

Baustoffe für standfeste Bankette

FA 5.177

Forschungsstelle: Technische Universität München, Zentrum Geotechnik (Prof. Dr.-Ing. N. Vogt)
 Bearbeiter: Heyer, D. / Koukoulidou, A. / Birle, E.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
 Abschluss: Oktober 2014

1 Aufgabenstellung

Materialien für die Banketherstellung müssen zwei Anforderungen erfüllen, die von verschiedenen Bestandteilen der Böden gewährleistet werden. Aus Gründen der Verkehrssicherheit müssen sie einerseits eine dauerhaft hohe Tragfähigkeit aufweisen, damit von der Fahrbahn abkommende Fahrzeuge nicht einsinken und verunfallen. Die Tragfähigkeit und Standfestigkeit der Böden wird hauptsächlich durch den Kiesanteil der Böden erreicht. Andererseits versickert im Bereich des Banketts Straßenoberflächenwasser. Da dieses Wasser straßentypische Schadstoffe enthält, müssen die Materialien ein möglichst hohes Schadstoffrückhalte- und -bindevermögen aufweisen. Dies wird durch die Sand- und Feinanteile der Böden erreicht.

Die aktuellen Anforderungen an Bankette sind in den ZTV E-StB 09 festgelegt. Für standfeste Bankette sind die folgenden Böden oder Baustoffe beziehungsweise Baustoffgemische geeignet:

1. gemischtkörnige Böden der Bodengruppen GU, GT,
2. Gemische aus gebrochenen Gesteinskörnungen, die den genannten Bodengruppen entsprechen.

Auf den so hergestellten Banketten ist eine Schicht Oberboden mit einer Dicke von 5 cm aufzubringen.

3. Schotterrasen mit einem Oberbodenanteil von 15 M.-% und einer Dicke von 20 cm.

Bei den beschriebenen Bauweisen wird nach Auffassung einiger Straßenbauverwaltungen der Länder ein Optimierungsbedarf gesehen. Aufgabe der vorliegenden Forschungsarbeit war, die oben genannten Bauweisen zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren beziehungsweise eine Bauweise für Bankette zu entwickeln, die sowohl den bau- als auch den umwelttechnischen Ansprüchen gerecht wird. Eine Lösung zeichnet sich ab, bei der die Bankette aus einem Gemisch von 0/32 mm Kies mit Feinkorn beziehungsweise Oberboden hergestellt werden. Die erforderliche Zusammensetzung im Sinne eines möglichst hohen Feinkornanteils bei Gewährleistung einer ausreichenden Tragfähigkeit war durch Untersuchungen im Labor- und Technikumsmaßstab zu ermitteln. Dazu wurden verschiedene Gemische von Böden und Baustoffen der Körnung 0/32 mm mit unterschiedlichen Feinkorn- beziehungsweise Oberbodenanteilen in Bezug auf ihre Verdichtungseigenschaften, Tragfähigkeit und Durchlässigkeit untersucht.

2 Versuchsmischungen

Drei Materialien mit einem Größtkorn von 32 mm wurden für die Herstellung unterschiedlicher Mischungen verwendet:

- eine ungebrochene Gesteinskörnung (RK), die als weit gestufter Kies (GW) klassifiziert ist,
- eine gebrochene Gesteinskörnung (BK), die einem weit gestuften Kies (GW) beziehungsweise einem schluffigen Kies (GU) zugeordnet werden kann und
- eine rezyklierte Gesteinskörnung (RC), die einem weit gestuften Kies (GW) entspricht.

Diesen Materialien wurden zwei unterschiedliche Böden zugegeben, um Mischungen mit verschiedenen Feinkornanteilen herzustellen. Hierbei handelte es sich zum einen um einen feinkörnigen Boden aus der Kieswäsche (Si), der nach DIN 18196 einem leicht plastischen Ton (TL) zugeordnet werden kann. Zum anderen wurde ein gesiebter Oberboden (Ob) der Körnung 0/0,5 mm herangezogen, der einen organischen Anteil von 8,5 % aufweist und einem mittelplastischen Ton (TM) entspricht. Insgesamt wurden 18 Mischungen untersucht (Tabelle 1).

