

Verfahren zur Aufbereitung von Böden

Anwendungsbeispiele und Erfahrungen bei der Behandlung von Böden mit Bindemittel



Abb. 1: Moderne Bodenfräse

ERIK SCHUHMACHER

Die Aufbereitung von Böden mit einer modernen Bodenfräse kann die Verarbeitung von Böden und deren Wiederverwendung deutlich verbessern. Die zusätzliche Zugabe von Bindemittel eröffnet weitere Möglichkeiten für den Einbau. Die Maßnahmen vereint das Ziel, den vorhandenen Boden bzw. Fels derart aufzubereiten, dass die jeweiligen geforderten erdbautechnischen Anforderungen am Einbauort eingehalten werden. Durch diese Art der Aufbereitung können Böden wiederverwendet und natürliche Ressourcen sowie Deponiekapazitäten geschont werden.

Einleitung

Im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) [1] und der ab August 2023 geltenden Ersatzbaustoffverordnung (EBV) [2] ist eine hohe Verwertungsquote anzustre-

ben. Dies bedeutet, dass Aushubmassen dem Stoffkreislauf wieder zugeführt und in technischen Bauwerken eingebaut werden (hochwertige Verwertung). Die Deponierung (Beseitigung) und damit der Ausschluss aus dem Stoffkreislauf soll weitestgehend unterbunden werden.

Am Einbauort gelten entsprechende erdbautechnische Anforderungen an das Material. Diese Anforderungen können oftmals nur in Verbindung mit einer entsprechenden Aufbereitung erfüllt werden. Durch die Kombination aus der Aufbereitung mittels moderner Bodenfräse und dem Hinzufügen von Bindemittel können viele erdbautechnische Parameter beeinflusst und verbessert werden. Die entsprechenden Rezepturen werden im Vorfeld anhand von Eignungsprüfungen im Labor ermittelt.

Bodenaufbereitung mittels moderner Bodenfräse

Durch den Einsatz einer modernen Bodenfräse lassen sich Böden bis in einer Tiefe von ca. 50 cm bearbeiten. Durch die Bear-

beitung können folgende positive Effekte erzielt werden:

- Erzeugen eines homogenen Bodengemischs
- gleichmäßiger Wassergehalt
- gleichmäßige Körnung, Reduzierung von Fehlkörnungen durch das Einmischen von Ausgleichsmaterialien
- Auflockern von Böden.

Durch die Aufbereitung mittels Bodenfräse lassen sich bis zur o.g. Arbeitstiefe homogene Gemische erzielen (Abb. 1).

Bodenbehandlung mit Bindemittel

Durch die Bodenbehandlung mit Bindemittel (Abb. 2) können nahezu alle Bodenarten aufbereitet und entsprechend wiedergebaut werden. Ausnahmen bilden organische und sulfathaltige Böden. Bei dem Verfahren werden üblicherweise folgende Bindemittelarten eingesetzt:

- Ungelöschter Weißfeinkalk
- Zemente
- Tragschichtbinder
- Mischbindemittel (Kalk-Zement-Gemische).

Durch den gezielten Einsatz des geeigneten Bindemittels und der Bindemittelmenge wird die Einbaufähigkeit von unbrauchbaren Böden wiederhergestellt. Gemäß ZTV E StB 17 [3] werden drei verschiedene Qualitätsstufen unterschieden.

Bodenverbesserung

Bei der Bodenverbesserung steht die Reduzierung des natürlichen Wassergehaltes im Vordergrund. Durch das Einmischen von Bindemittel wird der natürliche Wassergehalt reduziert, sodass zu feuchte Böden

wieder verdichtbar sind und wieder eingebaut werden können. Durch den korrekt eingestellten Einbauwassergehalt können die erdbautechnischen Anforderungen an den Verdichtungsgrad und Luftporengehalt erreicht werden. Am effektivsten wird die Wassergehaltsreduktion mit ungelöschem Weißfeinkalk erreicht.

