

Anforderungen an Baustoffe für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 158

bast

Anforderungen an Baustoffe für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette

von

Roberto Cudmani
Christoph Henzinger
Emanuel Birle
Elissavet Barka

Technische Universität München
Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau,
Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Straßenbau Heft S 158

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A - Allgemeines
- B - Brücken- und Ingenieurbau
- F - Fahrzeugtechnik
- M - Mensch und Sicherheit
- S - Straßenbau
- V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** stehen zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 05.0194
Anforderungen an Baustoffe für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette

Fachbetreuung
Michael Bürger

Referat
Nachhaltigkeit, Ressourcenschutz und Erdbaustoffe im Straßenbau

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9323
ISBN 978-3-95606-630-6

Bergisch Gladbach, Oktober 2021

Kurzfassung – Abstract

Anforderungen an Baustoffe für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette

Als Bankett wird jener Bereich des Straßenquerschnittes bezeichnet, der an der Außenseite des befestigten Fahrbahnbereiches oder des Standstreifens anschließt. Die Vorgaben der ZTV E-StB 17 in Bezug auf Bankette beziehen sich auf den Zeitpunkt direkt nach Verdichtung. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden Laborversuche an sandreichen GU- und GT-Bankettbaustoffen zur Untersuchung der Durchlässigkeit und potentieller Tragfähigkeitsänderungen durch Bewitterung durchgeführt. Die durch Bewitterung bedingte Änderung der Tragfähigkeit von 4 Bankettmaterialien wurde im Rahmen von Feldversuchen über den Jahreswechsel 2017/2018 untersucht. Da Bankette nach ZTV E-StB 17 eine planmäßige Querneigung zwischen 6 und 12 % aufweisen, wurden außerdem Feldversuche zum Einfluss der Bankettneigung auf die Untersuchungsergebnisse von Plattendruckversuchen durchgeführt. Zusammenfassend bestätigen die Untersuchungen großteils die Vorgaben des straßenbautechnischen Regelwerks. Sie weisen darauf hin, dass unter üblichen Bedingungen der Anforderungswert $E_{V2} \geq 80$ MPa bei den Bankettmaterialien eingehalten werden kann, der Anforderungswert $E_{Vd} \geq 40$ MPa aber überprüft werden sollte. Die direkt nach Verdichtung dokumentierten Tragfähigkeitswerte E_{V2} und E_{Vd} blieben bei den verwendeten Bankettmaterialien über den Winter 2017/2018 erhalten oder stiegen an, allerdings traten oberflächlich witterungsbedingte Auflockerungen auf. Bezüglich des Nachweises des geforderten Plattendruckmoduls auf den geneigten Bankettoberflächen ist grundsätzlich die Prüfung der geneigten Oberfläche vorzuziehen. Dies ist beim dynamischen Plattendruckversuch nur bis zu einer Neigung von 6 % und beim statischen Plattendruckversuch nur bei Anpassung des Lastwiderlagers an die Bankettneigung möglich. Die beiden Ersatzverfahren (Sandkeil oder Abgrabung und Aufbringung einer Sandausgleichsschicht) sind nur unter bestimmten Bedingungen sinnvoll, die erreichbaren Werte liegen im Allgemeinen unter den Tatsächlichen.

Requirements for building materials for durable, unbound road shoulders with low permeability

The road shoulder is the area of the road cross-section that adjoins the side of the paved roadway area or emergency lane. The specifications of the ZTV E-StB 17 concerning the road shoulder refer to the time directly after compaction. Within the scope of this R&D project, laboratory tests were carried out on sandy materials of soil groups GU and GT to investigate the permeability and potential changes in bearing capacity due to weathering. The change in the load-bearing capacity of 4 shoulder materials due to weathering was investigated in field tests over the turn of the year 2017/2018. Since according to ZTV E-StB 17 shoulders have a transverse inclination of 6 to 12 %, field tests were also carried regarding the influence of this inclination on the results of plate load tests. In summary, the investigations mostly confirm the requirements of the ZTV E-StB 17 with regard to material constitution and compaction requirements. Under usual conditions the required value of $E_{V2} \geq 80$ MPa can be met for these shoulder materials, but the requirement of $E_{Vd} \geq 40$ MPa should be reevaluated. The bearing capacity values E_{V2} and E_{Vd} obtained directly after compaction were practically constant or increased during the winter of 2017/2018. However, minor weather related changes occurred in the uppermost zone of the compacted materials. With regard to the influence of the transversely inclined shoulder surfaces on the results of plate load tests it was found that the testing of the inclined surface is generally preferable compared to alternative methods. This is only possible with dynamic plate load tests up to an inclination of 6 % and with static plate load tests only with adaptation of the load abutment to the shoulder inclination. The two alternative methods (sand wedge or excavation and application of a sand compensation layer) are viable under certain conditions; however the achievable values can be expected to be lower than the actual ones.

Requirements for building materials for durable, unbound road shoulders with low permeability – Summary

Introduction

The road shoulder is the area of the road cross-section that adjoins the side of the paved roadway area or emergency lane. This strip has two main functions: (a) carrying the traffic loads in cases where vehicles deviate from the paved part of the road; and (b) the transfer of surface water from the paved part of the road to the embankment area and the simultaneous retention of pollutants from this water during the passage of the shoulder surface. Based on two research projects (FE 05.0177 / 2012 / MRB und FE 05.0160 / 2010 / MGB), and according to the ZTV E-StB 17, shoulder materials are now specified mixed grained materials of the soil groups GU or GT acc. to DIN 18196 with a fines content of 8 % to 12 wt-%. However, sandy shoulder materials were not examined in the aforementioned research projects, and no information was gained on the durability of these materials. The influence of weathering on the bearing capacity of such materials was not within the scope of these R&D projects. In addition to this, questions remained about the compaction control of road shoulders: The influence of the transverse inclination of the road shoulders (6 to 12 %) on the results of static and dynamic plate load tests was not known.

Laboratory tests on sandy shoulder materials

Investigation concept

Within the scope of laboratory tests, shoulder materials of the soil groups GU and GT (fines content mostly 8 to 12 wt-%) were investigated with regard to their compaction properties, their bearing capacity (CBR) and their permeability (optimum compaction). Special attention was paid to sandy materials. To evaluate the influence of weathering on bearing capacity (CBR), the bearing capacity of compacted specimens was determined directly after compaction, after several wet-dry cycles (or water impoundment of the top part of the CBR-molds) and freeze-thaw cycles.

Material

The base materials for the experimental mixtures were selected leaning on the investigations in FE 05.0177 / 2012 / MRB. In addition, mixed RC material from demolition waste was included in the investigations. The coarse-grained components selected for the mixtures were: a) crushed limestone, b) crushed recycled concrete aggregate, and c) crushed recycled material made from demolition waste (RC-Mix). The fine grained materials used for the mixes were: a) a clay of low plasticity with at least 70% silt content (TL acc. to DIN 18196) and a clay of high plasticity (TA/OT acc. to DIN 18196). In order to obtain the desired experimental mixtures, these materials were mixed in varying proportions. The fine fractions of the materials thus obtained were, as intended, in the range slightly below to slightly above 10 wt-%. In total, the mixtures are sandy, with fractions < 2 mm between about 35 wt-% and 60 wt-%.

Results

The results of the permeability tests (DIN 18130-1) of compacted samples (DIN 18127) are summarized in **Figure 1** (the results of FE 05.0177 / 2012 / MRB are included). It can be seen that permeability values required for shoulder materials according to ZTV E-StB 17 (low permeability; $k < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s according to DIN 18130-1) can be accomplished in the mentioned soil groups between 6 and 15 wt-% fines content. Upon closer inspection, **Figure 1** reveals, with the exception of a few data points, that the required permeability of almost all materials with a fines content above 10 wt-% was below the specified value. On basis

of the available data it can be stated that for shoulder materials according to ZTV E-StB 17 there is no systematic influence of the fraction < 2 mm on the materials' permeability. The data also revealed that at any given fines content (within the range of fines contents studied), there were no systematic differences between permeabilities of materials of soil groups GU and GT (data not shown).

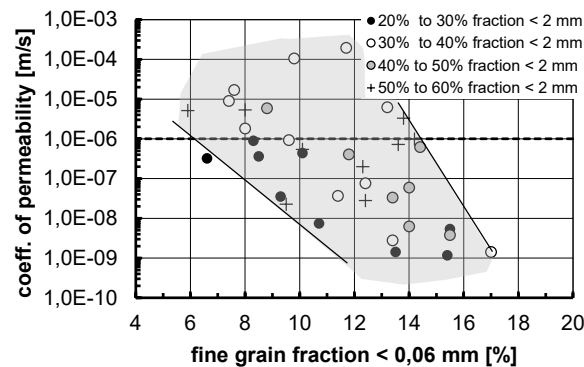


Figure 1: Permeability of all mixtures (incl. data from FE 05.0177 / 2012 / MRB), separately for soils with different fractions of material < 2 mm

In addition to permeability tests, 3 load bearing capacity tests were carried out directly after compaction (CBR_0), 3 bearing capacity tests after 6 wet-dry cycles (CBR_{NT}) and 3 bearing capacity tests after 6 freeze-thaw cycles (CBR_{FT}). The tests were carried out in accordance with TP BF-StB Part B 7.1 and were carried out on the bottom of samples which were compacted at optimum water content. **Bild 21** and **Bild 22** show the change in bearing capacity due to weathering in the form of wet-dry cycles ($\Delta CBR_{NT} = CBR_{NT} - CBR_0$) und freeze-thaw cycles ($\Delta CBR_{FT} = CBR_{FT} - CBR_0$). A pronounced dependence of ΔCBR on the fraction < 2 mm cannot be deduced from this data (neither for materials with a maximum grain size of 8 mm, nor for materials with a maximum grain size of 32 mm). Furthermore, the durability of the investigated materials in terms of ΔCBR is, if at all, only to a minor degree depending on the soil group of the tested material (GU or GT) fines content (data not shown). However, the data indicates that shoulder materials containing recycled materials, due to their hardening potential, show superior behavior compared to natural materials.

Conclusions and recommendations

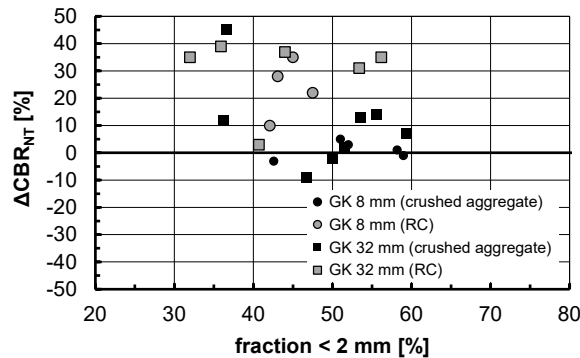


Figure 2: Change in bearing capacity ($\Delta\text{CBR}_{\text{NT}}$) of all mixtures after 6 wet-dry cycles (or several days of storage)

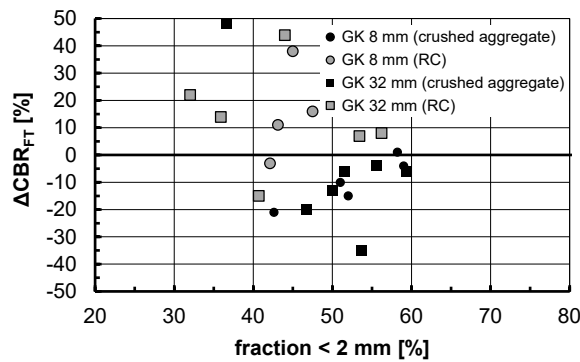


Figure 3: Change in bearing capacity ($\Delta\text{CBR}_{\text{FT}}$) of all mixtures after 6 freeze-thaw cycles

Field tests for durability of bearing capacity

Investigation concept

Four different shoulder materials were used to create experimental fields (compacted in 2 layers of about 30 cm each). These fields were tested at several distinct dates during the winter and early summer of 2017/2018. Tests included the determination of dry density as well as static and dynamic plate load tests.