Die Namensgebung der Mischungen orientiert sich an den Ausgangsmaterialien und dem Feinanteil. Die ersten zwei Buchstaben bezeichnen das 0/32 mm-Material (RK, BK, RC), gefolgt von der Ziffernfolge für die feinkörnigen Materialien (Si für Kieswäsche, Ob für Oberboden und SiOb, wenn beide verwendet werden). Die letzten beiden Ziffern und der Buchstabe F bezeichnen den Zielwert für den Feinanteil der jeweiligen Mischung.

3 Laboruntersuchungen

3.1 Vorgehen

Für die Bestimmung der Bodeneigenschaften wurden Versuche sowohl im Labor als auch im Technikumsmaßstab durchgeführt. Für alle Versuchsböden wurde die Korngrößenverteilung nach DIN 18123 bestimmt, um die Materialien zu klassifizieren und den Feinkornanteil nachzuweisen. Des Weiteren wurden Proctorversuche nach DIN 18127 durchgeführt, um die Verdichtungseigenschaften der Mischungen zu ermitteln. Die gesättigte Durchlässigkeit wurde für zwei Einbaubedingungen bestimmt ($D_{Pr} = 100\%$ und $D_{Pr} = 97\%$). Abhängig vom Feinkornanteil der Proben wurden die Versuche in Proctor- beziehungsweise Druckzellen durchgeführt. In Bezug auf die Tragfähigkeit wurden im Labor in Kombination mit den Proctorversuchen CBR-Versuche nach TP BF-StB, Teil B 7.1, vorgenommen.

3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die ermittelten CBR-Werte für die Mischungen aus ungebrochenen, gebrochenen und rezyklierten Gesteinskörnungen sind in Bild 1, 2 und 3 dargestellt.

Der Feinkornanteil der hergestellten Mischungen aus RK variiert zwischen 9 und 17,7 M.-%. Bei den Mischungen aus BK weisen alle Mischungen im Vergleich zu dem Zielwert einen geringeren Feinkornanteil auf (ca. -1,5 M.-%). Die Werte liegen zwischen 6,6 und 15,5 M.-%. Bei den RC-Mischungen weichen

die Mischungen mit dem höheren Oberbodenanteil RC.SiOb.17F und RC.Ob.14F von den Zielwerten ab.

Im Hinblick auf das Verdichtungsverhalten führt die Zugabe von Si beziehungsweise Ob zu den Mischungen aus BK im Vergleich zu dem Ausgangsmaterial zu höheren Proctordichten bei gleichzeitig höherem optimalem Wassergehalt. Es zeigt sich auch, dass eine Zunahme des Oberbodenanteils zu niedrigeren Proctordichten führt. Ein ähnliches Verhalten weisen auch die RK-Mischungen mit einem Oberbodenanteil bis 10 M.-% auf. Für die Mischungen mit einem höheren Oberbodenanteil nimmt die Proctordichte wieder ab. Die Ermittlung der Proctorkurven von den RC-Mischungen wies Schwierigkeiten auf. Ein Zusammenhang zwischen den Verdichtungseigenschaften und dem Feinkornanteil ist hierbei nicht ersichtlich.

Die Durchführung von CBR-Versuchen auf Böden der Körnung 0/32 mm hat aufgrund des Größenverhältnisses von Größtkorn zum Durchmesser des Druckstempels große Streuungen ergeben. Einige Proben ergeben auch exponentiell gekrümmte Kraft-Eindringtiefe-Diagramme, die auf der Abstützung der Probe am Topf zurückzuführen ist. Die ermittelten Werte können daher nur als Orientierungshilfe für die erzielbare Tragfähigkeit verwendet werden. Die CBR-Werte liegen für die RK-Mischungen zwischen 30 und 135 %. Die Mischungen mit Si (RK.Si.08F, RK.Si.14F) sowie die Mischung RK.SiOb.11F mit 5 M.-% Oberbodenanteil weisen mit Werten zwischen 80 und 135 % die höchsten Werte auf.