Je nach Bodenart und Anforderung werden oftmals auch Mischbindemittel eingesetzt. Insbesondere auf dem Planum ist neben dem Verdichtungsgrad auch eine Tragfähigkeit gefordert. Feinkörnige Böden liefern mitunter selbst bei Erreichen des geforderten Verdichtungsgrades nicht die geforderte Tragfähigkeit. Durch den Einsatz von Mischbindemittel kann die Tragfähigkeit effektiv erhöht werden. Durch die hydraulische Wirkung wird darüber hinaus ein gewisser Witterungsschutz erzielt sowie der Widerstand des Bodens gegen Erosion erhöht. Gerade bei hohen Dammböschungen ist ein erhöhter Widerstand gegen Erosion erwünscht. Bodenverbesserungen können z.B. bei Dammschüttungen, Geländeauffüllungen oder bei der Herstellung des Planums zur Anwendung kommen.

Qualifizierte Bodenverbesserung

Bei der Qualifizierten Bodenverbesserung werden gezielt einzelne Parameter bzw. Eigenschaften des Bodens verändert. Hier geht es um die Langzeitwirkung. Im Wesentlichen können folgende Eigenschaften verbessert werden:

- Tragfähigkeit
- Scherfestigkeit
- Erosionswiderstand
- Verringerung der Verformung
- Verringerung der Frostempfindlichkeit.

Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F3 können durch die Qualifizierte Bodenverbesserung in die Frostempfindlichkeitsklasse F2 eingestuft werden. Die Mächtigkeit der Frostschuttschicht kann um 10 cm reduziert werden.

Die Qualifizierte Bodenverbesserung kommt bei Dammschüttungen, Hinterfüllungen und bei der Herstellung des Planums zum Einsatz.

Bodenverfestigung

Bei der Bodenverfestigung geht es um die Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Bodeneigenschaften. Die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen die Beanspruchung durch Verkehr und Klima wird durch die Zugabe von Bindemittel (Zement/Tragschichtbinder) erhöht. Der Boden wird dauerhaft tragfähig und frostsicher. Die Bodenverfestigung ist ausschließlich für Bauweisen im oder unterhalb des Planums gemäß der ZTV E-StB [3] vorbehalten. Die in der ZTV Beton-StB [4] unter dem Begriff „Verfestigung“ beschriebene Bauweise gehört zu den Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln im Oberbau von Verkehrsflächen.



Abb. 2: Einsatz einer Bodenfräse zum Einmischen von Bindemittel

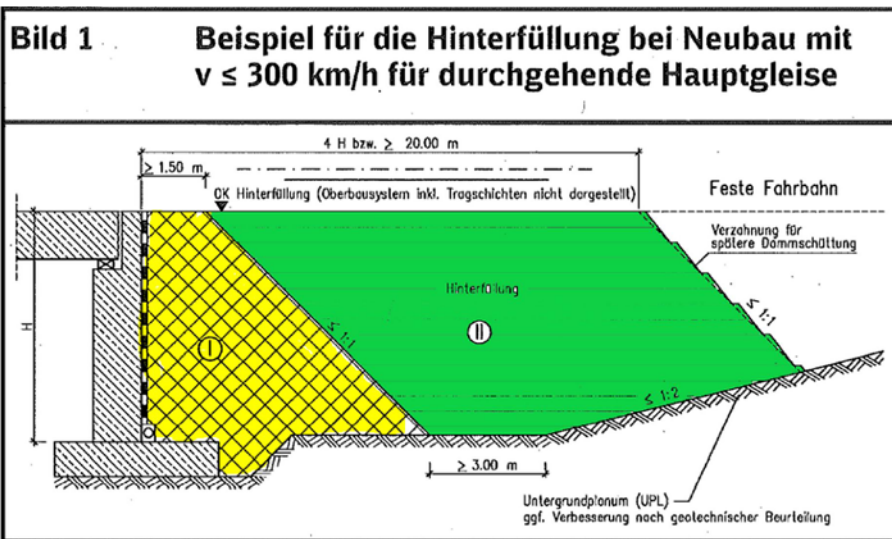


Abb. 3: Ril 836.4106 – Anforderungen an den Hinterfüllbereich bei Neubaustrecken mit $v \leq 300$ km/h
 Quelle: Ril 836.4106, Bild 1

