

Bodenbehandlung.

Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln



Inhaltsverzeichnis

1	Bodenbehandlung	11
1.1	Begriffsbestimmungen	12
1.1.1	Definitionen nach RStO 12	12
1.1.2	Begriffe und Regelwerke bei Bodenbehandlungen	14
1.1.3	Zuordnung der Regelwerke zu den Schichten	16
1.2	Begriffsdefinitionen bei Bodenbehandlungen	18
1.2.1	Bodenverfestigungen	18
1.2.2	Bodenverbesserungen	18
1.2.3	Qualifizierte Bodenverbesserungen	18
1.2.4	Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln	18
1.3	Geotechnische Untersuchungen	19
1.3.1	Allgemein	19
1.3.2	Beschreibung der Bodenarten nach DIN EN ISO 14688-1 (alt: 4022, Teil 1)	19
1.3.3	Bodenklassifikation nach DIN 18196	20
1.3.3.1	Bodengruppen	20
1.3.3.2	Grundlage der Bodenklassifikation	21
1.3.3.3	Grobkörnige Böden	22
1.3.3.4	Gemischtkörnige Böden	22
1.3.3.5	Feinkörnige Böden	22
1.3.3.6	Organogene und organische Böden	22
1.3.3.7	Schaubild	23
1.3.3.8	Bodenklassifikation über plastische Eigenschaften	24
1.3.3.8.1	Konsistenzbestimmung	24
1.3.3.8.2	Plastizitätsdiagramm zur Einteilung der feinkörnigen Bodenarten	25
1.3.3.9	Klassifikation von Böden nach DIN 18196	26
1.4	Frostempfindlichkeit von Böden und veränderlich festen Gesteinen	30
1.4.1	Klassifikation von Bodengruppen nach der Frostempfindlichkeit	30
1.4.2	Frostempfindlichkeit nach Bodenverbesserung mit Bindemittel	31
1.5	Anwendung	32
1.5.1	Bodenverbesserungen	32
1.5.2	Qualifizierte Bodenverbesserungen	32
1.5.2.1	Reduzierung der Oberbaudicke auf Grund einer qualifizierten Bodenverbesserung	34

1.5.2.2	Anforderungen an eine qualifizierte Bodenverbesserung	35
1.5.3	Bodenverfestigungen	36
1.5.3.1	Bodenverfestigungen ohne Anrechnung auf den Oberbau	36
1.5.3.2	Bodenverfestigungen mit Anrechnung auf den Oberbau	37
1.5.3.3	Auszug aus der Tafel 1 der RStO 12	38
1.5.3.4	Auszug aus der Tafel 2 der RStO 12	40
1.6	Grundsätze für den Erdbau	42
1.6.1	Verdichtung	42
1.6.2	Verdichtungsanforderungen an den Untergrund und Unterbau	42
1.6.3	Anforderungen an das Planum	43
1.6.4	Verformungsmodul auf dem Erdplanum (10 %-Mindestquantil)	44
1.6.5	Anforderungen an die Verdichtungskennwerte	45
1.7	Qualitätssicherung	46
1.7.1	Prüfungen vor der Bauausführung	46
1.7.1.1	Prüfungen durch den Auftraggeber	46
1.7.1.2	Prüfungen durch den Auftragnehmer	46
1.7.1.3	Prüfvorschriften bei Eignungsprüfungen	49
1.7.2	Prüfungen während der Bauausführung	50
1.7.2.1	Art und Umfang der Prüfungen bei Bodenbehandlungen	50
1.7.2.2	Prüfmethoden und Prüfverfahren	52
1.7.2.2.1	Prüfmethoden für die Prüfung der Verdichtungskennwerte	53
1.7.2.2.2	Prüfverfahren zur Ermittlung von Verdichtungskenngrößen	54
1.7.2.2.3	Prüfen des Verformungsmoduls, der profilgerechten Lage und der Ebenheit auf dem Planum	57
1.8	Böden und mineralische Baustoffe für eine Bodenbehandlung	58
1.8.1	Geeignete Böden (nach DIN 18196)	58
1.8.2	Bedingt geeignete Böden (nach DIN 18196) und Baustoffe	58
1.8.3	Ung geeignete Böden	58
1.8.4	Natürliche und künstliche Gesteinskörnungen und RC-Baustoffe	59
1.8.5	Sulfateinfluss	59
1.9	Bindemittel	60
1.9.1	Allgemein	60