Material

The materials used in the field tests were produced by a crushing plant near Ingolstadt and by a recycling company from Dachau specifically to meet the requirements for shoulder materials according to ZTV E-StB 17. The materials were: crushed limestone 0/32 mm and 0/8 mm as well as mixed demolition waste 0/32 mm and 0/8 mm. Before compaction, the materials showed a fines content mainly between 8 and 9 wt-%.

Results

The comparison of the measured dry density¹ (densitometer) in [Bild 54](#) suggests, especially during the frost period of winter 2017/2018 (until the 3rd testing date), a decrease of dry density of all materials (in the

¹ Directly after compaction: crushed limestone 0/32 mm – $D_{Pr} = 94$ to 98 %, RC-Mix 0/32 mm – $D_{Pr} = 96$ to 101 %, crushed limestone 0/8 mm – $D_{Pr} = 93$ to 100 %, RC-Mix 0/32 mm – $D_{Pr} = 94$ to 100 %

uppermost zone of the compacted layers). Between the 3rd and 4th testing date (after the frost phase, early summer 2018), the data does not show a further decrease of dry density. Instead, in a kind of "self healing" process of the compacted surfaces, the dry density of the materials mostly increases.

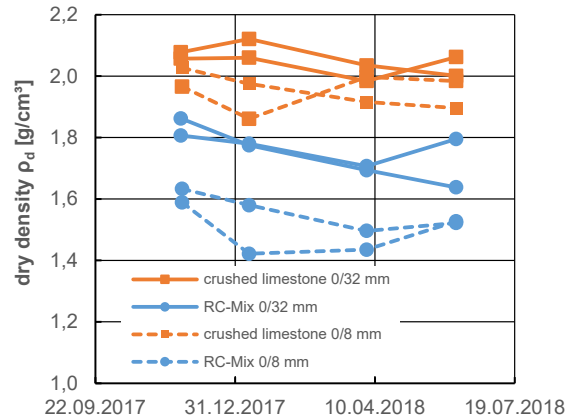


Figure 4: Dry density measured with the densitometer over time

The E_{V1} values of the plate load tests documented over time on the compacted surfaces are shown in Figure 5. The figure shows that the bearing capacity of natural materials (crushed limestone) typically decreases during the initial loading during the frost phase (1st to 3rd sampling date). After the frost phase (between 3rd and 4th sampling date) the behaviour is more complex, but the values tend to remain at a certain level. The two test fields with RC materials show different developments in the frost phase. After the frost phase, however, the E_{V1} value increases consistently for both materials, 0/8 mm and 0/32 mm. It is assumed that the observed development is due to the influences hardening effects typical for such materials (relevant for the whole compacted layer), and the decrease of dry density due to weathering (restricted to the top part of the layer).

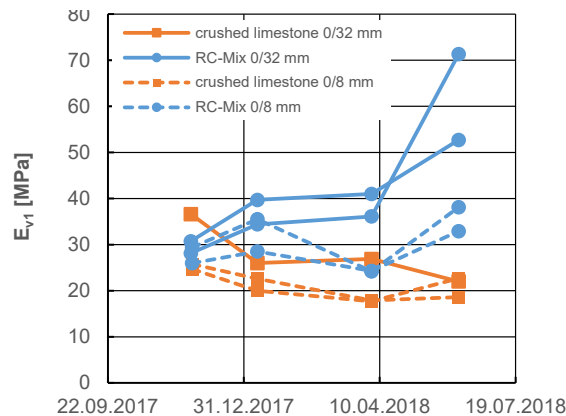


Figure 5: Deformation modulus E_{V1} over time

Figure 6 shows the E_{V2} values obtained from the test fields. It can be seen that the requirement values of ZTV E-StB 17 ($E_{V2} \geq 80$ MPa) can already be met during construction, in some cases the values are significantly higher than the required value. The E_{V2} modulus of the natural shoulder materials (crushed limestone) remains constant after construction, and seems to be unaffected by the weathering. The reloading modulus of the recycled materials (RC-Mix), on the other hand, increases sharply over time and thus illustrates the post hardening potential of these materials.

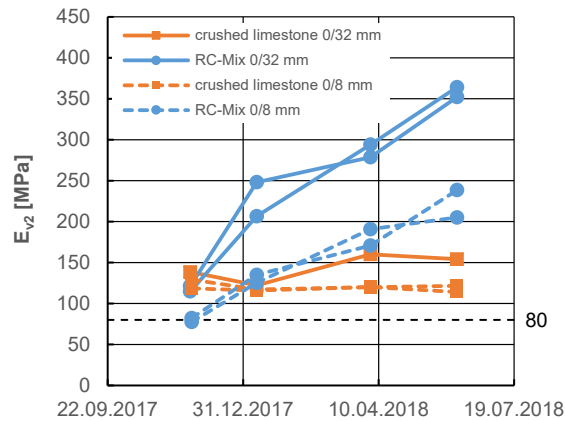


Figure 6: Deformation modulus E_{V2} over time

Bild 55 shows the E_{Vd} values determined with the dynamic plate load test over time. Immediately after construction, the values mostly do not meet the requirements of ZTV E-StB 17 ($E_{Vd} \geq 40$ MPa). However, the stiffness of all materials develops over time towards higher values at the 3rd testing date, whereupon they drop again by the 4th sampling date (especially for the crushed concrete 0/32 mm). Unfortunately, no explanation could be found regarding the differences between the development of E_{Vd} values and E_{V2} values over time.

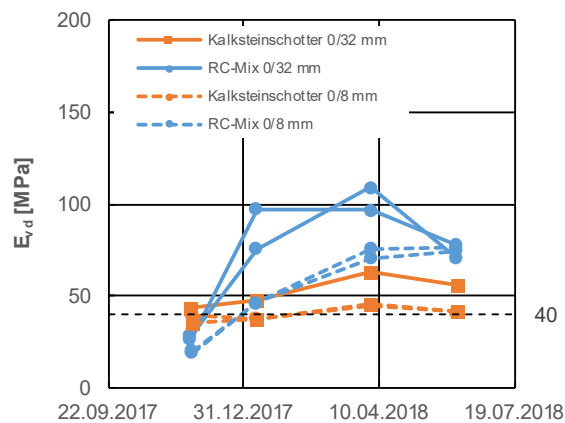


Figure 7: Deformation modulus E_{Vd} over time

Conclusions and recommendations

The field investigations have confirmed that the required value of $E_{V2} \geq 80$ MPa can be met directly after compaction. However, the data also indicate that the required value of $E_{Vd} \geq 40$ MPa should be reevaluated (for materials of soil groups GU/GT mostly $E_{Vd}/E_{Vd} > 2$). The results also show that the bearing capacities E_{V2} and E_{Vd} of the shoulder materials were maintained or increased over the observational period (winter to early summer 2017/2018). However, a decrease of dry density of materials at the surface of the compacted layers is quite probable, and can be observed in the E_{V1} values. This decrease of dry density is of particular relevance for the evaluation of the track ruts due to a vehicle leaving the road. Separate requirements for road shoulders of limited height and low bearing capacity subsoils should be considered (in such cases the properties of the underlying material takes a decisive influence on the observable behavior of the surface of the road shoulder). Such requirements may concern the improvement of the bearing capacity of the subsoil.

Verification of compaction and bearing capacity in the field

Investigation concept

In general, field tests used in compaction control are conducted on horizontal surfaces. Since road shoulders typically are transversely inclined, difficulties arise when static and dynamic plate load tests are used. To evaluate the influence of this inclination on the results of plate load tests, two test fields (compacted in 2 layers of about 30 cm each) were constructed in the open field area of the TUM Zentrum Geotechnik.

Material

The material used in the field tests was produced by a crushing plant near Ingolstadt specifically to meet the requirements for shoulder materials according to ZTV E-StB 17: crushed limestone of grain size 0/32 mm (soil group GU, fines content 7 to 9 wt-%).

Results

Field 1 was constructed in two sections, with 6 % and 12 % transverse inclination respectively. Static and dynamic plate load tests were carried out on the inclined surfaces. The horizontal test surface was either produced by excavation and using a sand compensation layer (SA) or by construction of a sand wedge (SK). Dynamic plate load tests were additionally carried out on the inclined surfaces (oSA).

The results of the static plate load tests from field 1 are summarized in **Bild 83**. The diagram shows that carrying out the static plate load tests on excavated and horizontal surfaces with a sand compensation layer (SA) in comparison with the sand wedge (SK) obviously does not bring any significant advantages with regard to the E_V values.

In **Bild 86**, the results from dynamic plate load tests on field 1 are summarized. The performance of the dynamic plate load tests on the inclined surface provides (oSA) higher E_V -values compared to the sand wedge method (SK). This is particularly obvious for an inclination of 12 % (not permitted according to TP BF-StB Part B 8.3). Compared to the tests with the sand wedge (SK) and the tests on the inclined surface (oSA), the preparation of a horizontal test surface by excavation with the necessary sand compensation layer (SA at 0 %) leads to comparatively low E_{Vd} values.

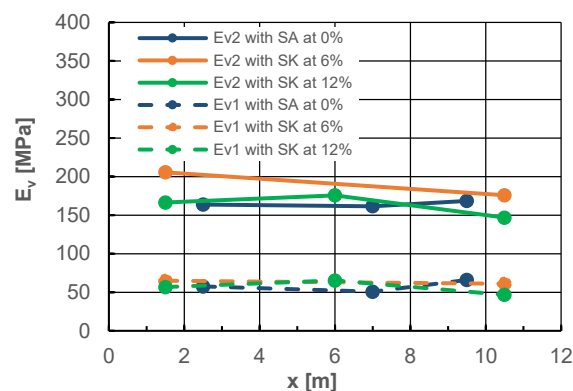


Figure 8: Initial loading modulus (E_{V1}) and reloading modulus (E_{V2}) - field 1

Field 2 was constructed with a flat surface with the purpose of simulating the influence of a disturbance of the surface by an excavation (for setting SA). The initial loading (E_{V1}) and reloading (E_{V2}) moduli from static plate load tests are shown in **Figure 10**. The bearing capacity at reloading consistently shows higher values

for the test on the undisturbed surface (without sand compensation layer) than for the test on the disturbed surface (with SA). There are no clear tendencies for the initial loading modulus (E_{V1}).

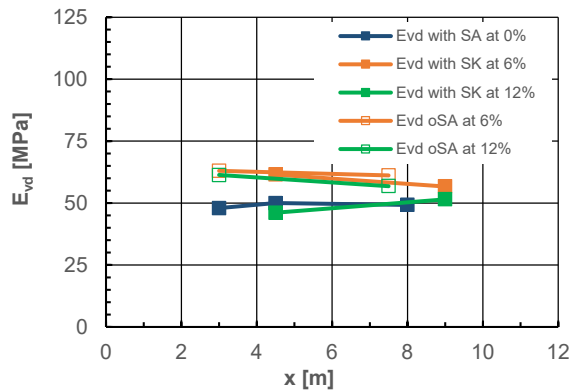


Figure 9: Deformation modulus E_{vd} - field 1

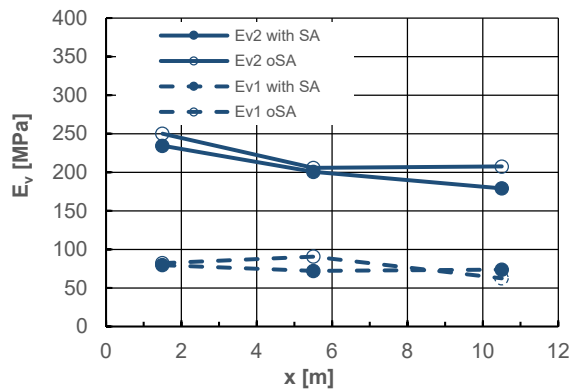


Figure 10: Initial loading modulus (E_{V1}) and reloading modulus (E_{V2}) - field 2

Conclusions and recommendations

With regard to the plate load tests on inclined road shoulder surfaces, the following is recommended: Testing of the inclined surface should be preferred. This is only possible up to an inclination of 6 % for the dynamic plate load test and for the static plate load test only after adaption of the load abutment (parallel to the tested surface). The two alternative methods, the construction of a horizontal test surface (by applying a sand wedge or by excavation and application of a sand compensation layer) generally produce values below the actual values. Of these two alternatives the first one (sand wedge) is preferable.