Anwendungsbeispiele

Hinterfüllung von Bauwerken

Der Übergang zwischen Erd- und Kunstbauwerken ist in der Ril 836.4106 [5] geregelt. Je nach Geschwindigkeitskategorie der Neu- bzw. Ausbaustrecke gibt es unterschiedliche Anforderungen an den Hinterfüllbereich. Zum einen unterscheiden sich die Abmessungen des Arbeitsraumes und zum anderen die erdbautechnischen Anforderungen. Wie aus der Abb. 3 ersichtlich, unterteilt sich der Hinterfüllbereich in zwei Bereiche. Im Bereich I muss eine Qualifizierte Bodenverbesserung ausgeführt werden. Entgegen den Vorgaben der ZTV E-StB 17 [3] gilt es im Rahmen der Eignungsprüfung eine erhöhte

einaxiale Druckfestigkeit von $1,0 \text{ N/mm}^2$ an 28 Tagen alten Probekörpern nachzuweisen. Im Bereich II ist ebenfalls eine Qualifizierte Bodenverbesserung auszuführen, hier gilt eine einaxiale Druckfestigkeit von $0,7 \text{ N/mm}^2$. Sofern im Bereich II grobkörnige Böden verwendet werden, kann auf die Qualifizierte Bodenverbesserung verzichtet werden. Durch die Qualifizierte Bodenverbesserung können auch gemischt- und feinkörnige Böden eingebaut werden (Abb. 4).

Sanierung von Bestandsstrecken

Bei der Sanierung von Bestandsstrecken sind oftmals Schwachpunkte im Untergrund vorhanden. In diesen Bereichen wurde das Gleis oftmals nachgestopft („Schottersäcke“). Der

Untergrund ist inhomogen und weist unterschiedliche Tragfähigkeiten auf (Abb. 5). Durch den gezielten Einsatz einer Bodenverbesserung lassen sich die meisten Böden homogenisieren und deren Tragfähigkeit entsprechend erhöhen, sodass je nach Streckentyp sogar auf den Einbau von weiteren Schutzschichten verzichtet und der Schotteroberbau direkt auf dem verbesserten Boden hergestellt werden kann. Durch die Bodenverbesserung werden die vorhandenen Böden nicht entsorgt, sondern aufbereitet. Mit der Verbesserung wird ein homogener Unterbau geschaffen. Dadurch werden wertvolle natürliche Ressourcen sowie Deponiekapazitäten geschont. Die Anzahl der Materialtransporte wird ebenfalls deutlich reduziert.

Festgestein

Festgesteine bzw. steinhaltige Böden müssen vor dem qualifizierten Einbau im Erdbau zerkleinert werden. Eine Alternative zu einer Brecheranlage kann der Einsatz von Felsbrecherfräsen darstellen. Durch deren Einsatz lassen sich homogene Einbaugemische herstellen. Gerade bei veränderlich festen Gesteinen ist eine ausreichende Zerkleinerung unumgänglich. Diese Gesteine verlieren unter atmosphärischem Druck ihre innere Bindung und Festigkeit und zerfallen zu einem feinkörnigen Boden. Insbesondere bei Wassergehaltsänderungen durch wiederholte Trocknungs- und Befeuchtungsvorgänge oder Frost- und Tauprozesse erfolgt der Zerfall in kurzer Zeit. Die Folge sind lastunabhängige Sackungen. Bei einer ausreichenden Zerkleinerung und Homogenisierung kann ein Einbau von veränderlich festen Gesteinen gefahrlos erfolgen (Abb. 6).