Inhaltsverzeichnis

1.9.2	Bindemittelarten	60
1.9.3	Wirkungsweise der Bindemittel	60
1.9.3.1	Baukalke	60
1.9.3.2	Zemente	62
1.9.3.3	Mischbindemittel	62
1.9.4	Bindemittel mit besonderen Eigenschaften	63
1.9.4.1	Staubarme Bindemittel	63
1.9.4.2	Hydrophobierte Bindemittel	63
1.9.5	Einsatzbereiche der Bindemittel	64
1.9.6	Verarbeitungszeiten der Bindemittel	66
1.9.7	Reaktionszeiten der Bindemittel	66
1.10	Wasser	68
1.11	Witterungseinflüsse	70
1.11.1	Niederschläge	70
1.11.2	Wind	70
1.11.3	Temperatur	71
1.12	Bodenbehandlung – Bauausführung	72
1.12.1	Mischverfahren	72
1.12.2	Staubfreie Bindemittelzugabe	72
1.12.3	Mixed-in-Place (Baumischverfahren)	74
1.12.3.1	Baugrundsätze beim Mixed-in-Place-Verfahren (für alle Bereiche der Bodenbehandlung)	74
1.12.4	Anforderungen bei Bodenbehandlung	80
1.12.4.1	Bindemittelmenge	80
1.12.4.2	Verdichtungskennwerte	80
1.12.4.3	Nachweis der Bindemittelmenge	82
1.12.4.4	Oberfläche	82
1.12.4.5	Ebenheit	82
1.12.4.6	Einbaudicke	82
1.13	Bauwerkshinterfüllungen	84
1.13.1	Begriffe	84

1.13.2	Baustoffe	84
1.13.2.1	Entwässerungsbereich	84
1.13.2.2	Hinterfüll- und Überschüttbereich	84
1.13.3	Verdichtung	85
1.14	Leitungsgrabenverfüllung	86
1.14.1	Allgemein	86
1.14.2	Einarbeiten des Bindemittels	86
1.14.3	Verdichtung	86
2	Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln	91
2.1	Allgemein	91
2.2	Terminologie	92
2.3	Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln nach ZTV Beton-StB und Bodenverfestigung nach ZTV E-StB	93
2.4	Herstellungsgrundsätze	94
2.4.1	Allgemein	94
2.5	Prüfungen – Definitionen	95
2.5.1	Erstprüfung (Eignungsprüfung)	95
2.5.2	Werkseigene Produktionskontrolle	95
2.5.3	Eigenüberwachungsprüfung	97
2.5.4	Kontrollprüfung	97
2.6	Baustoffe	98
2.6.1	Böden und Gesteinskörnungen für Verfestigungen	98
2.6.2	Gesteinskörnungen und Baustoffgemische für HGT	99
2.6.3	Gesteinskörnungen und Baustoffgemische für Betontragschichten	102
2.6.4	Hydraulische Bindemittel	103
2.6.5	Wasser	104
2.6.6	Betonzusatzmittel/ Betonzusatzstoffe	104
2.7	Anforderungen an Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln	105
2.7.1	Bemessung	105
2.7.2	Oberbauschichten mit Bindemittel	105