Inhalt

1	Ausgangssituation	15
2	Forschungskonzept	16
2.1	Forschungsfragen	16
2.2	Untersuchungskonzept	17
2.2.1	Forschungsfragen A) und B) - Laborversuche	17
2.2.2	Forschungsfrage C) und D) - Feldversuche	18
2.2.3	Forschungsfrage E) - Technikumsversuche	18
3	Bankette im Regelwerk und in der Literatur	19
3.1	Regelwerk der FGSV	19
3.1.1	ZTV E-StB 09	19
3.1.2	ZTV E-StB 17	19
3.1.3	STLK LB 112	20
3.1.4	RStO 12	20
3.1.5	RAL 2012	20
3.1.6	RAS-Ew 2005	20
3.1.7	Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau 2003	20
3.2	Regelungen der Bundesländer	21
3.2.1	Sachsen Anhalt	21
3.2.2	Brandenburg	21
3.2.3	Thüringen	22
3.2.4	Hessen	22
3.3	Regelwerke aus dem Ausland	23
3.3.1	Quality Assurance Handbook for Rural Roads (Indien)	23
3.4	Weitere Literatur	23
4	Bodenmechanische Grundlagen	24
4.1	Schädliche Wirkung von Frost im Boden	24
4.1.1	Frostproblematik im Kontext der Straßenbankette	24
4.1.2	Volumetrische Ausdehnung beim Gefrieren	24
4.1.3	Eislinsenbildung	25
4.2	Erdbautechnisches Verhalten von Materialien der Bodengruppen GU/GT	27
4.2.1	Warum überhaupt Materialien der Bodengruppen GU und GT für Bankette?	27
4.2.2	Tragfähigkeit und Verformungsverhalten	28
4.2.3	Frostanfälligkeit und Dauerhaftigkeit	30
4.3	Hinweise zur Verwendung von Recyclingmaterial aus Bauschutt im Erd- und Straßenbau	31
5	Laborversuche zu sandreichen Bankettbaustoffen	33
5.1	Konzept und Untersuchungsprogramm	33
5.1.1	Allgemeines	33
5.1.2	Verdichtungsversuche	33
5.1.3	Versuche zur dauerhaften Tragfähigkeit	34
5.1.4	Versuche zur Probenalterung	35
5.1.5	Versuche zur Durchlässigkeit	35
5.2	Material	36
5.3	Ergebnisse der Laborversuche	38
5.3.1	Allgemeines	38
5.3.2	Mischungen mit natürlichem Brechkorn	38
5.3.3	Mischungen mit RC-Beton	39

5.3.4 Mischungen mit RC-Mix	40
5.4 Vergleichende Auswertung und Diskussion	41
5.4.1 Allgemeines	41
5.4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	42
5.4.3 Interpretation und Diskussion	43
5.5 Zusammenfassung	47
6 Feldversuche zur dauerhaften Tragfähigkeit	48
6.1 Konzept und Untersuchungsprogramm	48
6.1.1 Allgemeines	48
6.1.2 Laborversuche	50
6.1.3 Feldversuche	51
6.2 Material	51
6.3 Ergebnisse der Laborversuche	52
6.4 Ergebnisse der Feldversuche	54
6.4.1 Allgemeines	54
6.4.2 Material aus Feld 1: Kalksteinschotter 0/32 mm	54
6.4.3 Material aus Feld 2: RC-Mix 0/32 mm	56
6.4.4 Material aus Feld 3: Kalksteinschotter 0/8 mm	59
6.4.5 Material aus Feld 4: RC-Mix 0/8 mm	61
6.5 Vergleichende Auswertung und Diskussion	64
6.5.1 Allgemeines	64
6.5.2 Zusammenfassung der Ergebnisse	64
6.5.3 Interpretation und Diskussion	67
6.6 Zusammenfassung	70
7 Nachweis der Verdichtung und Tragfähigkeit im Feld	71
7.1 Konzept und Untersuchungsprogramm	71
7.1.1 Allgemeines	71
7.1.2 Feldversuche	73
7.2 Material	76
7.3 Ergebnisse der Feldversuche	77
7.3.1 Planum	77
7.3.2 Feld 1	77
7.3.3 Feld 2	79
7.4 Interpretation und Diskussion	81
7.4.1 Allgemeines	81
7.4.2 Interpretation und Diskussion	81
7.5 Zusammenfassung	84
8 Folgerungen aus den Ergebnissen und Empfehlungen	85
8.1 Folgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchungen	85
8.2 Labor- und Feldversuche zur dauerhaften Tragfähigkeit	85
8.3 Feldversuche zum Nachweis der Tragfähigkeit im Feld	86
8.4 Empfehlungen	87
9 Zusammenfassung	88
Referenzen	89
Literatur	89
Nationale und Internationale Normen	92
Straßenbautechnisches Regelwerk (Deutschland und Österreich)	93

Gesetze, Verordnungen und Länderspezifische Regelungen	94
Internet	95
Anhang - Zusammenstellung der Einzelergebnisse	96
Kapitel: Laborversuche zu sandreichen Bankettbaustoffen	96
Mischungen Kalksteinbruch mit Schluff (Bk.Si)	96
Mischungen Kalksteinbruch mit Ton (Bk.Cl)	106
Mischungen RC-Beton mit Schluff (RC.Si)	112
Mischungen RC-Beton mit Ton (RC.Cl)	119
Mischung RC-Mix mit Schluff (RCM.Si) und RC-Mix ohne Mischung (RCM)	122
Kapitel: Feldversuche zur dauerhaften Tragfähigkeit	125
Untersuchungen im Labor	125
Untersuchungen im Feld	133
Kapitel: Nachweis der Verdichtung und Tragfähigkeit im Feld	136
Untersuchungen im Labor	136
Untersuchungen im Feld	137

1 Ausgangssituation

Als Bankett (unbefestigter Seitenstreifen) wird im Straßenbau jener Bereich des Straßenquerschnittes verstanden, der an der Außenseite des befestigten Fahrbahnbereiches oder des Standstreifens (befestigter Seitenstreifen) anschließt. Dieser Streifen hat vor allem zwei Funktionen: a) die Ableitung von Verkehrslasten, wenn Fahrzeuge vom befestigten Teil der Fahrbahn abkommen, und b) die Weiterleitung des von der befestigten Fahrbahn abfließenden Oberflächenwassers in den Böschungsbereich sowie die gleichzeitige Rückhaltung von Schadstoffen aus diesen Wässern bei der Passage der Bankettoberfläche².

Gemäß den bis ins Jahr 2017 gültigen Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien im Erdbau (ZTV E-StB 09) waren für die Herstellung standfester Bankette folgende Böden und Baustoffe bzw. Baustoffgemische mit einem Größtkorn von 32 mm geeignet:

- (1) gemischtkörnige Böden der Bodengruppen GU, GT,
- (2) Gemische aus gebrochenen Gesteinskörnungen, sofern sie den vorgenannten Bodengruppen entsprechen.

Auf den so hergestellten Banketten war eine Schicht Oberboden in einer Stärke von 5 cm aufzubringen. Nach Pkt 4.7.1 der ZTV E-StB 09 war alternativ zu diesen Materialien auch Schotterrasen mit einem Oberbodenanteil von 15 M.-% aufgeführt. Die Herstellung des Banketts aus Schotterrasen hatte in einer Stärke von 20 cm zu erfolgen, wobei auf die Oberbodenschicht verzichtet werden konnte.

Beide Bauweisen, jene mit den gemischtkörnigen Böden bzw. Gesteinskörnungen und einer oberflächlichen Andeckung aus Oberboden und jene bei der das Bankett aus Schotterrasen hergestellt wurde, haben sich nach Auffassung der Straßenbauverwaltungen der Länder nicht bewährt. Aus Gründen der Verkehrssicherheit und des andauernden Bankettwachstums (Problematik: Vermehrung des Bankettschälguts) wurde in manchen Ländern bei der erstgenannten Bauweise auf die Oberbodenschicht ganz verzichtet, womit aber das Schadstoffrückhaltevermögen für das versickernde Straßenoberflächenwasser möglicherweise stark vermindert wird. In anderen Bundesländern wurde nur in einer obersten dünnen Schicht von 6 bis 8 cm dem Gesteinskornmisch ein Oberboden mit einem Anteil von 20 % zugegeben, wobei dann in dieser Schicht der Oberbodenanteil als vergleichsweise hoch angesehen werden kann.

Weiterhin wurde in der Praxis auch festgestellt, dass die Bauweise mit Schotterrasen keine zweckdienliche Lösung darstellt, da mit den genannten Anforderungen keine ausreichende Tragfähigkeit des Banketts im Hinblick auf eine hinreichende Verkehrssicherheit erreicht wird. Auch der Begriff „Schotterrasen“ wird in der Baupraxis sehr vielen unterschiedlichen Anwendungen zugeordnet und trägt damit zur Verwirrung bei. Die Teilbegriffe „Schotter“ und „Rasen“ passen nicht mehr in die aktualisierten Begriffsbestimmungen des straßenbautechnischen Regelwerks. Den Begriff „Schotter“ gibt es formal nicht mehr. Nach dem dem europäischen Regelwerk angepassten Begriff handelt es sich dabei um Gemische aus gebrochenen Gesteinskörnungen. Den Begriff „Rasen“ für die Bankette anzuwenden, ist ebenso wenig zielführend.

Für die Zukunft zeichnete sich bereits vor Neufassung der ZTV E-StB im Jahr 2017 eine Lösung für eine Bauweise ab, bei der die Bankette in einem einschichtigen Aufbau aus den vorgenannten Baustoffen (1) und (2) unter Zugabe von Oberboden bzw. feinkörnigem Boden hergestellt werden. Dazu wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens FE 05.0177/2012/MRB am Zentrum Geotechnik der TU München Untersuchungen zur Verdichtbarkeit und Tragfähigkeit solcher Mischungen zur Verwendung in Banketten durchgeführt. Es wurden Mischungen aus unterschiedlichen gebrochenen und ungebrochenen sowie rezyklierten Körnungen der Kornklasse 0/32 mm mit verschiedenen feinkörnigen Zugabematerialien hergestellt (Schluff, Oberboden). Die Untersuchungen umfassten Laborversuche zur Verdichtbarkeit, Tragfähigkeit

² Nach Pkt. 1.2.1 der RAS-Ew 2005 ist die Böschungs- und Bankettversickerung die bevorzugte Methode im Sinne des Bodenschutzes. Dabei findet der Schadstoffrückhalt aus den Straßenablaufwässern durch Passage der Bankettoberfläche und im belebten Oberboden der Böschung statt. Das Wasser gelangt so gereinigt in den Untergrund.

(CBR) sowie Durchlässigkeit und wurden durch Versuche im Technikumsmaßstab ergänzt. Aus Sicht der Tragfähigkeiten deuten die Ergebnisse dieser Untersuchungen darauf hin, dass bei Begrenzung des Feinkornanteils auf maximal 15 M.-% und bei einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} = 100$ % Werte des Verformungsmoduls $E_{v2} \geq 60$ MPa und Werte des dynamischen Verformungsmoduls $E_{vd} \geq 30$ MPa erreicht werden können. Bei einer Begrenzung des Feinkornanteils auf maximal 13 M.-% sind gemäß den Ergebnissen des Forschungsvorhabens FE 05.177 Tragfähigkeitswerte $E_{v2} \geq 80$ MPa und $E_{vd} \geq 40$ MPa erreichbar. Gleichzeitig zeigten die Versuche zur Durchlässigkeit, dass die geforderte schwache Durchlässigkeit ($k_f < 10^{-6}$ m/s) bei Feinkornanteilen > 15 M.-% unabhängig von der Art des Feinkornanteils erreicht werden konnte, bei Mischungen mit Oberboden bereits ab 10 M.-%.

