

Eignung von Boden-Bindemittel-Gemischen als Baustoff für den Hinterfüllbereich von Bauwerken

FA 5.184

Forschungsstelle: Baugrund Dresden Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden

Bearbeiter: Botor, P. / Tost, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: November 2017

1 Aufgabenstellung

Jährlich fallen bei Erdbauarbeiten mehrere Millionen Tonnen Bodenaushub an, die nicht wieder eingebaut werden. Die als bautechnisch ungeeignet eingestuftes Bodenmengen werden oft als mineralische Restmassen deponiert. Im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaft und um dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz besser gerecht zu werden, ist der qualifizierte Wiedereinbau zum Beispiel am Gewinnungsort anzustreben. Dabei werden jedoch Anforderungen an das einzubauende Material gestellt, um einen dauerhaften und setzungsarmen Übergang vom Ingenieurbauwerk zum Erdbauwerk zu gewährleisten. Dieser Übergangsbereich von dem steifen Ingenieurbauwerk zu dem relativ weichen Erdbauwerk ist besonders anfällig für eintretende Setzungsunterschiede (Bild 1).

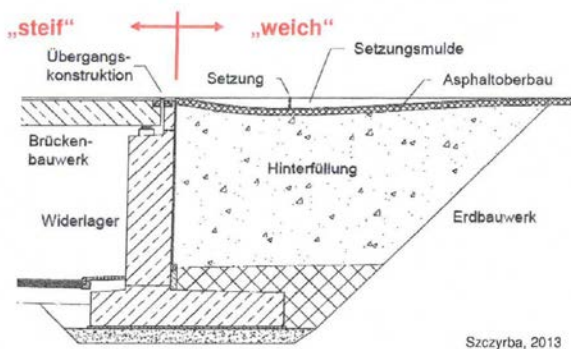


Bild 1: Schematische Darstellung des Übergangsbereichs vom Ingenieurbauwerk zum Erdbauwerk

Für einen qualifizierten Wiedereinbau im Hinterfüllbereich von Ingenieurbauwerken sind vorwiegend grobkörnige Böden wie Kiese und Sande geeignet. Das führte in der Regel dazu, dass anstehendes Bodenmaterial aus fein- und gemischtkörnigen Böden nicht für Hinterfüllbereiche genutzt und unter Umständen abtransportiert wurde. In diesen Fällen musste bisher qualifiziertes Material (zum Beispiel grobkörnige Böden) geliefert und eingebaut werden. Die ausgehobenen Böden können jedoch, durch das Einmischen von Bindemitteln wie Kalk oder Zement beziehungsweise Mischbindemitteln, in ihren mechanischen Eigenschaften soweit verbessert werden, dass sie ebenfalls die Anforderungen an Materialien im Hinterfüllbereich erfüllen.

Mit dem von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in Auftrag gegebenen Forschungsvorhaben "Eignung von Boden-Bindemittel-Gemischen als Baustoff für den Hinterfüllbereich von Bauwerken" soll zu einer Verbesserung des Kenntnisstands hinsichtlich der erzielbaren mechanischen Eigenschaf-

ten bei qualifiziert bindemittelverbesserten fein- und gemischtkörnigen Böden und somit zu innovativen und nachhaltigen Bauweisen führen.

2 Untersuchungsmethodik

Für die Untersuchung der Eigenschaften von bindemittelbehandelten Böden und deren Eignung zur Anwendung im Hinterfüllbereich von Bauwerken wurden ein feinkörniger Boden (TL) und ein gemischtkörniger Boden (ST*) ausgewählt. Beide Böden wurden unter Verwendung von je zwei Bindemittelarten untersucht. Die Untersuchungen an Boden TL erfolgten mit einem Weißkalkhydrat (CL 90 S) sowie einem Mischbindemittel 50/50 (50 % Weißkalkhydrat/50 % Zement). Boden ST* wurde mit den Mischbindemitteln 50/50 und 30/70 untersucht. Die Bindemittelgehalte wurden jeweils mit 3, 5 und 7 % gewählt. Damit wird die Bandbreite der üblicherweise verwendeten Bindemittelmengen erfasst.