Abb. 4: Durchführung der Qualifizierten Bodenverbesserung im Hinterfüllbereich

**Mit ECM-
Zertifizierung**

Mehr Informationen unter:



Der Schienen- bändiger

Der Zweiwegebagger A 922 Rail Litronic

Das perfekt abgestimmte Hydrauliksystem kombiniert mit dem Liebherr-Schnellwechselsystem LIKUFIX macht den Zweiwegebagger auf jeder Baustelle zum flexiblen und kontinuierlichen Leistungsträger.

www.liebherr.com

LIEBHERR

Zweiwegebagger





Abb. 5: Inhomogener Untergrund



Abb. 6: Einsatz einer Felsbrecherfräse zum Zerkleinern von veränderlich festen Gesteinen

Anwendung in der Praxis

Eignungsprüfung

Grundlage für die Behandlung von Böden mit Bindemittel ist eine Eignungsprüfung. Hierbei werden im bodenmechanischen Labor die geforderten Parameter mit verschiedenen Bindemittelgehalten ermittelt. In dem zugehörigen Prüfbericht wird die Rezeptur ausgearbeitet. Die Rezeptur enthält i. d. R. folgende Angaben:

- Bindemittelart
- Bindemittelmenge bezogen auf einen m^3 Boden
- Aufstreuungmenge bezogen auf eine Fläche von einem m^2
- Einbauwassergehalt.

Für eine aussagekräftige und anwendungsbezogene Eignungsprüfung ist eine repräsentative Probenahme unumgänglich. Hierbei gilt es wichtige Fragestellungen zu berücksichtigen:

- Bauablauf: Welche Böden kommen wann und wo zum Aushub?
- Werden Böden separiert, sind u. U. mehrere Eignungsprüfungen erforderlich.
- Kommen verschiedene Bodenarten zum Aushub und werden nicht separiert, ist im Labor eine praxisnahe Mischprobe herzustellen.

Je nach Umfang der Eignungsprüfung ist eine Probemenge von 100 kg bis 300 kg erforderlich. Der Zeitbedarf für die Durchführung der Prüfung beträgt je nach Art der Bodenbehandlung:

- Bodenverbesserung: fünf Arbeitstage
- Qualifizierte Bodenverbesserung: zwei bis fünf Wochen
- Bodenverfestigung: fünf bis sieben Wochen.

Einbauwassergehalt

Für eine erfolgreiche Ausführung der Bodenbehandlung mit Bindemittel ist der richtige Einbauwassergehalt wichtig. Dieser wird bei einer Bodenverbesserung normalerweise durch die Zugabe von z. B. Kalk oder Mischbindemittel eingestellt, um die geforderten Verdichtungswerte zu erzielen.

Bei der Qualifizierten Bodenverbesserung und Bodenverfestigung wird der optimale Wassergehalt des Boden-Bindemittel-Gemisches über eine zusätzliche Wasserzugabe eingestellt. Idealerweise erfolgt diese über das Eindüsen direkt in die Frästrommel der Bodenfräse. Die Wasserzugabe kann somit litergenau erfolgen. Durch die Zugabe in die Frästrommel wird das Wasser gleichmäßig mit dem Boden vermischt (Abb. 7).

Homogenisierung des Bodens

Das Bindemittel und eventuell zusätzliches Wasser müssen gleichmäßig im Boden verteilt werden. Das Ziel ist eine einwandfreie Homogenisierung des Boden-Bindemittel-Gemisches bis zur augenscheinlich gleichmäßigen Färbung (keine Schlieren), einem



Abb. 7: Bodenfräse mit Wasserwagen

gleichmäßigen Wassergehalt und einer feinkrümeligen Bodenstruktur. Die Anzahl der Fräsübergänge (Abb. 8) ist abhängig vom Boden:

- grob bis schwach gemischtkörniger Boden: i. d. R. ein Fräsgang
- stark gemischt- bis feinkörniger Boden: i. d. R. zwei bis drei Fräsgänge.

Reaktionszeit und Temperaturen

Die Reaktion des Bindemittels beginnt durch den Kontakt mit dem feuchten Boden. Die Reaktionszeit definiert die Zeit zwischen dem Ausstreuen des Bindemittels und dem Abschluss des Verdichtens des Boden-Bindemittel-Gemisches. In dieser Zeitspanne müssen folgende Arbeitsschritte erfolgen:

- Bindemittel ausstreuen
- Bindemittel einfräsen
- Boden-Bindemittel-Gemisch verdichten
- Einebnen mittels Grader oder Raupe.