Im Forschungsvorhaben FE 05.0160/2010/MGB „Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten“, wurden vom Institut für Ökologie der TU Berlin Untersuchungen zum Schadstoffrückhalt von unterschiedlichen Bankettmaterialien durchgeführt. Dazu wurden unter anderem Bankettlysimeter an der BAB A 115 errichtet. Die Ergebnisse der durchgeführten Labor- und Felduntersuchungen haben gezeigt, dass ein ausreichender Schadstoffrückhalt bereits bei einem vergleichsweise geringen Feinkornanteil von etwa M.-5 % gewährleistet ist (WERKENTHIN et al. 2014).

Auch aufgrund der Ergebnisse dieser Forschungsarbeiten ist im Zusammenhang mit der Neufassung der ZTV E-StB (ZTV E-StB 17) als Bankettmaterial ein gemischtkörniges Material der Bodengruppe GU oder GT nach DIN 18196 mit einem Feinkornanteil zwischen 8 % und 12 % vorgesehen. Allerdings wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens FE05.0177/2012/MRB keine sandreichen Bankettmaterialien untersucht. Die erarbeiteten Ergebnisse sind außerdem nur für den Zustand unmittelbar nach Einbau aussagekräftig. Welche Tragfähigkeitswerte auf diesen Materialien nach Bewitterung, d.h. nach Trocken-Nass-Zyklen und Frost-Tau-Wechseln erreicht werden können, war bisher noch ungeklärt. Ebenso bestanden Fragen dazu, wie die Tragfähigkeit der Bankette in der Praxis nachgewiesen werden kann. In diesem Zusammenhang war zu klären, welchen Einfluss die Querneigung des Banketts von 6 % bzw. 12 % auf die Durchführung und Ergebnisse des statischen und dynamischen Plattendruckversuches hat.

2 Forschungskonzept

2.1 Forschungsfragen

Bereits im Schlussbericht des Forschungsvorhabens FE05.0177/2012/MRB wurde auf den weiteren Forschungsbedarf hingewiesen, der sich aus den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen ergibt (siehe oben). So war es im Rahmen der gegenständlichen Untersuchungen Ziel, aufbauend auf dem Projekt FE05.0177/2012/MRB zu prüfen, inwieweit auch sandreichere Mischungen innerhalb der Bodengruppen GU/GT für standfeste Bankette eingesetzt werden können und welche Tragfähigkeiten damit kurzfristig und dauerhaft erreichbar sind. Auch Fragen zur Bestimmung der Tragfähigkeit der verdichteten Bankette mit planmäßiger Querneigung in der Praxis waren zu klären. Im Detail sollten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens folgende konkrete Fragestellungen beantwortet werden:

- A) Wie ist das Verhalten von sandreichen, gemischtkörnigen Materialien zur Verwendung in Banketten zu bewerten?
- B) Wie verhalten sich Bankettmaterialien in Abhängigkeit von der Materialzusammensetzung und dem Feinkornanteil unter Witterungsbeanspruchung (Verhalten bei Frost-Tau-Wechsel, Feucht-Trocken-Wechsel)?
- C) Welche Tragfähigkeiten sind nach Einbau (ohne Witterungseinflüsse) auf standfesten Banketten im Feld mit oben genannten Zusammensetzungen in etwa zu erreichen?

- D) Welche Materialzusammensetzung und welcher Anforderungswert an die dauerhafte Tragfähigkeit können vor dem Hintergrund der Ergebnisse für standfeste Bankette empfohlen werden?
- E) Wie kann die Tragfähigkeit von Banketten im Feld experimentell bestimmt werden? Welchen Einfluss hat die Querneigung des Banketts (6 % bzw. 12 %) auf die Durchführung und die Ergebnisse von statischen und dynamischen Plattendruckversuchen?

Die Fragen A) und B) lassen sich hauptsächlich durch Versuche im Labor beantworten, wobei B) anhand von Feldversuchen (Frage D)) verifiziert werden kann. Für die Erörterung der Fragestellungen unter C), D) und E) müssen jedenfalls Versuche im Maßstab 1:1 durchgeführt werden.

2.2 Untersuchungskonzept

2.2.1 Forschungsfragen A) und B) - Laborversuche

Die Auswahl der Versuchsmaterialien für die Laborversuche orientierte sich an den Materialien, die im Rahmen des Forschungsprojektes FE05.0177/2012/MRB untersucht wurden. Hierzu wurden unterschiedliche Ausgangsmaterialien besorgt und für die angestrebten Versuchskörnungen in unterschiedlichen Anteilen zu sandreichen Bankettmaterialien der Bodengruppen GU und GT gemischt. Als Basismaterialien wurden verwendet:

- (1) gebrochene Gesteinskörnung, jeweils in der Körnung 0/32 mm, 2/5 mm und 0/2 mm
- (2) gebrochener RC-Beton, jeweils in der Körnung 0/32 mm, 0/8 mm und 0/4 mm
- (3) gebrochener RC-Mix, jeweils in der Körnung 0/32 mm und 0/4 mm

Um den geforderten Feinkornanteil in den Versuchsmaterialien gewährleisten zu können, erfolgte auch eine stufenweise Zugabe eines feineren Materials. Dazu wurden verwendet:

- (4) Ein feinkörniger Boden TL (für Mischungen GU)
- (5) Ein feinkörniger Boden TA/OT (für Mischungen GT)

Es wurden aus diesen Ausgangsmaterialien insgesamt über 20 Mischungen mit Feinkornanteilen zwischen 4 und 14 M.-% sowie Anteilen < 2 mm zwischen 32 und 59 M.-% hergestellt und im Labor untersucht. Die Ergebnisse der Versuche an diesen Mischungen dienen auch als Grundlage für die weiteren Untersuchungen im Feld bzw. Technikum.

An diesen Materialien wurden zur Beantwortung der Forschungsfrage A) und B) sowie D) Laborversuche durchgeführt. Das Versuchsprogramm umfasste neben der bautechnischen Klassifizierung Versuche zum Verdichtungsverhalten, zur Durchlässigkeit im Verdichtungsoptimum sowie zur Tragfähigkeit direkt nach Verdichtung sowie nach Nass-Trocken-Beanspruchung bzw. Frost-Tau- Beanspruchung. Die den Versuchen zu Grunde liegenden Regelwerke sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Eigenschaft	Versuch
Korngrößenverteilung	Nasse und trockene Siebung DIN 18123
Wassergehalt	Wassergehaltsbestimmung durch Ofentrocknung DIN 18121-1
Verdichtungsverhalten	Proctorversuch DIN 18127
Wasserdurchlässigkeit	Gesättigte Durchlässigkeit DIN 18130-1
Tragfähigkeit (CBR)	Statischer Labor CBR-Versuch TP BF-StB Teil B 7.1 bzw. DIN EN 13286-47

Tab. 1: Übersicht zu den Regelwerken im Rahmen der Laborversuche

2.2.2 Forschungsfrage C) und D) - Feldversuche

Für die Feldversuche zur Dauerhaftigkeit wurden von einem Recyclingunternehmen aus dem Raum München und einem Schotterwerk im Raum Nürnberg insgesamt 4 Materialien der Bodengruppe GU hergestellt. Mit diesen Materialien wurden in einer Grube nahe Allenberg (Landkreis Aichach-Friedberg) im Herbst 2017 dann Versuchsfelder angelegt. Beobachtet wurde im Zeitraum nach dem Einbau die Entwicklung der Tragfähigkeit dieser Bankettmaterialien unter realen Witterungsbedingungen (Nov. 2017 bis Jun. 2018).

Auf der Oberfläche der Versuchsfelder wurden Versuche zur Dichtebestimmung (Ballonverfahren, Troxler-Sonde), Versuche zur Bestimmung des Verformungsmoduls (statische und dynamische Lastplattenversuche) sowie Versuche zur Bestimmung der CBR-Tragfähigkeit (statische und dynamische CBR) durchgeführt. Die den Versuchen zu Grunde liegenden Regelwerke sind in Tab. 2 zusammengefasst. Die Materialien wurden zusätzlich im Labor untersucht, dabei wurden dieselben Verfahren angewandt, wie unter Pkt. 2.2.1 beschrieben (zusätzlich auch der dynamische CBR-Versuch im Labor nach TP Gestein-StB Teil B 5.6).

Eigenschaft	Versuch
Dichte	Ballonverfahren DIN 18125-2
	Troxler-Sonde (Radiometrische Sonde)
Tragfähigkeit	Dynamischer Feld-CBR-Versuch in Anlehnung an TP Gestein-StB Teil B 5.6
	Statischer Feld-CBR-Versuch in Anlehnung an ASTM D4429-09a bzw. TP BF-StB Teil B 7.1 / DIN EN 13286-47
	Statischer Plattendruckversuch DIN 18134
	Dynamischer Plattendruckversuch TP BF-StB Teil B 8.3

Tab. 2: Übersicht zu den Regelwerken im Rahmen der Feldversuche

2.2.3 Forschungsfrage E) - Technikumsversuche

Für die Feldversuche zur Bestimmung der Tragfähigkeit von Banketten im Feld und dem Einfluss der planmäßigen Querneigung von Banketten (6 % bzw. 12 %) wurde von einem Schotterwerk im Raum Nürnberg ein Material der Bodengruppe GU bezogen. Mit diesem Material wurde im Freifeldbereich des ZG der TU

München im Sommer 2018 zwei Versuchsfelder angelegt und untersucht. Die dabei angewandten Versuche und zugehörigen Regelwerke sind in [Tab. 3](#) aufgelistet, zugehörige Laborversuche werden nach den unter Pkt. 2.2.1 beschriebenen Verfahren durchgeführt.

Eigenschaft	Versuch
Dichte	Troxler-Sonde (Radiometrische Sonde)
Tragfähigkeit	Statischer Plattendruckversuch DIN 18134
	Dynamischer Plattendruckversuch TP BF-StB Teil B 8.3

Tab. 3: Übersicht zu den Regelwerken im Rahmen der Technikumsversuche

3 Bankette im Regelwerk und in der Literatur

3.1 Regelwerk der FGSV³

3.1.1 ZTV E-StB 09

Nach den nunmehr nicht mehr gültigen ZTV E-StB 09 waren für die Herstellung standfester Bankette folgende Böden und Baustoffe bzw. Baustoffgemische mit einem Größtkorn von 32 mm geeignet:

- (1) Gemischtkörnige Böden der Bodengruppe GU und GT.
- (2) Gemische aus gebrochenen Gesteinskörnungen, die den genannten Bodengruppen entsprechen.

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

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

In Bezug auf die Verdichtung war für standfeste Bankette ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 100\%$ vorgesehen.

3.1.2 ZTV E-StB 17

In der Neufassung der ZTV E-StB 17 sind für die Herstellung standfester Bankette schwach durchlässige Böden und Baustoffe bzw. Baustoffgemische der Bodengruppe GU und GT mit einem Größtkorn von 32 mm vorgesehen, wobei der Feinkornanteil im eingebauten Zustand zwischen 8 M.-% bis 12 M.-% liegen muss. Die Einbaudicke einzelner Lagen darf 30 cm nicht überschreiten, ein Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 100\%$ ist weiterhin nachzuweisen. Weitere Anforderungen beziehen sich auf den Mindestwert für den Verformungsmodul $E_{v2} = 80$ MPa im statischen Plattendruckversuch nach DIN 18134 und den dynamischen Verformungsmodul $E_{vd} = 40$ MPa im Versuch mit dem Fallgewichtsgerät nach TP BF-StB Teil B 8.3.

Seit der verbindlichen Einführung der Neufassung dieses Regelwerks liegen nun im straßenbautechnischen Regelwerk eindeutige Anforderungen an Bankettmaterialien und deren Einbau vor. Ältere Regelungen wie die nachfolgend dargestellten, die sich in Angaben von der aktuellen Fassung der ZTV E-StB unterscheiden, werden daher nur vollständigheitshalber erwähnt.

³ Textpassagen übernommen aus KOUKOULIDOU et al. (2017).

