofortige Aufsprühen einer Bitumenemulsion ist eine sichere Nachbehandlung

Nachbehandlung und Verkehrsfreigabe

Wie bei allen hydraulisch gebundenen Baustoffen sind auch bei der Verfestigung und bei der Bodenverfestigung mit Zement Maßnahmen zur Verhinderung der Wasserverdunstung zu treffen, damit das für die hydraulische Bindung notwendige Wasser zur Verfügung steht. Verfestigungen sind also nachzubehandeln. Die Nachbehandlung unmittelbar nach der Verdichtung kann entweder durch feines Versprühen von Wasser über einen Zeitraum von mindestens drei Tagen erfolgen oder durch Aufsprühen einer Bitumenemulsion auf die verdichtete, noch feuchte Oberfläche.

Vorteilhaft sind halbstarke, noch besser stabile Emulsionen; sie brechen erst, wenn das Emulsionswasser verdunstet ist. Sie haben daher den Vorteil, daß sie tiefer in die verfestigte Schicht eindringen können und, ohne eine Kruste zu bilden, auch eine ausreichende Nachbehandlung bewirken. Bei einem Bitumengehalt von 60 % reichen in der Regel 0,7 kg/m² bei feinkörnigen Böden, bis 1,1 kg/m² bei grobkörnigen Böden, um eine dichte Bitumenhaut zu erzeugen. Bereits trockene Oberflächen sind vor dem Aufsprühen der Bitumenemulsion mit Wasser anzufeuchten; vorher ist loses, trockenes Material abzukehren.

Die Nachbehandlung mit Betonnachbehandlungsmitteln ist nicht zu empfehlen.

Eine Nachbehandlung kann entfallen, wenn auf die noch frische, verdichtete Schicht bituminöses Heißmischgut aufgebracht wird. Das Gefüge der Verfestigung darf dabei allerdings nicht gestört werden. Das Heißmischgut wirkt sich auf die Festigkeitsentwicklung der Verfestigung positiv aus. Mit einer mindestens 8 cm dicken Asphalttragschicht versehene Verfestigungen können sofort dem Verkehr übergeben werden.

Besteht für die ersten sieben Tage Frostgefahr, sollte die zementgebundene Schicht mit Matten oder Folien abgedeckt werden. Bei leichten Frösten kann eine Abdeckung entfallen, wenn – wo zugelassen – Kalziumchlorid in das Boden-Bindemittelgemisch eingemischt wurde.

Wesentliche Anforderungen

Bei Anwendung des Baumischverfahrens muß der Verdichtungsgrad D_{pr} der zur Verfestigung vorgesehenen Schicht nach ZTVT-StB mindestens 100 % der Proctordichte des Bodens oder des Mineralstoffgemisches betragen. Für Bodenverfestigungen gelten die Verdichtungsanforderungen der ZTVE-StB. Die hier geforderten Verdichtungsgrade D_{pr} müssen abhängig von der Bodenart und der Tiefenlage (Planum und Tiefe unter Planum) 95 bis 100 % erreichen.

Baustoff- und Boden-Bindemittelgemische sind so zu verdichten, daß der Verdichtungsgrad der verfestigten, noch nicht erstarrten Schicht mindestens 98 % der Proctordichte des Baustoff- bzw. Boden-Bindemittelgemisches beträgt. Die Oberfläche der verfestigten Schicht als Tragschicht darf um maximal $\pm 1,5$ cm von der Sollhöhe abweichen, unter Betondecken nicht mehr als + 0,5 cm oder - 1,5 cm. Die Unebenheiten der Oberfläche dürfen innerhalb einer Meßstrecke von 4 m nicht größer als 1,5 cm sein. Bei Bodenverfestigungen betragen die erlaubten Abweichungen ± 2 cm von der Sollhöhe und die zugestandenen Unebenheiten 2,0 cm.