Tabelle 1: Untersuchte Materialien und Ergebnisse der Laborversuche

Mischung	Bodengruppe nach DIN 18196	Feinkornanteil [M.-%]	Oberbodenanteil [M.-%]	Proctor-Optimum		Gesättigte Durchlässigkeit für $D_{Pr} = 100 \%$ k [m/s]
				wPr [%]	ρ_{Pr} [g/cm ³]	
RK.Si.08F	GU	9,0	-	5,62	2,347	$8,80 \cdot 10^{-7[D]}$
RK.Si.14F	GU/GU*	15,4	-	6,01	2,334	$1,17 \cdot 10^{-9[D]}$
RK.SiOb.11F	GU	11,0	5	5,85	2,286	$7,34 \cdot 10^{-9[D]}$
RK.SiOb.14F	GU	13,4	10	7,00	2,246	$1,42 \cdot 10^{-9[D]}$
RK.SiOb.17F	GU*	17,7	15	7,29	2,191	$1,41 \cdot 10^{-9[D]}$
RK.Ob.14F	GU	13,4	16	7,61	2,184	$2,76 \cdot 10^{-9[D]}$
BK.08F	GU	6,6	-	7,20	2,001	$3,23 \cdot 10^{-7[P]}$
BK.Si.14F	GU	12,4	-	7,68	2,203	$1,08 \cdot 10^{-4[P]}/7,55 \cdot 10^{-8[D]}$
BK.Si.17F	GU*	15,5	-	7,46	2,221	$5,28 \cdot 10^{-9[D]}$
BK.Ob.11F	GU	9,8	5	8,10	2,134	$1,04 \cdot 10^{-4[P]}$
BK.Ob.14F	GU	11,7	10	8,33	2,127	$1,95 \cdot 10^{-4[P]}$
BK.Ob.17F	GU*	15,5	15	8,45	2,116	$3,80 \cdot 10^{-9[D]}$
RC.Si.08F	GU	7,6	-	13,05	1,869	$1,69 \cdot 10^{-5[P]}$
RC.Si.14F	GU	13,2	-	12,78	1,962	$6,23 \cdot 10^{-6[P]}$
RC.SiOb.11F	GU	10,1	5	13,62	1,920	$4,33 \cdot 10^{-7[P]}$
RC.SiOb.14F	GU	14,3	10	12,52	1,954	$3,61 \cdot 10^{-7[P]}$
RC.SiOb.17F	GU/GU*	14,6	15	11,43	1,947	$3,53 \cdot 10^{-8[P]}$
RK.Ob.14F	GU	10,2	15	12,95	1,907	$9,31 \cdot 10^{-7[P]}$

[P] Versuch in Proctortopf

[D] Versuch in Druckzelle

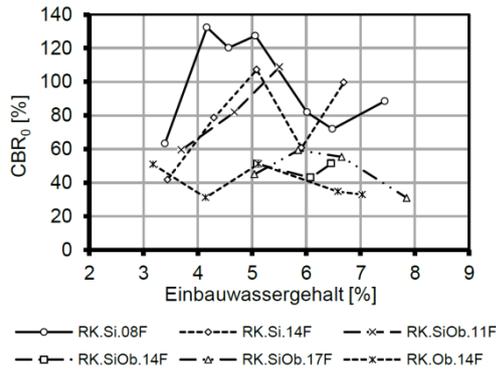


Bild 1: CBR-Ergebnisse für die Mischungen aus RK

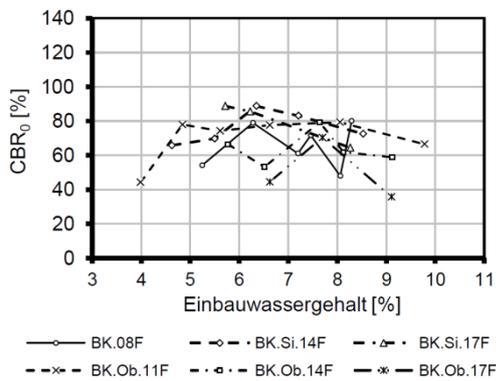


Bild 2: CBR-Ergebnisse für die Mischungen aus BK

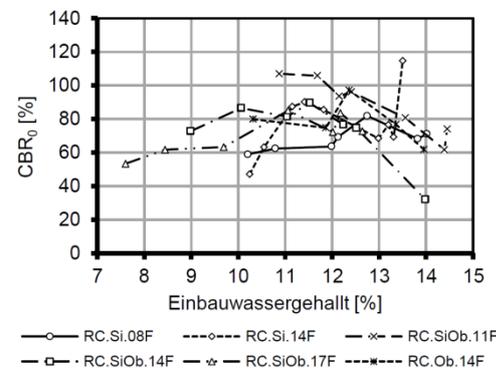


Bild 3: CBR-Ergebnisse für die Mischungen aus RC

Für die BK- und RC-Mischungen schwanken die CBR-Werte etwas geringer und liegen zwischen 45 und 90 % beziehungsweise zwischen 30 und 115 %. Trotz der Streuungen ist es für diese Mischungen erkennbar, dass ein größerer Oberbodenanteil zur Verringerung der CBR-Werte führt.