3.1.3 STLK LB 112

Im Standardleistungskatalog der FGSV für den Straßen- und Brückenbau STLK LB 112 für die Herstellung von zwei- bzw. einschichtigen Banketten werden die folgenden Baustoffe genannt:

- (1) Baustoffgemisch 0/32 für Deckschichten ohne Bindemittel mit mindestens 40 M.-% Kiesanteil.
- (2) Baustoffgemisch für Schottertragschichten
- (3) Baustoff nach Unterlagen des Auftraggebers
- (4) Gemischtkörniger Boden.

3.1.4 RStO 12

Gemäß den RStO 12 gehören die Bankette nicht zu dem Oberbau eines Straßendamms. Deshalb sind in den RStO 12 dafür keine Bauweise oder technischen Anforderungen gegeben. Allerdings ist in der RStO 12 für Straßen außerhalb der Ortslage ein Regelprofil gegeben, in dem die Lage und Begrenzung des Straßenbankettes präzisiert ist. Es liegt im Straßenquerschnitt demnach auf einer zur Böschung ausgezogenen Frostschuttschicht und damit in der Regel nicht direkt auf dem Planum.

3.1.5 RAL 2012

In den Richtlinien für die Anlage von Landstraßen sind nur allgemeine Angaben zum Zweck und den geometrischen Anforderungen enthalten. Eine „standfeste“ Ausführung wird gefordert.

3.1.6 RAS-Ew 2005

Die Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Entwässerung enthalten zu Banketten unterschiedliche Angaben. Diese sind „standfest“ auszuführen und sollen mit einer Querneigung von 6 bzw. 12 % nach außen an die befestigten Flächen anschließen. Zur Ausführung der Bankette verweisen die RAS-Ew 2005 auf das Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau.

3.1.7 Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau 2003

Das Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau enthält Angaben zu Verdichtungsanforderungen für den Bereich unbefestigter Seitenstreifen (Tab. 4). Hinzu kommt die Angabe, dass der unbefestigte Seitenstreifen befahrbar und schwach durchlässig sein soll. Für solche Bankettmaterialien gibt das Merkblatt die Bodengruppen GW, GI, SW, SI, GU, GT, SU oder ST vor. Auch die Verwendung von RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten ist möglich. An der Oberfläche der Bankette sollte zusätzlich eine dünne Oberbodenschicht aufgebracht oder eingearbeitet werden. Das Merkblatt gibt weiterhin an, dass Böden der Bodengruppen GU*, GT*, SU*, ST*, U, T, OK, OU und OT nur verwendet werden sollten, wenn auf die Befahrbarkeit des unbefestigten Seitenstreifens verzichtet werden kann.

	Bodengruppe	Verdichtungsgrad
1	GW, GI, GE, SW, SI, SE	100 %
2	GU, GT, SU, ST	100 %
3	GU*, GT*, SU*, ST*	97 %
4	U, T, OK, OU, OT	97 %

Tab. 4: Anforderungen an das 10 %-Mindestquantil des Verdichtungsgrades für unbefestigte Seitenstreifen

3.2 Regelungen der Bundesländer⁴

3.2.1 Sachsen Anhalt

Die ZTV-StB LSBB 13/14 ist eine Regelung der Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt. In Anlage 7 dieser Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen ist die Richtlinie zur Gestaltung und Bauausführung von Banketten enthalten.

Nach ZTV-StB LSBB 13/14 können Bankette aus folgenden Gemischen und Baustoffen hergestellt werden:

- (1) rezyklierte Gesteinskörnungen, RC-Baustoffe und RC-Gemische
- (2) sonstige rezyklierte Gesteinskörnungen, RC-Baustoffe und RC-Gemische
- (3) natürliche Gesteinskörnungen und Baustoffgemische
- (4) Schotterrasen
- (5) Oberboden.

Für die Herstellung standfester Bankette sollen entweder Baustoffgemische 0/32 mm mit einer Sieblinie (Bild 1) gemäß den TL SoB-StB 04 oder Baustoffgemische, die die Anforderungen der Tab. 5 erfüllen, verwendet werden.

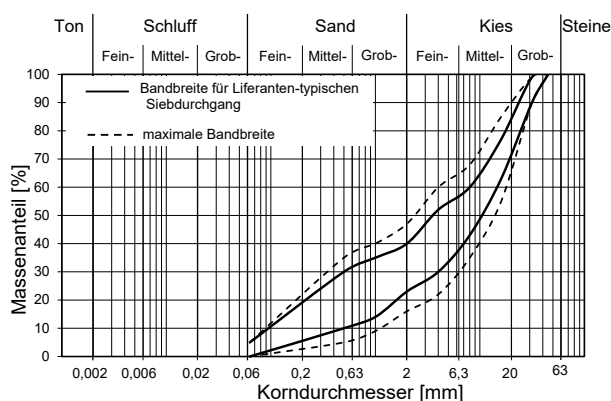


Bild 1: Baustoffgemisch 0/32 für Kies- und Schottertragschichten nach TL SoB-StB

Kornanteil > 2 mm [M.-%]	Kornanteil > 16 mm [M.-%]	Ungleich- förmig- keitsgrad	Sollstärke [cm]	Verformungs- modul [MN/m ²]	
				E_{v2} ^[1]	E_{vd}
≥ 40	≥ 13	≥ 7	≤ 25	≥ 70	≥ 35

Anmerkung:
[1] ...bei $E_{v2}/E_{v1} \leq 4,0$

Tab. 5: Anforderungen an Baustoffgemische zur Herstellung standfester Bankette gemäß den ZTV-StB LSBB 13/14

3.2.2 Brandenburg

Das Merkblatt ME 1.2 für standfeste Bankettstreifen des Landbetriebs Straßenwesen Brandenburg (2012) sieht eine zweischichtige Bankettebauweise vor (Bild 2). Die untere Schicht ist eine Schottertragschicht aus 0/32 mm natürlichen Mineralstoffen bzw. RC-Material. Für die obere Schicht, die eine Dicke von 6 cm bis 8 cm hat, ist ein Oberboden-Schotter-Gemisch mit Schotter der Körnung 0/22 mm nach TL SoB-StB 04

⁴ Textpassagen übernommen aus KOUKOULIDOU et al. (2017).

vorgesehen. Hinsichtlich der Tragfähigkeit wird für die obere Schicht ein dynamischer Verformungsmodul $E_{vd} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ gefordert. Bei Schleifenfahrbahnen und engen Radien ist ein höherer Wert $E_{vd} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ zu gewährleisten.

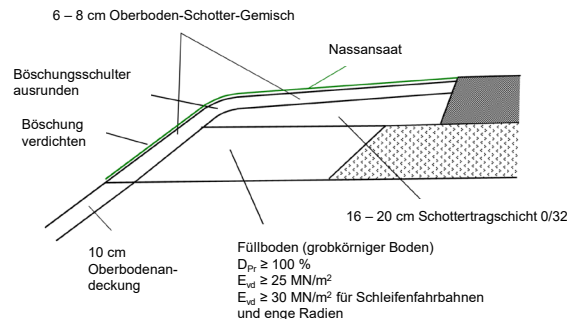


Bild 2: Aufbau von Banketten gemäß ME 1.2

In den Brandenburgischen Technischen Richtlinien für die Verwendung von Recycling-Baustoffen im Straßenbau (BTR RC-StB 14) sind zusätzliche Anforderungen vorgegeben, die die RC-Baustoffe, die für die Herstellung von Banketten verwendet werden, erfüllen müssen. Nach BTR RC-StB 14 soll die Korngrößenverteilung der verwendeten RC-Materialien den Werten in [Tab. 6](#) entsprechen. Hinsichtlich der Tragfähigkeit soll vor dem Aufbringen von Oberboden an der Oberfläche ein E_{v2} -Wert $\geq 80 \text{ MN/m}^2$ oder ein E_{vd} -Wert $\geq 40 \text{ MN/m}^2$ erreicht werden.

Körnung	Kornanteil in Banketten [M.-%]			
	$\leq 0,063 \text{ mm}$	$> 2,00 \text{ mm}$	Durchgang 1,4D ^[1]	Durchgang D
0/32 (Regelfall) bzw. 0/45	≤ 7	50 – 84	100	90 – 99
Anmerkung: [1] ...einschließlich des Überkorns				

Tab. 6: Anforderungen an Material zur Herstellung von Banketten gemäß BTR RC-StB 14

3.2.3 Thüringen

In Thüringen sind Anforderungen an Bankette in einem Erlass des Thüringer Ministeriums für Bau, Landesentwicklung und Verkehr (2010) festgelegt. Standfeste Bankette müssen demnach mit einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100 \%$ aufgebaut werden und einen Verformungsmodul $E_{v2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ bzw. $E_{vd} \geq 35 \text{ MN/m}^2$ aufweisen. Bei engen Fahrstreifen und Schleppkurven werden höhere Tragfähigkeitswerte von $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ bzw. $E_{vd} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ gefordert. Als Materialien sind Baustoffgemische 0/32 mit einem Feinkornanteil von 5 bis 15 % zugelassen (bei zweilagigem Einbau in der unteren Lage auch Material der Bodengruppen GU/GT der Körnung 0/45 und mit ebenfalls 5 - 15 % Feinkornanteil). Für Bauklassen SV und I bis III (neu etwa: Bk 100 bis Bk 1,8) ist außerdem gebrochenes Gesteinsmaterial (Kategorie $C_{90/3}$ nach TL Gestein 04/07) zu verwenden.

3.2.4 Hessen

Bei Hessen Mobil (KUHLE, 2014) wird für die Herstellung von Banketten vorgeschlagen, Materialien für Deckschichten ohne Bindemittel nach ZTV SoB-StB 04 und nach TL SoB-StB 04 zu verwenden. Die Materialien sollen einen Kornanteil $> 2 \text{ mm}$ von mindestens 40 M.-% enthalten und ihr Feinkornanteil soll zwischen 8 M.-% und 15 M.-% liegen ([Bild 3](#)). Das Größtkorn richtet sich nach der Lagendicke, wobei die Lagendicke 20 cm nicht überschreiten sollte. Der Verdichtungsgrad D_{Pr} muss mindestens 100 % betragen.

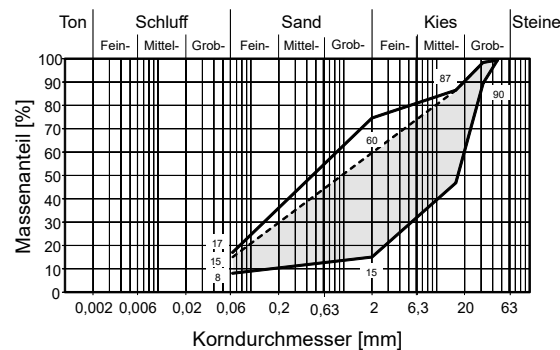


Bild 3: Beispiel für den Körnungsbereich der Bankettmaterialien nach Hessen Mobil (KUHL, 2014) auf Basis von ZTV SoB-StB 04

3.3 Regelwerke aus dem Ausland

3.3.1 Quality Assurance Handbook for Rural Roads (Indien)

Im Quality Assurance Handbook for Rural Roads des indischen Ministeriums für ländliche Entwicklung (Ministry of Rural Development) ist für Bankette eine Verdichtungsanforderung $D_{Pr} \geq 100\%$ bei einer minimalen Trockendichte von $16,5 \text{ kN/m}^3$ angegeben. Wird für das Bankett ein bindiges Bodenmaterial verwendet, so ist die Plastizität der zulässigen Materialien beschränkt. So dürfen die Fließgrenze maximal $w_L = 25\%$ und die Plastizitätszahl maximal $I_P = 6\%$ betragen. Bei nichtbindigen Bankettbaustoffen hat der Feinkornanteil ($< 0,075 \text{ mm}$) kleiner als 10% zu sein (auf tonigem Untergrund sogar $< 5\%$). Für den zulässigen Anteil $< 4,75 \text{ mm}$ in nichtbindigen Böden bestehen Einschränkungen in Abhängigkeit vom Größtkorn des Materials: Bei einem Größtkorn von $26,5 \text{ mm}$ soll dieser Anteil zwischen 25 und 45% liegen. Für nichtbindige Baustoffe gelten auch Vorgaben bezüglich des CBR-Wertes, wobei in der Regel ein CBR-Wert $\geq 20\%$ gefordert wird und unter Umständen auch ein CBR-Wert $\geq 15\%$ als akzeptabel erachtet wird. Auch eine Anforderung zum Widerstand gegen Kornbruch solcher Materialien ist angegeben. Das Regelwerk gibt auch Anforderungen an die Querneigung. Diese soll das Quergefälle der Straße selbst um mindestens 1% überschreiten um die problemlose Entwässerung sicherzustellen.