Reaktionszeiten:

- Tragschichtbinder und Zement: max. eineinhalb bis zwei Stunden (< 20 °C <)
- Mischbindemittel: max. drei bis vier Stunden (< 20 °C <).

Ein Überschreiten der Reaktionszeit führt unweigerlich zu einem Qualitätsverlust. Von daher ist eine gute Vorbereitung und Planung bei der Ausführung wichtig. Bei der Arbeitsvorbereitung sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Anzahl der Grader, Raupen und Walzen sind in Abhängigkeit von der Fräsfläche zu wählen.
- Anlegen von kompakten Fräsfeldern, damit zeitnah nach Abschieben mit dem Verdichten begonnen werden kann.
- Überlappen beim Fräsen.

Bei der Ausführung ist zudem die Aufstreuung des Bindemittels zu kontrollieren. Dies kann mit einem entsprechenden Prüfblech

erfolgen oder über die computergesteuerte Verwiegeeinheit des Streufahrzeugs. Weiterhin ist das Fräsgut händisch zu kontrollieren (Fräsbild, Feuchtigkeit).

Gefrorene Böden können nicht mit Bindemittel behandelt werden. Das Bindemittel benötigt

i. A. eine Bodentemperatur von mindestens 5 °C zum Einmischen. Danach darf zusätzlich für die mindestens drei darauffolgenden Tage kein Frost auftreten. Als Schutzmaßnahme dagegen kann der verbesserte Boden überschüttet werden.



SIDLA & SCHÖNBERGER
Spezialtiefbau GmbH



**Bodenverfestigung im
Fräs-Misch-Injektionsverfahren**

- tiefgründige Bodenverfestigung im Verkehrswegebau
- Sicherung von Straßenschultern
- Dichtwandherstellung
- Immobilisierung von Schadstoffen

Fleiß. Sachverstand. Erfindergeist.

Iggensbacher Str. 40, D-94508 Schöllnach, Tel. +49(0)99 03/9 31 80
 Untergasse 10, D-55546 Volxheim, Tel. +49(0)67 03/96 02 36
www.sidla-schoenberger.de, info@sidla-schoenberger.de

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Leonhard Weiss GmbH & Co. KG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DWV Media Group GmbH



Abb. 8: Fräsbild eines feinkörnigen Bodens

Fazit

Mit der Einführung der EBV [2] wird dem hochwertigen Verwerten von Böden in technischen Bauwerken eine noch größere Rolle zugeschrieben. Es lohnt sich aus Gründen der Nachhaltigkeit und auch der Wirtschaftlichkeit, die zum Aushub gelangenden Böden genau zu untersuchen, um ihre Eigenschaften bewerten zu können. Durch die gezielte Aufbereitung können die Böden an die jeweilige Einbausituation angepasst werden. Dadurch können wertvolle Rohstoff- und Deponieressourcen geschont werden. ■

QUELLEN

- [1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG), 24.02.2012, Stand 23.10.2020
- [2] Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung (EBV), 09.07.2021
- [3] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB Ausgabe 2017), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) Arbeitsgruppe „Erd- und Grundbau“, FGSV-Nr. FGSV 599
- [4] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (ZTV Beton-StB Ausgabe 2007), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) Arbeitsgruppe „Betonbauweisen“, FGSV-Nr. FGSV 899 ZTV Beton StB
- [5] Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, RII836, DB Netz AG, Ausgabe Mai 2022

VDE *Fachausschuss*
GEOTECHNIK



Dipl.-Ing. Erik Schuhmacher
Leiter Fachbereich Geotechnik
Leiter RAP Stra-Prüfstelle in Plankstadt
Leonhard Weiss GmbH & Co. KG,
Satteldorf
e.schuhmacher@leonhard-weiss.com



14. - 15. November 2023
Darmstadtium, Darmstadt

Die Schwerpunkte für die Zukunft des Bahnbaus:

- Klimawandel & Umweltschutz
- Instandhaltungsstrategie

Weitere Informationen unter:
www.bahnbau-kongress.com