Hinsichtlich der Durchlässigkeit weisen die Materialien eine weite Spanne auf. Die ermittelten k-Werte für einen Verdichtungsgrad $D_{Pr} = 100\%$ liegen für die RK-Mischungen zwischen $8,8 \cdot 10^{-7}$ und $1,2 \cdot 10^{-9}$ m/s, für die BK-Mischungen zwischen $1,9 \cdot 10^{-4}$ und $3,8 \cdot 10^{-9}$ m/s und für die RC-Mischungen variieren sie von $1,7 \cdot 10^{-5}$ bis $3,5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Bei einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} = 97\%$ variieren die k-Werte etwas stärker und für die RK-Mischungen liegen sie zwischen $3,2 \cdot 10^{-4}$ und $1,2 \cdot 10^{-9}$ m/s, für die BK-Mischungen zwischen $4,9 \cdot 10^{-3}$ und $2,3 \cdot 10^{-6}$ m/s und für

die RC-Mischungen zwischen $8,2 \cdot 10^{-5}$ und $2,7 \cdot 10^{-7}$ m/s. Es ist festzustellen, dass ein höherer Verdichtungsgrad beziehungsweise Feinanteil prinzipiell zu niedrigeren Werten führt. Die ermittelten Werte sind von der Kornform und dem Fein- beziehungsweise Oberbodenanteil abhängig. Die Art der Versuchsmethode (Versuch im Proctortopf beziehungsweise in der Druckzelle) hat auch einen Einfluss auf die ermittelten Werte. Aufgrund der Ergebnisse ist zu empfehlen, die Durchlässigkeit von Mischungen mit einem Feinkornanteil über 10 M.-% in einer Druckzelle zu ermitteln.

4 Technikumsversuche

4.1 Vorgehen

Da die Laboruntersuchungen zur Tragfähigkeit aufgrund der grobkörnigen Bestandteile in den Mischungen starken Streuungen und Unsicherheiten unterworfen sind, musste mittels Versuchen im Technikumsmaßstab die Verbindung der Laborversuche zu den Praxisbedingungen in situ hergestellt werden.

Die Untersuchungen im Technikumsmaßstab wurden in der Versuchsgrube am Zentrum Geotechnik der Technischen Universität München durchgeführt. Sie hat eine Länge von 5,0 m und ist 3,3 m breit. Von den 18 Labormischungen wurden Versuche zur Ermittlung des Verformungsmoduls mit insgesamt vier Mischungen durchgeführt. Die Versuchsböden wurden gemäß den Laborergebnissen ausgewählt. Von den Mischungen aus ungebrochenen Gesteinskörnungen wurde die Mischung mit dem höchsten Oberbodenanteil (RK.Ob.14F) ausgewählt, da diese die niedrigsten CBR-Werte aufweist. Es konnte deshalb für die anderen RK-Mischungen davon ausgegangen werden, dass im Technikumsmaßstab mindestens so hohe Tragfähigkeiten wie an den entsprechenden untersuchten Mischungen erreicht werden. Von den RC-Mischungen wurde ebenso die Mischung mit dem höchsten Oberbodenanteil untersucht, da sie auch niedrige CBR-Werte aufweist. Von den Versuchsmaterialien aus gebrochenen Gesteinskörnungen wurde das Material BK.08F, dem kein zusätzlicher Boden zugegeben wurde, und die Mischung BK.Ob.17F mit dem höchsten Oberbodenanteil untersucht, um den Einfluss des Oberbodens auf die Tragfähigkeit zu bestimmen.

Da die Siebung des Oberbodens zum Abtrennen des Anteils größer 0,5 mm im Gegensatz zu den Laboruntersuchungen zu aufwendig gewesen wäre, wurden die Versuchsmischungen aus verschiedenen Kornfraktionen, feinkörnigem Boden aus Kieswäsche und Oberboden der Körnung 0/15 mm so zusammengesetzt, dass die hergestellten Mischungen den entsprechenden Labormischungen hinsichtlich der Kornverteilung zumindest ähneln. Die Herstellung der Mischungen wurde in der Versuchsgrube mithilfe eines Baggers vorgenommen.