Verfestigungen als Tragschicht nach ZTVT-StB müssen Mindestdruckfestigkeiten bei der Kontrollprüfung erreichen. Die 28-Tage-Festigkeit eines jeden Probekörpers des Baustoffgemisches darf unter Asphaltdecken $3,5 \text{ N/mm}^2$ und unter Betondecken $6,0 \text{ N/mm}^2$ nicht unterschreiten. Unter Betondecken darf darüber hinaus der Mittelwert aller Proben bei einer Probekörperanzahl von 8 und weniger 8 N/mm^2 und bei einer Probekörperanzahl von 9 und mehr 10 N/mm^2 nicht unterschreiten.

Die ZTVT-StB und ZTVE-StB enthalten auch Regelungen zur Einbaudicke, zum Einbaugewicht und Bindemittelgehalt.

Prüfungen

Der ordnungsgemäße Einbau von Verfestigungen und Bodenverfestigungen ist durch Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen zu überwachen. Art und Umfang der Prüfungen ergeben sich gemäß Tafel 3.

gen zu überwachen. Art und Umfang der Prüfungen ergeben sich gemäß Tafel 3.

Technische Regelwerke

ZTVE-StB 94	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 1994/Fassung 1997 ^{*)}
ZTVT-StB 95	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau, Ausgabe 1995/Fassung 1998 ^{*)}
RStO 86/89	Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, Ausgabe 1986, Ergänzte Fassung 1989 – Frosteinwirkungszonen ^{*)}
TP BF-StB Teil B 11.1	Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau – Eignungsprüfungen bei Bodenverfestigungen mit Zement, Ausgabe 1986 ^{*)}
TP HGT-StB 94	Technische Prüfvorschriften für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, Ausgabe 1994 ^{*)}
Merkblatt	für Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln, Ausgabe 1997 ^{*)}
TL Min-StB 94	Technische Lieferbedingungen für Mineralstoffe im Straßenbau, Ausgabe 1994 ^{*)}
DIN 18 196	Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für Bautechnische Zwecke, Ausgabe Oktober 1988 ^{**)}
DIN 18 316	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV): Verkehrswegebauarbeiten; Oberbauschichten mit hydraulischen Bindemitteln, Ausgabe Juni 1996 ^{**)}

^{*)} zu beziehen bei FGSV Verlag, Konrad-Adenauer-Str. 13, 50996 Köln, Tel. (0221) 93 55 73-0, Fax (0221) 39 37 47

^{**)} zu beziehen bei Beuth-Verlag, Postfach, 10722 Berlin, Tel. (030) 26 01-260

Bauberatung Zement			Wir beraten Sie in allen Fragen der Betonanwendung		
Bauberatung Zement Bayern	Rosenheimer Str. 145 g	81671 München	Tel. 089/45098490	Fax: 45098498	
Bauberatung Zement Bayern	Bucher Straße 3	90419 Nürnberg	Tel. 0911/933870	Fax: 9338733	
Bauberatung Zement Beckum	Annastraße 3	59269 Beckum	Tel. 02521/17275	Fax: 950984	
Bauberatung Zement Düsseldorf	Schadowstraße 44	40212 Düsseldorf	Tel. 0211/353001	Fax: 353002	
Bauberatung Zement Hamburg	Immenhof 2	22087 Hamburg	Tel. 040/2276878	Fax: 224621	
Bauberatung Zement Hannover	Hannoversche Str. 21	31319 Sehnde-Höver	Tel. 05132/6015	Fax: 6075	
Bauberatung Zement Ost	Ahornstraße 25	12163 Berlin	Tel. 030/7912278	Fax: 7914727	
Bauberatung Zement Ost	Kieler Straße 67	04357 Leipzig	Tel. 0341/6010201	Fax: 6010290	
Bauberatung Zement Stuttgart	Leonberger Straße 45	71229 Leonberg	Tel. 07152/71081	Fax: 9792960	
Bauberatung Zement Wiesbaden	Friedrich-Bergius-Str. 7	65203 Wiesbaden	Tel. 0611/1821170	Fax: 182117-16	
Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. · Postfach 510566 · 50941 Köln · http://www.BDZement.de · eMail:BDZ@BDZement.de					