Inhaltsverzeichnis

2.7.3	Mindesteinbaudicken	105
2.7.3.1	Verfestigungen	105
2.7.3.2	Hydraulisch gebundene Tragschichten	105
2.7.3.3	Betontragschichten	106
2.7.4	Randausbildung der Tragschichten	106
2.7.4.1	Detail der Randausbildung	107
2.7.5	Entwässerung von Tragschichten	108
2.7.6	Ausführung bei niedrigen/hohen Temperaturen und Frost	108
2.7.7	Profilgerechte Lage	108
2.7.8	Ebenheit	108
2.7.9	Toleranzen der Einbaudicke	109
2.7.10	Kerben oder Fugen	109
2.7.11	Nachbehandlung	110
2.7.11.1	Tabellarische Zusammenstellung der Anforderungen an Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln nach ZTV Beton-StB	112
2.8	Ausführung von Verfestigungen	114
2.8.1	Anforderungen an Einbaugemische für Verfestigungen	114
2.8.2	Herstellung	114
2.8.3	Baumischverfahren	114
2.8.4	Zentralmischverfahren	115
2.8.5	Einbau und Verdichtung	116
2.8.6	Anforderungen an den Verdichtungsgrad	116
2.9	Ausführung von hydraulisch gebundenen Tragschichten	117
2.9.1	Anforderungen an das Einbaugemisch	117
2.9.2	Herstellung, Transport und Einbau	117
2.9.3	Anforderungen an die fertige Schicht	118
2.10	Art und Umfang von Prüfungen	119
2.10.1	Erstprüfung für Verfestigungen	119
2.10.2	Erstprüfung für hydraulisch gebundene Tragschichten	121
2.10.3	Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfung für Verfestigungen	122
2.10.4	Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfung für hydraulisch gebundene Tragschichten	124

2.10.5	Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfung für Betontragschichten	125
2.11	Verwertung von Asphaltgranulat und pechhaltigen Straßenbaustoffen in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln	126
2.11.1	Allgemeines	126
2.11.2	Ausgangsstoffe – Gesteinskörnungen	126
2.11.3	Zusatzstoffe	126
2.11.4	Lagerung pechhaltiger Stoffe	127
2.11.5	Baustoffgemische	127
2.11.6	Anforderungen	127
2.11.7	Erstprüfung	127
Literaturhinweise		128
Technische Regelwerke		129

1.6 Grundsätze für den Erdbau

1.6.1 Verdichtung

Bei Beginn der Verdichtungsarbeiten hat der Auftragnehmer im Rahmen eines Probefeldes nachzuweisen, dass die Verdichtungsanforderungen erreicht werden.

Die Schüttdicke (bzw. die maximale Dicke der verbesserten Schicht) darf höchstens so groß sein, dass der vorgeschriebene Verdichtungsgrad über die gesamte Schichtdicke erreicht wird.

Für den Böschungsbereich gelten besondere Bedingungen hinsichtlich der Verdichtung bzw. der Bauausführung. Dies kann sich bei einer Bodenverfestigung bzw. bei einer Verfestigung des Oberbaus auf die Schüttbreite eines Dammes auswirken.

Beim Einbau von witterungsempfindlichen Baustoffen sind die Schüttflächen mit einem Quergefälle von mindestens 6% anzulegen.

1.6.2 Verdichtungsanforderungen an den Untergrund und Unterbau

Der Untergrund bzw. der Unterbau von Straßen und Wegen ist so zu verdichten, dass folgende Anforderungen an das 10%-Mindestquantil für den

Verdichtungsgrad D_{Pr} bzw. an das 10%-Höchstquantil für den Luftporenanteil n_a erreicht werden.

Bereich	Bodengruppen	D_{Pr} in %	n_a in Vol.-%
Planum bis 1,00 m Tiefe bei Dämmen, Planum bis 0,50 m Tiefe bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	–
1,00 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98	–
Planum bis Dammsohle, Planum bis 0,50 m Tiefe bei Einschnitten	GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OU ¹⁾ , OT ¹⁾	97	12 ²⁾

1) Für Böden der Gruppen OU und OT gelten die Anforderungen nur dann, wenn ihre Eignung und Einbaubedingungen gesondert untersucht und im Einvernehmen mit dem Auftraggeber festgelegt wurden.

2) Wenn die Böden nicht verfestigt oder qualifiziert verbessert werden, empfiehlt sich eine Anforderung an das 10%-Höchstquantil für den Luftporenanteil

- bei Einbau von wasserempfindlichen gemischt- und feinkörnigen Böden von 8 Vol.-%,
- bei Einbau von veränderlich festen Gesteinen von 6 Vol.-%.