3.4 Weitere Literatur

STRIEGLER (1998) gibt, allerdings ohne Bezug auf bestimmte Bodengruppen, nützliche Erfahrungswerte zur Befahrbarkeit von Erdfahrbahnen bei Dammbaustellen. Er teilt diese in 4 Befahrbarkeitsklassen ein:

- **Befahrbarkeitsklasse 1:** „Erdstoff ist gut bis sehr gut befahrbar, mehrfache Überfahrten in einer Spur sind unproblematisch“;
- **Befahrbarkeitsklasse 2:** „Erdstoff ist befahrbar, Reduzierung der Überfahrten, jedoch mindestens 10 Überfahrten je Spur“;
- **Befahrbarkeitsklasse 3:** „Übergangsbereich von Verbesserung zur Verschlechterung der Befahrbarkeit, bedingt befahrbar, die Befahrung der Erdfahrbahnen ist problematisch“;
- **Befahrbarkeitsklasse 4:** „die Erdfahrbahn ist nicht mehr befahrbar. In diese Klasse gehört auch ein Erdstoff für die Zeit, in der an seiner Oberfläche eine Schmierschicht vorhanden ist“.

Diesen Befahrbarkeitsklassen ordnet STRIEGLER (1998) folgende Eigenschaften in Tab. 7 zu:

Befahrbarkeits- klasse	mögliche An- zahl der Über- fahrten	Wassergehalt [%]	Trockendichte [g/cm ³]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	E _w [MPa]
1-gut befahrbar	> 1000	5 bis 8	> 2	110	> 100	> 500
2-befahrbar	1000 bis 500	8 bis 12	2 bis 1,75	100	100 bis 80	500 bis 300
3-bedingt befahrbar	500 bis 100	12 bis 15	1,75 bis 1,50	92	80 bis 60	300 bis 200
4-nicht befahrbar	< 100	> 15	< 1,5	80	< 60	< 200
Anmerkung: E _w ...Eindringwiderstand einer Handdrucksonde, siehe STRIEGLER (1998)						

Tab. 7: Befahrbarkeitsklassen von Erdbaustoffen nach STRIEGLER (1998)

Nun sind das Zustandekommen und die Zuordnung unterschiedlicher Parameter in dieser Tabelle nicht ohne weiteres nachvollziehbar. STRIEGLER (1998) selbst erwähnt, dass die zahlreichen Einflussgrößen das Befahrbarkeitsproblem von Erdfahrbahnen sehr komplex und schwer erfassbar machen. Wertvoll sind die Angaben jedenfalls, nicht zuletzt, da sie auf Erfahrungen beruhen.

Untersuchungen von WHITE et al. (2007) an bestehenden Banketten in Iowa führten zu einer Empfehlung bezüglich des CBR-Wertes. Dieser sollte den Autoren zufolge in den obersten 50 cm ab Oberkante Bankett einen Wert von 12 % nicht unterschreiten. Die Feld-CBR-Werte wurden von WHITE et al. (2007) aus Sondierungen (DCP) umgerechnet.

4 Bodenmechanische Grundlagen

4.1 Schädliche Wirkung von Frost im Boden

4.1.1 Frostproblematik im Kontext der Straßenbankette

Die für Bankette geforderten Eigenschaften (hohe Tragfähigkeit, geringe Durchlässigkeit bzw. hohes Schadstoffrückhaltevermögen) müssen langfristig gewährleistet werden. Vor allem für die Anforderungen bezüglich der Tragfähigkeit ist die Wirkung von zufließendem Oberflächenwasser (von der befestigten Fahrbahn) und Frostwetter ein potentiell Problem. Die schädliche Wirkung von gefrierendem Wasser im Boden kann in diesem Kontext in zwei Mechanismen eingeteilt werden: a) die volumetrische Ausdehnung von Wasser beim Übergang von der flüssigen in die feste Phase und b) die Eislinnenbildung.

4.1.2 Volumetrische Ausdehnung beim Gefrieren

Das grundlegendste Kriterium für das Auftreten von Frostschäden im Boden ist das (zumindest zeitweise) Vorliegen von Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts. In Mitteleuropa liegt die Frosteindringtiefe in den Kälteperioden etwa bei 120 cm, wobei im Verkehrswegebau in Deutschland als Bemessungsgröße eine Frosteindringtiefe von 80 cm verwendet wird (STRIEGLER, 1998). Auch in DIN 1054 ist für Flachgründungen ohne gesonderten Nachweis der Frostsicherheit eine Gründungstiefe von mindestens 80 cm vorgesehen.

Die direkteste Auswirkung niedriger Temperaturen auf Wasser kann in diesem Zusammenhang, wie bereits erwähnt, als volumetrische Ausdehnung am Gefrierpunkt angegeben werden. Diese ist für reines Wasser im Dichte-/Temperaturdiagramm in [Bild 4](#) bei 0°C deutlich sichtbar. Jener Punkt, ab dem Wasser im Boden sich in Kristallisationskeimen zu Eis umzuwandeln beginnt, liegt für in der Natur vorkommende Wässer in der Regel unter 0°C und ist zum Beispiel abhängig von den Druckverhältnissen und gelösten Ionen im Bodenwasser (vgl. YONG & WARKENTIN, 1975 oder IWATA et al., 1988).

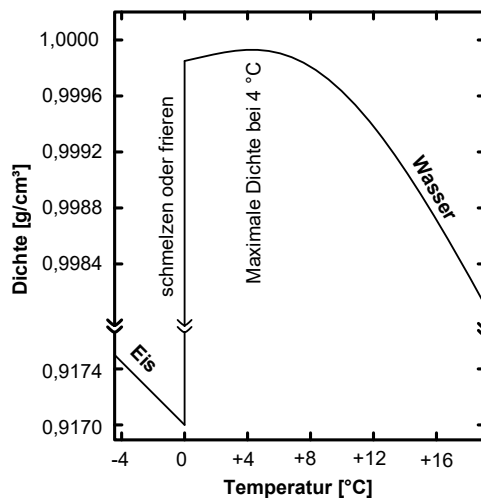


Bild 4: Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur (nach LU & LIKOS, 2004; übersetzt)

Die Beanspruchung und Auflockerung einer verdichteten Bodenstruktur rein durch volumetrische Ausdehnung von Bodenwasser (in etwa 10 %) ist grundsätzlich in allen Böden möglich, unabhängig von der Bodenart. Dabei spielt der Sättigungsgrad eine zentrale Rolle (YONG & WARKENTIN, 1975): Bei niedrigen Sättigungsgraden (Fall a in Bild 5) wird die Ausdehnung des gefrierenden Eises durch die vorhandenen Luftporen kompensiert. Es kann sich kein Eisdruck ausbilden. Mit steigendem Wassergehalt füllt das sich bildende Eis die Poren des Bodens immer vollständiger aus. Damit einher geht die zunehmende Entstehung von Eisdruck auf die Bodenpartikel (Fall b in Bild 5) und die ersten Verformungen. Ist der Boden vollständig mit Wasser gesättigt und ist ein Abströmen von Porenwasser zum Beispiel aufgrund kleiner Durchlässigkeiten nicht schnell genug möglich, so wird die Ausdehnung des Wassers beim Übergang in die feste Phase (Eis) direkt in eine volumetrische Dehnung des Korngefüges (Gefügeflockung) umgewandelt (Fall c in Bild 5).

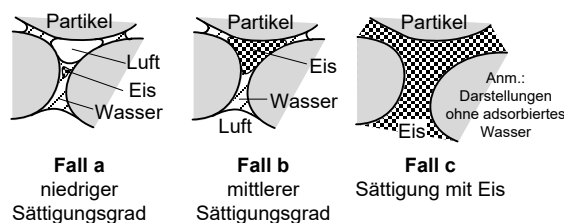


Bild 5: Eisbildung und Eisdruck in Böden in Abhängigkeit vom Sättigungsgrad (nach YONG & WARKENTIN, 1975; übersetzt)

4.1.3 Eislinsenbildung

Im Gegensatz zur auflockernden Wirkung der volumetrischen Ausdehnung des Bodenwassers beim Gefrieren, müssen für eine Eislinsenbildung mehrere Kriterien erfüllt sein (vgl. YONG & WARKENTIN, 1975; HOLTZ et al., 2011):

- (1) Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes des Bodenwassers,
- (2) Präsenz einer Wasserquelle,
- (3) Präsenz frostgefährdeter Boden.

Zu (1) - Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes des Bodenwassers:

Das Abfallen der Bodentemperatur an der Oberfläche im Vergleich zu tieferliegenden Schichten führt zu Wärmeunterschieden. Dieser Wärmegradient kann grundsätzlich über Strahlung, Konvektion und/oder Wärmeleitung abgebaut werden. In ungesättigten Böden wird der Wärmeabbau in Form von Wärmekonvektion in der Gasphase und vor allem über Wärmeleitung erfolgen, in gesättigten Böden hauptsächlich in Form von Wärmeleitung (YONG & WARKENTIN, 1975). Wie auch immer der Abbau eines Temperaturgradienten in einem bestimmten Boden stattfindet, er bedingt eine mehr oder weniger schnelle Wasserbewegung in den befestigten Bereich (siehe MIYAZAKI, 2006) und kann unter Umständen eine Eislinnenbildung hervorrufen (IWATA et al., 1988; JUMIKIS, 1966; YONG & WARKENTIN, 1975).

Zu (2) - Präsenz einer Wasserquelle:

Auf die Auswirkungen einer Befrostung von Boden hat die Verfügbarkeit von Wasser einen großen Einfluss. In der Regel bilden sich schädliche Auswirkungen von Bodenfrost nur in jenen Böden aus, die den Kristallisationskeimen des Eises kontinuierlich neues Wasser zuzuführen vermögen (Eislinnenbildung).⁵ Die Eislinnenbildung ist zwar grundsätzlich auch in geschlossenen Systemen (ohne äußere Zufuhr von Wasser) möglich, kann aber dort aufgrund des nur beschränkt vorhandenen Wasservolumens kaum zu volumetrischen Dehnungen führen (YONG & WARKENTIN, 1975). In einem solchen Prozess trocknen mit dem Abfließen der Wärmeenergie die wärmeren Bodenbereiche aus, während das Bodenwasser in die Frostzone transportiert wird (JUMIKIS, 1966).

Zu (3) - Präsenz frostgefährdeter Böden:

Die Einteilung in frostgefährdete und nicht frostgefährdete Böden erfolgt in der Praxis anhand der grundsätzlichen „Neigung“ (und Möglichkeit) zur Eislinnenbildung und bezieht sich vereinfachend auf die Korngrößenverteilung eines Bodens als Maß für seine Fähigkeit Wasser über kapillare Kräfte anzusaugen und zu leiten. Dementsprechend werden grobkörnige Böden aufgrund der nur kleinen darin möglichen kapillaren Sauspannungen als unproblematisch angesehen. Gleichzeitig werden Tone tendenziell als weniger problematisch eingestuft als Schluffe, weil sich in Ihnen zwar höhere kapillare Sauspannungen ausprägen können, sie aufgrund ihrer kleinen Durchlässigkeit aber nur einen derart langsamen Wassertransport ermöglichen, dass Eislinnenbildung in der Frostphase allein dadurch bereits gehemmt ist (vgl. HOLTZ et al., 2011). Die qualitativ in Bild 6 dargestellten Zusammenhänge spiegeln sich auch in der Klassifizierung von Bodengruppen nach der Frostempfindlichkeit gemäß ZTV E-StB 17 wieder, bei der zum Beispiel ausgeprägt plastische Tone (TA) der Gruppe F2 (gering bis mittel frostempfindlich) und leicht bis mittelplastische Tone (TL, TM) der Gruppe F3 (sehr frostempfindlich) zugeordnet werden (siehe Pkt. 4.2.3). Dabei sollte eines allerdings nicht außer Acht gelassen werden: In verdichteten, feinkörnigen Böden, die in der Regel eine komplexe Porengrößenverteilung aufweisen (Inter- und Intraaggregatporen) bestimmt der Porenraum zwischen den Aggregaten maßgeblich die Gesamtdurchlässigkeit und damit auch die Fähigkeit des Bodens immer neues Wasser zur Eislinnenbildung heranzutransportieren (REED et al., 1979).