Es wurden einschichtige Bankettaufbauten mit einer Dicke von 35 cm untersucht. Die Materialien wurden in einer Lage verdichtet. Als Unterlage wurde eine Schicht aus ungebrochenem Frostschutzkies verwendet. Ihre Dicke betrug unter den Versuchsmaterialien BK.08F und BK.Ob.17F 35 cm und unter den Versuchsmischungen RK.Ob.14F und RC.Ob.14F 70 cm.

Sechs statische und sechs dynamische Plattendruckversuche wurden 24 Stunden nach Einbau auf den Bankettmaterialien durchgeführt. Um den Einfluss des Wassergehalts auf die Trag-

fähigkeit zu bestimmen, wurden Versuche auch nach Bewässerung bis zur nahezu vollständigen Sättigung der Materialien durchgeführt. Die erreichten Feucht- und Trockendichten wurden mit dem Ballonverfahren ermittelt.

4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Technikumsversuche sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

In Hinblick auf die Korngrößenverteilungen sind die Versuchsmischungen ähnlich den entsprechenden Labormischungen (vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2). Die Gesteinskörnung BK.08F weist eine relativ große Inhomogenität auf, obwohl sie eine handelsübliche Lieferkörnung ist. Die Sieblinie des verdichteten Materials ist aber ähnlich der am Labormaterial ermittelten Korngrößenverteilung. Die Mischung BK.Ob.17F, die in der Grube hergestellt wurde, weist im Vergleich zu den Laborproben einen etwas höheren Feinkornanteil auf (19,0 M.-% statt 15,5 M.-%). Die Sieblinien der in der Grube untersuchten Materialien RK.Ob.14F und RC.Ob.14F sind sehr ähnlich den entsprechenden Labormischungen. Der Feinanteil der Mischungen liegt bei 13,9 beziehungsweise 12,5 M.-% (der Feinanteil der Labormischungen liegt bei 13,4 beziehungsweise 10,2 M.-%).

Die Gesteinskörnung BK.08F weist bei einem Verdichtungsgrad von 104 % eine sehr hohe Tragfähigkeit auf. Die E_{v2} -Werte variieren von 225,7 bis 279,5 MN/m² (Mittelwert von 254,5 MN/m²) und die E_{vd} -Werte liegen oberhalb des Messbereichs des verwendeten Geräts. Da das Material nur einen geringen Feinkornanteil enthält, weist es eine hohe Durchlässigkeit auf. Während der Bewässerung versickerte das Wasser schnell und es wurde ein Sättigungsgrad von nur 32 % erreicht. Die E_{v2} -Werte nach Bewässerung nahmen sogar deutlich zu und lagen bei 297,3 MN/m². Da die Bewässerung drei Wochen nach Einbau durchgeführt wurde, ist es möglich, dass die Liegezeit nach Verdichtung zu einer Zunahme der Tragfähigkeit geführt hat.

Die E_{v2} -Werte von BK.Ob.17F liegen nach Einbau für einen Verdichtungsgrad von 94 % zwischen 53,4 und 73,2 MN/m² (Mittelwert von 64 MN/m²) und die E_{vd} -Werte zwischen 31,0 und 42,5 MN/m² (Mittelwert von 35,8 MN/m²). Nach der Wasserzugabe wurden etwas geringere Verformungsmoduln von 54,9 MN/m² (Abfall von 14 %) beziehungsweise 28,4 MN/m² (Abfall von 21 %) erreicht (Mittelwerte der statischen beziehungsweise dynamischen Messwerte). Da der nach der Bewässerung erreichte Sättigungsgrad nur 74 % betrug, wurde der Boden noch zweimal mit Wasser bespritzt (erreichte Sättigungsgrade von 77 % beziehungsweise 85 %). Die Plattendruckversuche wurden nach jeder Bewässerung wiederholt. Es zeigten sich etwas verringerte Wertenniveaus.

Der Verdichtungsgrad der ungebrochenen Mischung RK.Ob.14F beträgt 102 %. Die Verformungsmoduln E_{v2} liegen nach Einbau zwischen 71,1 und 109,5 MN/m² (Mittelwert von 87,7 MN/m²) und nach der Wasserzugabe zwischen 76,6 und 85,6 MN/m² (Mittelwert von 81,0 MN/m² – Abfall von ca. 8 %). Der Einbauwassergehalt von 7,1 % entspricht nahezu dem Sättigungswassergehalt von 7,7 %. Daher zeigt die Bewässerung keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Ähnliche Ergebnisse

wurden auch mit den dynamischen Plattendruckversuchen ermittelt.