Dies ist in der Leistungsbeschreibung anzugeben.

1.6.3 Anforderungen an das Planum

Das Planum muss profilgerecht, eben und tragfähig hergestellt werden.

Anforderungen an die Profilgerechtigkeit:

Abweichung ± 3 cm von der Sollhöhe
 ± 2 cm, wenn eine gebundene Tragschicht darüber vorgesehen ist

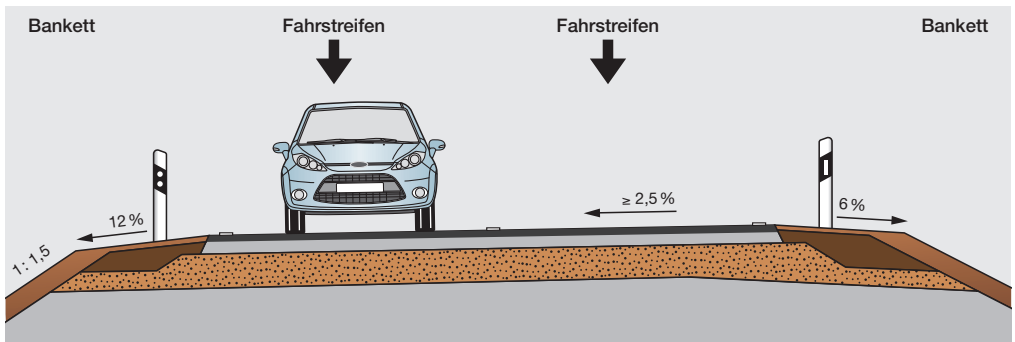
Die Querneigung des Planums soll betragen:

- > bei wasserempfindlichen Böden und Baustoffen $\geq 4,0\%$
- > nach einer Bodenbehandlung mit Bindemitteln $\geq 2,5\%$

Durch die Reduzierung der Querneigung nach einer Bodenbehandlung ergibt sich ein enormes Einsparpotenzial beim Oberbaumaterial.

Beispiel: $q_{\text{Fahrbahn}} = 2,5\%$
 $q_{\text{Planum}} = 4,0\%$
Breite Planum = 6,00 m
→ **Einsparung: ca. 0,30 m³/m**

Am hochliegenden Fahrbahnrand ist das Planum mit Gegengefälle auszubilden.



Die Randausbildung bei einer Bodenbehandlung im Planumbereich erfordert – bedingt durch die Herstellungs- bzw. Gerätetechnik – gegebenenfalls eine Überprofilierung bei Dammbauwerken.

1.12 Bodenbehandlung – Bauausführung

1.12.1 Mischverfahren

Es wird generell zwischen zwei Verfahren unterschieden, mit denen ein Boden-Bindemittel-Gemisch hergestellt werden kann.

> **Mixed-in-Plant (Zentralmischverfahren)**

Wenn die Ausführung des Baumischverfahrens technisch nicht möglich (z. B. Schächte, Straßenabläufe, Straßenverbreiterungen, Bauwerksbereiche, Gräben usw.) oder unwirtschaftlich ist, können im Zentralmischverfahren hergestellte Boden-Bindemittel-Gemische eingebaut werden.

Die Herstellung eines Boden-Bindemittel-Gemisches bei Bodenbehandlungen im Zentralmischverfahren ist in der Regel nicht wirtschaftlich durchführbar.

> **Mixed-in-Place (Baumischverfahren)**

Das Mixed-in-Place-Verfahren ist das gängige Bauverfahren in der Bodenbehandlung.

Das Mischgerät fährt auf der für die Bodenbehandlung vorbereiteten Schicht und arbeitet das zuvor aufgebrachte Bindemittel und gegebenenfalls erforderliches Wasser ein.

Dabei sind in Abhängigkeit vom Ort der Entnahmestelle und der Einbaustelle Variationen in der Reihenfolge der einzelnen Arbeitsgänge möglich.