⁵ Dies ist alleine aufgrund der unterliegenden, kapillarbrechenden Frostschutzschicht (siehe Pkt. 3.1.4) bei Banketten in aller Regel nicht der Fall

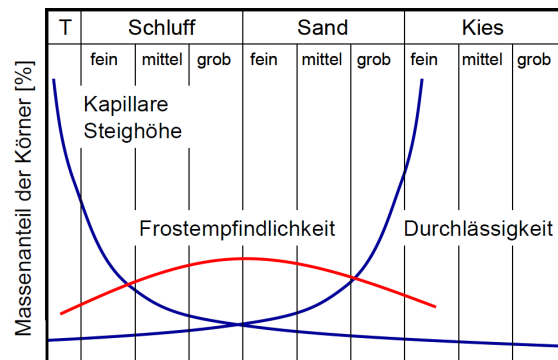


Bild 6: Zusammenhang zwischen Bodenparametern und der Frostempfindlichkeit (aus KELLNER, 2008)

Ist nun ein Wassertransport in eine gefrorene Bodenschicht grundsätzlich möglich, so können die in [Bild 5](#) dargestellten Fälle a bis c mit steigendem Wassergehalt nacheinander durchlaufen werden, gegebenenfalls mit einer zusätzlichen Eislinnenbildung im Anschluss. Problematisch ist bei der Eislinnenbildung neben den möglicherweise großen und ungleichförmigen Hebungen während der Frostphase auch die Tauphase, wenn die Eislinnen an der Oberfläche auftauen aber das Wasser nach unten nicht durch den noch gefrorenen Boden abfließen kann. Dies führt dazu, dass das Material an der Oberfläche stark aufweicht (HOLTZ et al., 2011).

4.2 Erdbautechnisches Verhalten von Materialien der Bodengruppen GU/GT

4.2.1 Warum überhaupt Materialien der Bodengruppen GU und GT für Bankette?

Wie unter Pkt. 3 beschrieben, sind gemäß dem derzeit in Deutschland für den Erdbau im Straßenbau gültigen Regelwerk (ZTV E-StB 17) Böden und Baustoffe bzw. Baustoffgemische der Bodengruppe GU und GT mit einem Größtkorn von 32 mm und Feinkornanteilen zwischen 8 und 12 M.-% zur Verwendung als Bankettbaustoff vorgesehen. Dies resultiert aus der Anforderung, dass Bankette einerseits möglichst die dauerhafte Tragfähigkeit von grobkörnigen Materialien aufweisen sollen, andererseits die Durchlässigkeit und das Schadstoffrückhaltevermögen eines feinkörnigen Materials. Der Kompromiss aus beiden Anforderungen liegt in der Regel bei Körnungen, bei denen das Grobkorngerüst noch maßgeblich an der Lastabtragung teilnimmt, die Poren aber ausreichend mit Feinkorn gefüllt sind und eine freie Durchströmung mit Oberflächenwasser so verhindern. Siehe dazu auch [Tab. 8](#).

Feinkornanteil	< 5 M.-%	gesucht	> 40 M.-%
Lastabtragung über	Grobkorn-skelett	Grobkorn-skelett	Feinkorn-matrix
Durchlässigkeit	groß	klein	klein
Tragfähigkeit	groß	groß	klein

Tab. 8: Umschlagpunkt zwischen tragendem Grobkornskelett und tragender Feinkornmatrix

Bei welchen Mischungsanteilen von Grob- und Feinkorn beide Anforderungen (an die Tragfähigkeit und Durchlässigkeit) erfüllt werden können, hängt von den Eigenschaften der jeweiligen Materialien (zum Beispiel Abstufung und Korndichten von Grob- und Feinkorn, Plastizität des Feinkorns, Angularität der Körner, Neigung zum Kornbruch, etc.) ab. Erschwerend bei der Suche nach einem vorteilhaften Kompromiss wirkt dabei, dass das Optimum von Verdichtung, Scherfestigkeit, Zusammendrückbarkeit und Durchlässigkeit nicht grundsätzlich beim selben Mischungsverhältnis und Wassergehalt auftreten muss (VOß et al., 1986).

4.2.2 Tragfähigkeit und Verformungsverhalten

In den aktuell geltenden ZTV E-StB 17 ist bezüglich der Anforderung an den Verformungsmodul auf dem Planum folgendes festgelegt: allgemein gilt ein zu erreichender Werte von $E_{v2} = 45$ MPa. Nur für Unterbau bzw. Untergrund aus grobkörnigen Kiesen (GW od. GI) gilt auf dem Planum die Anforderung $E_{v2} = 100$ MPa oder $E_{vd} = 50$ MPa bzw. für Unterbau bzw. Untergrund aus grobkörnigen Sanden (SW od. SI) gilt die Anforderung $E_{v2} = 80$ MPa oder $E_{vd} = 40$ MPa. Gemäß den ZTV E-StB 09 waren Böden bei Verwendung im Untergrund oder Unterbau im Planumbereich auf unterschiedliche Anforderungen hin zu verdichten. Dabei wurde je nach geplantem Oberbau und frostempfindlichkeit der Böden ein Wert zwischen $E_{v2} = 120$ MPa bzw. $E_{vd} = 65$ MPa (frostunempfindliche, grobe Böden) und $E_{v2} = 45$ MPa (frostempfindliche, feinkörnige Böden) gefordert. Es kann durchaus erwartet werden, dass sich gemischtkörnige Böden der Bodengruppen GU/GT auf Verformungsmoduln zwischen diesen Werten verdichten lassen. Im Kontext erreichbarer Tragfähigkeiten ist allerdings noch der Einfluss des dem Bankett unterliegenden Materials zu beachten, wenn auch Bankette in der Regel nicht direkt auf dem Planum, sondern auf der zur Böschung ausgezogenen Tragschicht/Frostschuttschicht gegründet werden (siehe RStO 12).

Angaben zur Tragfähigkeit und der Frostempfindlichkeit (hier im Sinne der Frostbeständigkeit) von natürlichen Körnungen der Bodengruppen GU und GT können aus der Standardliteratur entnommen werden, in der oft typische Wertebereiche für Materialgruppen angegeben sind. Die Interpretation solcher Richtwerte ist aber nicht einfach, da die Herkunft und Randbedingungen des Zustandekommens der Werte (zum Beispiel Einbaubedingungen) oft nicht eindeutig nachvollziehbar sind. In nachfolgender Tab. 9 sind Angaben mehrerer Autoren zusammengefasst.

Bodenart gem. Quelle	Feinanteil	Weitere Parameter zur Körnung	CBR [%]	E_{vd} [MPa]	E-Modul	E_{v2} [MPa]	Frostgefährdung
Richtwerte aus HOLTZ et al. (2011) nach U.S. Army Waterways Experiment Station 1960							
GW-GMd [1]	5 - 12 % < 0,075 mm	$C_u \geq 4$, $C_c \leq 3$ und %-Kies > %-Sand im Anteil > 0,075 mm [4]	40 - 80 [3]	-	-	-	leicht bis mittel
GW-GMu [1]			20 - 80 [3]	-	-	-	leicht bis mittel
GW-GC [2]			20 - 80 [3]	-	-	-	leicht bis mittel
Richtwerte aus KNAUPE (1974) nach TGL 109 und 11482							
KF [1]/[2] (trocken)	5 - 15 % < 0,063 mm	%-Kies > %-Sand im Anteil > 0,063 mm	> 25 [5]	-	$E_v \approx 100$ MPa	-	-
KF [1]/[2] (nass)			> 10 [5]	-	$E_v > 60$ MPa	-	
Richtwerte aus STRIEGLER (1998)							
GU	5 - 15 %	bis 60 %	-	30 - 35	-	30 - 55	-
GT	$\leq 0,063$ mm	≤ 2 mm	-	-	-	25 - 40	-
Anmerkung:							
[1] ...Etwa GU nach DIN 18196							
[2] ...Etwa GT nach DIN 18196							
[3] ...Werte zusammengefasst aus mehreren Bodengruppen							
[4] ...Grenze zwischen Sand und Kies bei 4,75 mm							
[5] ...CBR Feld							

Tab. 9: Typische erdbautechnische Eigenschaften von Böden der Bodengruppen GU/GT

Voß et al. (1986) berichten über die Ergebnisse von Plattendruckversuche an gutverdichteten, bindigen Mischböden. Die Autoren geben qualitativ an, dass bei Böden mit Feinkornanteilen < 15 M.-% (wie dies typischerweise auch Böden der Gruppen GU und GT sind) das Verformungsverhalten noch nahezu unabhängig von der Konsistenz des Feinkornanteils ist (wie bei nichtbindigen, grobkörnigen Böden). Siehe hierzu auch Tab. 10.

Gruppe	Kornanteil A_M [M.-%]		Konsistenz l_c des Feinkornanteils (Schluff, Ton)		
	$d < 0,06$ mm	$d > 2$ mm	$l_c \geq 1$	$0,75 \leq l_c < 1$	$l_c \leq 0,75$
1	$A_M < 15$	$A_M \geq 0$	○	○	○
2	$A_M > 15$	$A_M < 30$	◇ ¹⁾	◇	◇
3	$15 < A_M < 40$	$A_M > 30$	○ ¹⁾	□	◇
4	$40 < A_M < 60$	$A_M > 30$	□ ¹⁾	◇	◇
5	$A_M > 60$	-	◇ ¹⁾	◇	◇

Verformungsverhalten bei Plattendruckversuchen:

- wie bei nichtbindigen, grobkörnigen Böden (Sand, Kies, Steine)
- ◇ wie bei bindigen, feinkörnigen Böden (Schluff, Ton)
- Tragfähigkeit im gutverdichteten Zustand zwischen ○ und ◇
- ¹⁾ Zusätzliche Forderung: Luftgehalt $n_a < 12$ %

Tab. 10: Verformungsverhalten bindiger Mischböden nach VOß et al. (1986)

In den Untersuchungen von KOUKOULIDOU et al. (2017) an Böden der Gruppen GU (sowie GU*) und GT (Feinkornanteil 7 bis 18 M.-%) wurden in Laborversuchen CBR-Werte zwischen etwa 30 und 130 % (Rundkorn) und etwa 40 bis 90 % (Breckkorn) dokumentiert. Auch im Technikumsmaßstab wurden einzelne Bankettmaterialien untersucht. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in nachfolgender Tab. 11 zusammengefasst.

Art Grobkorn	FA < 0,063 mm [M.-%]	D_{Pr} [%]	E_{v2} // E_{vd} VOR/NACH Bewässerung	
			VOR [MPa]	NACH [MPa]
Breckkorn	3	104	254 // --	297 // --
Breckkorn	20	94	64 // 36	55 // 28 ^[1]
Rundkorn	14	102	88 // 41	81 // 34
RC-Beton	12	96	96 // 43	95 // 43 ^[2]

Anmerkung:
^[1] ...nach 2.Bewässerung 26 // 23 MPa, nach 3.Bewässerung 26 // 21 MPa
^[2] ...nach 2.Bewässerung 105 // 47 MPa

Tab. 11: Ergebnisse von Technikumsversuchen aus KOUKOULIDOU et al. (2017)

KOUKOULIDOU et al. (2017) schlossen aus den Versuchen, dass bei Bankettmaterialien mit einem Feinkornanteil < 15 M.-% ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 60$ MPa beziehungsweise $E_{vd} \geq 30$ MPa bei einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} = 100$ % erreichbar sein sollte, bei einem Feinkornanteil < 13 M.-% und einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} = 100$ % sogar ein Verformungsmodul $E_{v2} \geq 80$ MPa beziehungsweise $E_{vd} \geq 40$ MPa.