Es wurde ein umfangreiches Untersuchungsprogramm mit insgesamt ca. 360 Laborversuchen aus einer Kombination aus einaxialen Druckversuchen, CBR-Versuchen, Triaxialversuchen, Ödometerversuchen und weiteren grundlegenden Untersuchungen an den Boden-Bindemittel-Gemischen durchgeführt, um die Eigenschaften bezüglich Festigkeit und Verformbarkeit zu bestimmen. Zuvor wurden diese Versuche ebenfalls an den jeweiligen Ausgangsböden durchgeführt, um nicht nur die erreichbaren mechanischen Eigenschaften zu benennen, sondern auch die Veränderung der mechanischen Eigenschaften durch die Bindemittelzugabe zu quantifizieren. Um die Entwicklung auch über die Zeit zu erfassen, wurden die Proben der Boden-Bindemittel-Gemische nach unterschiedlichen Lagerungszeiten nach 1 Tag, nach 7 Tagen, nach 28 Tagen und nach 28 Tagen und einem zusätzlichen Tag mit Wasserlagerung untersucht.

3 Untersuchungsergebnisse

Mit Weißkalkhydrat konnte bei Boden (TL) eine anfängliche Steigerung der einaxialen Druckfestigkeit und des CBR-Werts erreicht werden. Ein weiterer Festigkeitszuwachs bis zu einer Lagerungszeit von 28 Tagen war lediglich bei der einaxialen Druckfestigkeit feststellbar. Weiterhin findet keine signifikante Entwicklung des Steifemoduls statt. Ein eindeutiger Zusammenhang zum Bindemittelgehalt wurde nicht beobachtet.

Mit den Mischbindemitteln mit Zementanteil wurden CBR-Werte, einaxiale Druckfestigkeiten und Steifemoduln festgestellt, die ein Vielfaches des jeweiligen Werts des jeweiligen Ausgangsbodens betragen. Dabei erzielten größere Bindemittelmengen zumeist einen höheren CBR-Wert beziehungsweise eine größere einaxiale Druckfestigkeit. Beim Vergleich der beiden Versuchsarten wurde festgestellt, dass es bei der Durchführung des CBR-Versuchs nach 28 Tagen und einem Tag Wasserlagerung zu keinem erhöhten Wassergehalt innerhalb der Probe gekommen ist. Entsprechend ist auch ein Abfall des CBR-Werts nach Wasserlagerung nicht messbar.

Der Steifemodul der Ausgangsböden konnte durch die Bindemittelzugabe meist nur in geringem Maße erhöht werden. Eine

Abhängigkeit von der Bindemittelart oder -menge konnte hier nicht beobachtet werden.

Bei der Ermittlung der Scherparameter wurde festgestellt, dass es bereits bei Zugabe von Weißkalkhydrat bei Boden (TL) zu einer erheblichen Steigerung der Kohäsion und des Reibungswinkels kommt. Bei Mischbindemitteln mit Zementanteil wird diese Entwicklung noch übertroffen.

Mit den Untersuchungen wurden Gleichwertigkeitsbetrachtungen im Sinne eines Vergleichs der ermittelten Parameter mit Erfahrungswerten der Scherparameter und des Steifemoduls von herkömmlichen, grobkörnigen Hinterfüllmaterialien durchgeführt. Da die Versuchsergebnisse zur Ermittlung des Steifemoduls keine vollständige Gleichwertigkeit zu den herkömmlichen Hinterfüllmaterialien ergeben haben, wurden zusätzliche, exemplarische Setzungsberechnungen durchgeführt. Im Ergebnis wurde für die modellierten und berechneten Hinterfüllhöhen von 3, 5 und 10 m jeweils ein Setzungsbetrag resultierend aus Schwerlastverkehr von < 0,5 cm ermittelt.

Damit konnten die folgenden Schlüsse aus der Gleichwertigkeitsbetrachtung gezogen werden, wobei eine Zusammenfassung in Tabelle 1 enthalten ist.

- Es konnte für alle Boden-Bindemittel-Gemische eine geringere Frostempfindlichkeit nachgewiesen werden.
- Es konnte für alle Boden-Bindemittel-Gemische ein gleichwertiges Setzungsverhalten, aufgrund der ermittelten und als unproblematisch eingeschätzten rechnerischen Setzungen, nachgewiesen werden. Die Betrachtung des Steifemoduls ergab jedoch keinen hinreichenden Anlass für den Nachweis einer gleichwertigen Steifigkeit.
- Die Scherparameter aller untersuchten Boden-Bindemittel-Gemische übertreffen die des als Höchstanforderung angenommenen weit beziehungsweise intermitterend gestuften Kieses (GW/GI) deutlich.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Gleichwertigkeitsbetrachtung