Das Material aus Betonbruch RC.Ob.14F wurde mit einem Verdichtungsgrad von 96 % eingebaut. Es weist eine relativ hohe Tragfähigkeit auf. Die E_{v2} -Werte reichen bis 108,6 MN/m² und ihr Mittelwert entspricht 95,8 MN/m². Nach Bewässerung des Bodens liegt der Mittelwert bei 95,2 MN/m². Der erreichte Sättigungsgrad betrug 78 %. Deshalb wurde der Boden nochmal bewässert und es wurden anschließend die Plattendruckversuche direkt ohne Wartezeit durchgeführt. Der Verformungsmodul nach der zweiten Bewässerung variiert zwischen 92,3 und 115,4 MN/m². Die Tragfähigkeit der Mischung aus Betonbruch zeigt keine Abhängigkeit vom Wassergehalt. Ähnliche Ergebnisse wurden auch mit den dynamischen Plattendruckversuchen ermittelt.

Vergleicht man die Mischung mit der ungebrochenen Gesteinskörnung mit der Mischung aus Betonbruch, die eine sehr ähnliche Korngrößenverteilung aufweist, zeigt sich, dass beim RC-Material geringfügig höhere Tragfähigkeiten bei geringerem Verdichtungsgrad D_{Pr} erreicht werden.

Die Auswertung der Plattendruckversuche hat auch die Wirkung verschiedener Faktoren auf die Tragfähigkeit gezeigt. Die gebrochene Gesteinskörnung BK.08F, die keinen Oberboden enthält, weist wegen der kantigen Körner und des niedrigeren Feinkornanteils eine hohe Tragfähigkeit auf. Der große Einfluss durch die Zugabe von Oberboden beziehungsweise des Feinkornanteils auf die Tragfähigkeit zeigt sich im Vergleich mit den Versuchsböden aus gebrochenen Gesteinskörnungen. Eine Erhöhung des Feinanteils von ca. 3,2 auf 19,7 M.-% (Tabelle 2) verursachte eine Reduzierung des Verformungsmoduls E_{v2} von etwa 75 %. Jedoch sind alle Werte trotz des hohen Feinkornanteils und des geringeren Verdichtungsgrades ($D_{Pr} = 94 %$) größer als 53 MN/m².

Das Verhältnis der Mittelwerte der ermittelten E_{v2} - und E_{vd} -Werte liegt für alle Böden zwischen 1,8 und 2,4 und hat großteils die in der Literatur beschriebenen Verhältnisse zu den E_{v2} -Werten (zwischen 1,9 und 2,2) bestätigt.

5 Empfehlungen für die Baupraxis

Für den Aufbau von Banketten sind aus Herstellungsgründen einschichtige Bauweisen zu bevorzugen. Bankette werden direkt auf der Frostschutzzone gebaut, die eine hohe Tragfähigkeit aufweist. Eine tragfähige Unterlage fördert eine bessere Verdichtung des Materials und somit ist eine ausreichende Tragfähigkeit der oberen Schicht leichter zu erreichen. Wie in den ZTV E-StB 09 beschrieben, werden die Bankettmaterialien gleichmäßig in Lagen von höchstens 30 cm Dicke eingebaut und verdichtet. Ein Verdichtungsgrad D_{Pr} von 100 % sollte unter diesen Baubedingungen erreichbar sein und wird deshalb vorgeschlagen.

Für die Herstellung werden Gemische aus Boden (Kies) beziehungsweise Gesteinskörnungen und Feinkorn beziehungsweise Oberboden mit einem Größtkorn von 32 mm verwendet. Auf Kompostmischungen als Ersatz des Oberbodens sollte aufgrund des hohen organischen Anteils verzichtet werden. Es wird empfohlen, als bautechnisches Kriterium für die Zusammensetzung der Bankettmaterialien unabhängig vom Oberbo-

denanteil einen maximalen Feinkornanteil der Bankettmaterialien vorzugeben.

Tabelle 2: Ergebnisse der statischen und dynamischen Plattendruckversuche für die verschiedenen Versuchsmaterialien. Werte in Klammern liegen oberhalb des Messbereich des Geräts.