> **Sonderform**

Kann am Einbauort kein Mischgerät eingesetzt werden (bei Fahrbahnverbreiterungen, Leitungsgrabenverfüllungen, Bauwerkshinterfüllungen, in Bereichen von Ortslagen, in denen Bindemittelverwehungen vermieden werden müssen, usw.), so ist die Verteilung und Einmischung des Bindemittels an der Abtragstelle möglich. Das Boden-Bindemittel-Gemisch wird anschließend zur Einbaustelle transportiert, eingebaut und verdichtet.

1.12.2 Stauffreie Bindemittelzugabe

Der in den WR 240, WR 240 i oder WR 250 optional integrierte Bindemittelstreuer „S-Pack“ (Spreader-Pack) dient zur stauffreien Bindemittel-ausbringung im Kaltrecycling und in der Bodenstaubilisierung. Mikroprozessorgesteuert legt er Kalk oder Zement direkt vor dem Fräs- und Mischrotor ab. Speziell auf Autobahnen, in Gewerbegebieten mit strengen Emissionsvorgaben, in Wohn- oder Naturschutzgebieten steht „S-Pack“ für eine sichere und vor allem stauffreie Verarbeitung von Bindemitteln.

Die vollständige Befüllung des Streuers erfolgt in weniger als fünf Minuten. Einen üblichen 27-t-Silozug entleert der „S-Pack“ innerhalb von zwei Stunden. Bedienung und Überwachung des Streuvorgangs erfolgen intuitiv über das vorhandene Steuerungsdisplay. Die extreme Geländegängigkeit der WR-Baureihe erlaubt, Bindemittel nun auch dort sicher und präzise auszutragen, wo schwer beladene, selbstfahrende Bindemittelstreuer nicht mehr einsatzfähig sind.



2.2 Terminologie

Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln unterscheiden sich in der Technologie, dem Ausgangsmaterial und dem Mischverfahren in

> **Verfestigung mit hydraulischen Bindemitteln**

Verfestigungen sind Bauverfahren zur Erhöhung der Widerstandsfestigkeit von ungebundenen Tragschichten gegen Beanspruchungen durch Verkehr und Klima. Das Baustoffgemisch wird nachträglich verdichtet. Dabei werden den Böden und/oder Baustoffgemischen im Baumisch- oder Zentralmischverfahren hydraulische Bindemittel und Wasser zugemischt.

- Baumischverfahren

Das Mischgerät fährt auf der für die Verfestigung vorbereiteten Schicht; es reißt diese auf und mischt das vorgesehene hydraulische Bindemittel und das noch erforderliche Wasser ein.

- Zentralmischverfahren

Der Boden oder das Gesteinskörnungsgemisch wird mit dem vorgesehenen Bindemittel und dem Wasser (Zugabewasser) in stationären Mischanlagen gemischt, zur Baustelle transportiert und dort eingebaut.

> **Hydraulisch gebundene Tragschichten**

(HGT, ausschließlich im Zentralmischverfahren hergestellt)