Ausgangsboden	Bindemittel	Gleichwertigkeit vorhanden, in Bezug auf			
		Frostempfindlichkeit	Steifigkeit	rechnerische Setzung	Scherparameter
Boden (TL)	CL 90 S	ja (F3 → F2)	nein	ja	ja (> GW/GI)
	MB 50/50	ja (F3 → F2)	ja (SE-GW/GI)	ja	ja (> GW/GI)
Boden (ST*)	MB 50/50	ja (F3 → F2)	bedingt (SE)	ja	ja (> GW/GI)
	MB 30/70	ja (F3 → F2)	bedingt (SE)	ja	ja (> GW/GI)

Folglich kann bei Anwendung einer qualifizierten Bodenverbesserung mit den hier angewendeten Bindemitteln von einer Gleichwertigkeit zu den für den Hinterfüllbereich von Bauwerken zugelassenen Böden ausgegangen werden. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Verbesserung des Materialverhaltens bei maßgeblich kalkbasierten Bindemitteln wesentlich vom Vorhandensein von reaktionsfähigen Tonmineralen im Boden abhängt.

4 Folgerungen für die Praxis

Entsprechend der beschriebenen Laborergebnisse und der Gleichwertigkeitsbetrachtung ist bei der Anwendung von bindemittelbehandelten Böden in Hinterfüllbereichen gegenüber Liefermaterial und dem damit verbundenen Abtransport sowie gegebenenfalls der Entsorgung von anstehenden Böden ein großes ökonomisches und ökologisches Potenzial ohne Einbußen bei der Herstellungsqualität vorhanden. Dieses Potenzial sollte von allen am Bau beteiligten Parteien berücksichtigt und ausgeschöpft werden.

Um die Anwendung der bindemittelbehandelten Böden zu erleichtern, wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Handlungsempfehlungen für die Praxis erarbeitet. In den Technischen Prüfbedingungen werden neben den ohnehin durchzuführenden einaxialen Druckversuchen für die Ermittlung von Scherparametern und Steifemoduln nach objektspezifischen, erdstatischen Erfordernissen die entsprechenden Versuchsar-

ten gefordert. Die erarbeiteten Empfehlungen ermöglichen die Ableitung der Scherparameter und des Steifemoduls auf Basis der einaxialen Druckversuche. Dadurch kann für Standardregelfälle auf hochwertige und zeitaufwendige Versuchsreihen verzichtet werden.

Für die Ableitung der Empfehlungen wurden empirische Methoden auf der Datenbasis der hier durchgeführten Laborversuche verwendet. So konnten für drei, von der einaxialen Druckfestigkeit abhängige, boden- und bindemittelübergreifende Bereiche prinzipiell erreichbare Scherparameter ermittelt werden. Für die Abschätzung des Steifemoduls anhand einaxialer Druckversuche konnte ein empirischer Abminderungsfaktor bestimmt werden, mit dem unter Anwendung der Elastizitätstheorie eine gute Näherung zu den im Laborversuch ermittelten Steifemoduln erreicht werden konnte.

Auf Basis der Erfahrungen während der Bearbeitung des Forschungsvorhabens werden die folgenden Empfehlungen für eine Prüfanleitung basierend auf den vorhandenen Technischen Prüfvorschriften gegeben:

- Bei den für die Untersuchung der Ausgangsböden genannten Prüfungen in den Technischen Prüfvorschriften sind keine Anpassungen erforderlich.
- Proctorversuche für die Bestimmung der veränderten Verarbeitbarkeit der Boden-Bindemittel-Gemische sind mit der derzeit vorgeschriebenen Vorgehensweise zielführend und ausreichend.

- Für die Prüfung der erreichbaren Materialparameter der qualifizierten Bodenverbesserung sollten einaxiale Druckversuche verwendet werden. Hierbei sollte der Festigkeitsabfall nach Wasserlagerung ebenfalls untersucht werden. Anpassungen an die Versuchsdurchführung sind nicht erforderlich.

Da mit den Versuchsergebnissen gezeigt werden konnte, dass alle einaxialen Druckfestigkeiten einen Wert von $\geq 500 \text{ kN/m}^2$ ausweisen und für diese Rezepturen eine Gleichwertigkeit zu den herkömmlichen grobkörnigen Hinterfüllmaterialien nachgewiesen werden konnte, wird abschließend empfohlen, die Anforderung der ZTV E-StB 09 bezüglich der Mindestdruckfestigkeit von 5 N/mm^2 ($\approx 500 \text{ kN/m}^2$), welche bisher für eine Verringerung der Frostempfindlichkeit gilt, als Mindestkriterium an eine qualifizierte Bodenverbesserung für den Einsatz im Hinterfüllbereich zu übernehmen. Weiterhin wird empfohlen, die Anforderung an den maximalen Festigkeitsabfall nach Wasserlagerung mit 50 % beizubehalten.