	FKA ^[1] [M.-%]	D _{Pr} [%]	Nach Einbau		Nach Bewässerung	
			E _{v2} [MN/m ²]	E _{vd} [MN/m ²]	E _{v2} [MN/m ²]	E _{vd} [MN/m ²]
BK.08F	3,2	104	225,7	(77,1)	256,6	61,6
			244,1	(77,9)	294,6	(80,4)
			251,0	(84,3)	314,5	(80,7)
			261,3	(85,2)	323,7	(100,0)
			265,6	(86,5)		(101,4)
			279,5	(88,6)		(101,4)
BK.Ob.17F	19,7	94	53,4	31,0	45,8	23,0
			56,9	32,5	57,9	23,4
			66,9	35,9	61,0	27,8
			69,7	36,4		31,7
			73,2	36,5		32,2
				42,5		32,5
RK.Ob.14F	13,9	102	71,1	31,1	76,6	22,9
			83,8	38,5	78,5	32,8
			86,1	38,8	83,5	33,1
			87,6	41,8	85,6	33,6
			87,9	46,5		39,5
			109,5	48,3		41,4
RC.Ob.14F	12,3	96	82,7	35,3	87,2	34,6
			91,1	37,4	91,8	38,3
			94,7	41,8	98,8	41,3
			94,9	45,7	103,1	42,7
			102,9	47,6		50,9
			108,6	48,0		51,4

^[1] FKA = Feinkornanteil der Mischung (Mittelwert der ermittelten Sieblinien)

Basierend auf den Versuchsergebnissen dieser Forschungsarbeit sollte der Feinkornanteil der Bankettmaterialien einen Wert von 15 M.-% nicht übersteigen. Höhere Werte könnten, insbesondere nach Bewässerung des Materials, zu einer Unterschreitung der erforderlichen Trag- und Verformungsverhalten beim Abkommen von Lastwagen führen. Mit solchen Materialien sollte ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ beziehungsweise $E_{vd} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ bei einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 100 \%$ sicher erreichbar sein. Falls eine höhere Tragfähigkeit für Bankette erforderlich ist, sollte der Feinkornanteil der Materialien gegebenenfalls weiter beschränkt werden. Bei den Technikumsversuchen wurde ein E_{v2} -Wert $\geq 80 \text{ MN/m}^2$ außer bei der Mischung BK.Ob.17F ($D_{Pr} = 94 \%$ und Feinkornanteil von 19,7 %) und ein Versuch bei der Mischung RK.Ob.14F ($D_{Pr} = 102 \%$ und Feinkornanteil von 13,9 %) erreicht. Es wird deshalb angenommen, dass Verformungsmoduln von $E_{v2} = 80 \text{ MN/m}^2$ beziehungsweise $E_{vd} = 40 \text{ MN/m}^2$ für Kies-Schluff-Gemische mit einem Feinkornanteil von maximal 13 M.-% bei $D_{Pr} = 100 \%$ erreicht werden sollten.

Wie die Technikumsversuche gezeigt haben, könnten für Bankettgemische sowohl natürliche ungebrochene Böden wie auch gebrochene Gesteinskörnungen beziehungsweise Recycling-Baustoffgemische verwendet werden. Bei ungebrochenen Gesteinskörnungen sind in der Regel etwas niedrigere Tragfähigkeitswerte zu erwarten.

Gemäß den RAS-Ew (FGSV, 2005) sollte das Bankett zum Schutz des Bodens und Grundwassers schwach durchlässig, das heißt $k < 10^{-6} \text{ m/s}$, sein. Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde dieses Kriterium bei allen Mischungen mit einem Feinkornanteil $> 15 \text{ M.-%}$ durchgehend sichergestellt, unabhängig von der Art des Feinkorns. Bei allen Mischungen mit Oberboden wurden diese k-Werte bereits bei Feinkornanteilen von ca. 10 M.-% erreicht.

Geeignete Gemische für Bankette stellen demnach Baustoffgemische 0/32 mm der Bodengruppen GU beziehungsweise GT nach DIN 18196 dar. Solche Gemische könnten aus 0/32 mm-Gesteinskörnungen für Kies- und Schottertragschichten nach TL SoB-StB (FGSV, 2004) mit Oberboden- beziehungsweise Feinkornanreicherung hergestellt werden.