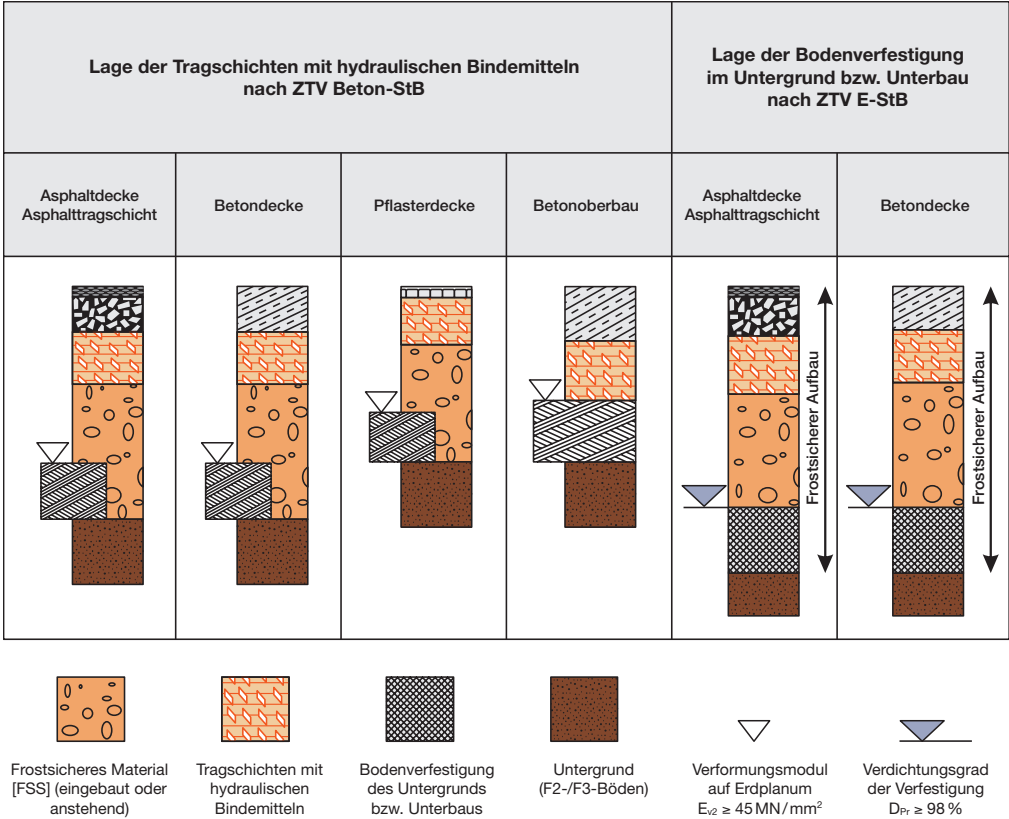
Hydraulisch gebundene Tragschichten (HGT) bestehen aus ungebrochenen und/oder gebrochenen Baustoffgemischen und hydraulischen Bindemitteln. Die Korngrößenverteilung muss innerhalb vorgegebener Sieb-linienbereiche liegen. Das Einbaugemisch muss in Mischanlagen hergestellt werden.

> **Betontragschichten**

Betontragschichten sind Tragschichten aus Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2.



2.3 Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln nach ZTV Beton-StB und Bodenverfestigung nach ZTV E-StB



2.6.3 Gesteinskörnungen und Baustoffgemische für Betontragschichten

Gesteinskörnungen wie in Absatz 2.6.2, Gesteinskörnungen und Baustoffgemische für HGT, jedoch mit der Einschränkung, dass geeignete SFA nicht als Zusatz zu den Gesteinskörnungen, sondern

nur als Zusatzstoff eingesetzt werden kann. Die einzuhaltenden Sieblinien richten sich nach den Anforderungen von DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 (siehe auch Anlage 8).



2.6.4 Hydraulische Bindemittel

Als Bindemittel werden Zemente nach DIN EN 197 nach DIN 18506 (Festigkeitsklassen 12,5 und 32,5)
oder DIN 1164-10 entsprechend Tabelle verwendet.
oder hydraulische Boden- und Tragschichtbinder

Hauptzementarten	Bezeichnung der Zementarten	Hauptbestandteile		
CEM I	Portlandzement			
CEM II	Portlandhüttenzement	A/B	S	Hüttensand
	Portlandsilicastaubzement	A	D	Silicastaub
	Portlandpuzzolanzement	A/B	P/Q	Puzzolane
	Portlandflugaschezement	A	V	Flugasche
	Portlandschieferzement	A/B	T	Schiefer
	Portlandkalksteinzement	A	LL	Kalkstein
CEM II-M	Portlandkompositzement	A	S-D, S-T, S-LL	
			S-P, S-V	
			D-T, D-LL, D-P	
			D-V	
			T-LL	
			P-V, P-T, P-LL	
			V-T, V-LL	
		B	S-D, S-T, S-P	
			D-T, D-P	
			P-T	
CEM III	Hochofenzement	A	S	
		B	S	
CEM IV	Puzzolanzement	B	P ¹⁾	
CEM V	Kompositzement	A	S-P ²⁾	
		B		

¹⁾ Gilt nur für Trass nach DIN 51043 als Hauptbestandteil bis max. 40 M.-%

²⁾ Gilt nur für Trass nach DIN 51043 als Hauptbestandteil