In Hinblick auf die umwelttechnischen Anforderungen wird die Angabe eines minimalen Feinkornanteils empfohlen, der das Schadstoffrückhalte- und -bindevermögen der Bankettmaterialien gewährleistet. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf die Tragfähigkeit von Bankettmaterialien gelegt wurde, können dazu aus den durchgeführten Untersuchungen keine Angaben gemacht werden.

Auf die bisher in den ZTV E-StB verwendeten Begriffe "Schotterterrassen" und "Oberboden" kann dementsprechend zukünftig aus bautechnischer Sicht verzichtet werden und stattdessen ein Material der Bodengruppe GU beziehungsweise GT gefordert werden. Im Hinblick auf die erforderliche Tragfähigkeit ist gegebenenfalls der Feinkornanteil zu begrenzen. Die Angaben im Standardleistungskatalog STLK LB 112 (2014) sollten dementsprechend angepasst werden.

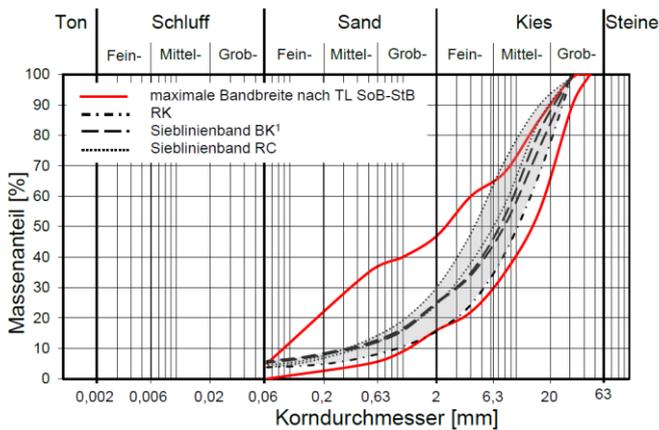
6 Weiterer Forschungsbedarf

Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur vergleichsweise sandarme Ausgangsmaterialien der Körnung 0/32 mm verwendet, deren Körnungslinien im unteren Bereich des nach TL SoB-StB 04 angegebenen Körnungsbandes liegen (siehe Bild 4). Es sollte deshalb geprüft werden, ob die ermittelten Tragfähigkeitswerte auch mit Mischungen erreicht werden, denen sandreiche Gesteinskörnungen nach TL SoB-StB 04 zugrunde liegen.

Hinsichtlich eines Anforderungswertes an die Tragfähigkeit von Banketten ist außerdem zu beachten, dass es dazu unterschiedliche länderspezifische Festlegungen gibt, die durch wissenschaftliche Untersuchungen bisher nicht belegt sind. Insbesondere im Hinblick auf die dauerhafte Standsicherheit von Bankettmaterialien zur Gewährleistung einer ausreichenden Tragfähigkeit besteht Forschungsbedarf. Für die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersuchten Kies-Schluff-Gemische können dazu nur sehr beschränkt Aussagen gemacht werden, da dies nicht Gegenstand der Untersuchungen war. So zeigen die durchgeführten Labor- und Technikumsversuche zwar eine vergleichsweise geringe Wasserempfindlich-

keit, für die Dauerhaftigkeit können aber insbesondere auch Temperatureinflüsse (Frost-Tau-Wechsel) maßgebliche Auswirkungen haben. Zur Klärung dieser Fragestellung werden deshalb weitergehende Untersuchungen empfohlen.

Zur Überprüfung der erreichten Tragfähigkeit von Banketten kommen prinzipiell statische und dynamische Plattendruckversuche in Frage. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die für die Oberfläche von Banketten vorgesehene Neigung von bis zu 12 % größer ist, als im Regelwerk angegeben (nach TP BF-StB, Teil B 8.3, darf die Neigung der Prüffläche nicht größer als 6 % sein). Weitere Untersuchungen über den Einfluss der Neigung der Prüffläche auf die Ergebnisse des statischen und dynamischen Plattendruckversuchs werden in diesem Zusammenhang empfohlen.



¹ Für das Sieblinienband der gebrochenen Gesteinskörnung BK ist die Sieblinie mit 8,5 % Feinkornanteil nicht berücksichtigt

Bild 4: Sieblinienbereich der verwendeten Ausgangsmaterialien im Vergleich zur Bandbreite nach TL SoB-StB 04 (FGSV, 2004)