Nimmt man an, dass die Art der Belastung unbefestigter Fahrbahnen durch den Straßenverkehr in etwa jener Belastung ähnelt, der auch Bankette ausgesetzt sind, so können auch Erkenntnisse aus diesem Wissensbereich einbezogen werden. DEL REY et al. (2016) berichten über eine unbefestigte Versuchsstrecke in Spanien, die über mehrere Jahre beobachtet wurde (OK Tragschicht diente gleichzeitig als Fahrbahnoberfläche). Es handelte sich um einen untergeordneten Feldweg, ausgelegt auf eine Verkehrslast von weniger als 11 schweren Fahrzeugen pro Tag. Dabei wurden in der Tragschicht vergleichend natürliche und recycelte Baustoffe aus gemischtem Bauschutt auf wenig tragfähigem, tonigem Untergrund verbaut (Aufbauhöhe etwa 50 cm, Untergrund $E_{v2} \approx 20$ -30 MPa). Die verwendeten Materialien wiesen einen Feinkornanteil ($< 0,063$ mm) von etwa 9 bis 14 M.-% auf und können den Bodengruppen GU/GT nach DIN 18196 zugeordnet werden. Auf der Oberfläche der Steckenabschnitte mit natürlichen Körnungen wurde

nach Herstellung ein E_{v2} -Wert von 170,1 MPa gemessen ($E_{v1} = 83,1$ MPa), auf der Oberfläche der Querschnitte mit Recyclingbaustoffen ein E_{v2} -Wert von 144,7 MPa ($E_{v1} = 70,0$ MPa). Über eine Beobachtungszeit von 1,5 Jahren wurde beim Abschnitt mit natürlichem Material eine leichte Abnahme der Steifigkeit, beim Abschnitt mit Recyclingbaustoffen eine leichte Zunahme der Steifigkeit festgestellt. Diese Zunahme wurde auf sekundäre Verfestigungsprozesse zurückgeführt (siehe Pkt. 4.3). Die Ergebnisse weisen außerdem auf saisonale Schwankungen der Tragfähigkeiten hin. Die Spurrillenbildung lag bei beiden Materialien, der natürlichen und der rezyklierten Körnung, an der Oberfläche nahezu identisch bei etwa 10 mm.

4.2.3 Frostanfälligkeit und Dauerhaftigkeit

In den ZTV E-StB 17 ist die Beurteilung der Frostepfindlichkeit von Böden und Baustoffen anhand von Merkmalen der Kornverteilung und den plastischen Eigenschaften beschrieben. Siehe dazu [Bild 7](#).

Die Einteilung in die Frostepfindlichkeitsklassen F1, F2 und F3 gibt einen Anhaltswert dafür, „[...] wie frostepfindlich sie sich verhalten können, wenn bei Frosttemperatur Wasser in der Gefrierzone vorkommt oder ihr zufließt oder vom Boden nachgesaugt wird. [...]“. Damit ergibt sich für die Bodengruppen GU und GT mit einem Feinkornanteil von 8 bis 12 M.-% bei typischen Ungleichförmigkeitszahlen (C_u) zwischen 30 und 300 (siehe VON SOOS & ENGEL, 2017) eine Zuordnung in die Klassen F2.

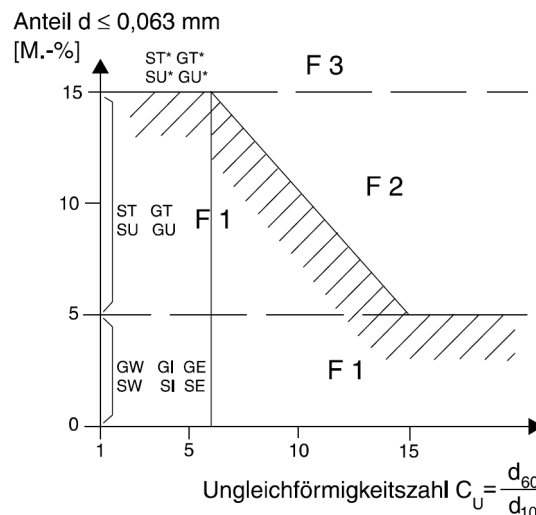


Bild 7: Zuordnung der Böden zu Frostepfindlichkeitsklassen (nach ZTV E-StB 17)

HOLTZ et al. (2011) beschreiben eine Klassifikation zur Frostgefährdung von Böden des U.S. Army Corps of Engineers (U.S. DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984). Dabei werden kiesige Böden mit einem Anteil $< 0,02$ mm zwischen 6 und 10 M.-% in die Kategorie „sehr kleine bis große Frostanfälligkeit“, und kiesige Böden mit einem Anteil $< 0,02$ mm von 10 bis 20 M.-% in die Kategorie „mittlere bis große Frostanfälligkeit“ kategorisiert (ebenso wie sandige Böden mit einem Anteil $< 0,02$ mm von 16 bis 15 M.-%). Die Klassifikation bezieht sich allerdings auf die Begünstigung der Frostlinsenbildung.

In Bezugnahme auf Pkt. 4.1 kann zur Verwendung von Material der Bodengruppen GU/GT zur Verwendung in Banketten noch Folgendes erwähnt werden: Bankette werden in Deutschland auf einer frostsicheren Schicht gegründet, daher ist eine Wasserzufuhr von unten unterbunden (siehe Pkt. 3.1.4). Als realistisches Szenario stellt sich daher die Wasserzufuhr von oben dar (Wasserzufluss von der befestigten Fahrbahn, direkte Bewitterung). Einerseits kann ein verdichtetes Material mit zu hohen Feinkornanteilen beim Kontakt mit Wasser direkt aufweichen und einen Teil seiner Tragfähigkeit verlieren (VOß et al., 1986). Dies gilt insbesondere für Materialien mit Anteilen an Tonmineralien (GT). Andererseits ist zu befürchten, dass ein

wiederkehrendes Auftauen und Gefrieren von bereits in das verdichtete Material eingedrungenem Wasser (bei hohen Sättigungsgraden zum Beispiel nach Regen) während Frostperioden zu einer volumetrischen Aufweitung und damit zur Entfestigung des Gefüges führt. Für die nach den neuen ZTV E-StB 17 zur Verwendung in Banketten vorgesehenen, schwach durchlässigen Materialien der Bodengruppen GU und GT mit Feinkornanteilen zwischen 8 und 12 M.-% ist also bei Nässe und Frost eine Auflockerung vorab nicht auszuschließen. Diese könnte sicher nur dann vermieden werden, wenn auf die Anforderung bezüglich niedriger Durchlässigkeiten verzichtet und somit gewährleistet wird, dass oberflächlich eindringendes Wasser schnell durch das Bankett abgeführt werden kann.

4.3 Hinweise zur Verwendung von Recyclingmaterial aus Bauschutt im Erd- und Straßenbau

Seit den Neunzigerjahren des vergangenen Jahrhunderts werden in Deutschland durch den Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. Monitoring Berichte zum Anfall und der Verwendung mineralischer Bauabfälle auf Basis von Daten des statistischen Bundesamtes zur Verfügung gestellt. Seit 2010 wurden bereits 4 Berichte veröffentlicht (siehe Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. 2011, 2013, 2015 und 2017)⁶. In diesen Berichten ist sehr anschaulich dargestellt, dass jährlich sehr große Mengen (etwa 200 Mio. t) an mineralischen Bauabfällen anfallen. Mit einem Anteil von etwa 30 % ist im mehrjährigen Mittel ein maßgeblicher Teil davon der Kategorie „Bauschutt“ zuzuordnen. Obwohl bereits große Teile dieses Materials einer hochwertigen Verwertung zugeführt werden, wird auch hier angestrebt, die Materialkreisläufe möglichst zu schließen. Dazu gilt es einerseits, das bautechnische Verhalten solcher Materialien bei der Verwendung in unterschiedlichen Anwendungen in in ausreichendem Maße zu verstehen und andererseits Verwertungswege zur Verfügung zu stellen, die den Eigenschaften des Materials entsprechen.

Dass das Ziel der ressourcenschonenden Bewirtschaftung von Bauabfällen nicht nur in Deutschland immer mehr an Relevanz gewinnt, zeigt auch die wachsende Anzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen in internationalen Zeitschriften zu eben diesem Themenbereich. Die thematischen Trends der aktuellen Forschung hierzu wurden von YUAN & SHEN (2011) identifiziert: a) Anfall von Bauschutt, b) Reduktion der Mengen an Bauschutt, c) Wiederverwendung von Baurestmassen, d) Recycling von Bauschutt, e) Abfallmanagement für Bauschutt und f) der Faktor Mensch im Abfallmanagement für Bauschutt. Die Bereitstellung neuer Verwertungswege für solche Reststoffe, wie die Verwendung in Straßenbanketten, passt daher sehr gut zum Fokus internationaler Bemühungen. Während der Hauptteil der wissenschaftlichen Beiträge derzeit noch aus Industrieländern stammt, gehen YUAN & SHEN (2011) davon aus, dass zukünftig wohl auch immer mehr Forscher aus Entwicklungsländern sich dem Thema widmen werden.

Recyclingmaterial aus Bauschutt wird derzeit in Deutschland hauptsächlich als grobe Körnung in den ungebundenen Tragschichten des Straßenbaus verwendet. Auch die wissenschaftliche Literatur behandelt solche Sekundärrohstoffe hauptsächlich in diesem Kontext. In einem von CARDOSO et al. (2016) veröffentlichten Artikel werden die allgemeinen und mechanischen Eigenschaften von typischen Bauabfällen (Betonbruch, gemischter Bauschutt, etc.) im Vergleich zu natürlichen Körnungen anhand einer ausführlichen Literaturstudie anschaulich dargestellt. Die nachfolgende Zusammenstellung konzentriert sich auf einzelne ausgewählte Eigenschaften, die für die Beurteilung der Eignung solcher Materialien als Bankettbaustoff als relevant erscheinen und die aus den Untersuchungen an groben Körnungen verallgemeinert werden können.

Verdichtungseigenschaften. Gebrochene Bauschuttmaterialien sind im Gegensatz zu natürlichen Körnern porös. Betonbruch- aber vor allem auch Ziegelbruchmaterial ist dazu in der Lage, Wasser in diese

⁶ Die Monitoring Berichte für den Zeitraum seit 1996 können unter <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de> abgerufen werden.

Poren zu saugen und dort zu speichern. Diese Doppelporosität äußert sich in einer multimodalen Porenverteilung von verdichteten Bauschuttmaterialien (zum Beispiel GÓMEZ et al., 2013). Das Vorhandensein der Poren führt einerseits dazu, dass die optimale Verdichtung erst bei höheren Wassergehalten erfolgt als bei vergleichbaren natürlichen Körnungen. Andererseits führt der zusätzliche Anteil an Poren in den Körnern zu niedrigeren, durch die Verdichtung noch erreichbaren Trockendichten. Neben Angaben aus der Literatur (unterschiedliche Autoren zusammengefasst in CARDOSO et al., 2016; GARACH et al. 2015; TAHERKHANI, 2015) bestätigen dies auch die eigenen Erfahrungen mit solchen Materialien (zum Beispiel HENZINGER et al., 2015).

Steifigkeit und Tragfähigkeit. Eigenschaften wie Steifigkeit und Tragfähigkeit (CBR) hängen neben der Verdichtung stark von der tatsächlichen Zusammensetzung und dem Kornaufbau der Materialien ab. Die in der Literatur vorhandenen Angaben zu CBR-Versuchen (als Indexwert für die Tragfähigkeit) ergeben insgesamt aber ein positives Bild. So können an Recyclingbaustoffen aus Bauschutt insgesamt CBR-Werte in derselben Größenordnung gewonnen werden, wie an vergleichbaren natürlichen Materialien, wobei die Werte für rezyklierte Körnungen in der Regel aber unter den Werten natürlicher Körnungen liegen (ARULRAJAH et al. 2012b; zusammenfassende Darstellung unterschiedlicher Autoren in CARDOSO et al., 2016; HENZINGER et al., 2015). Kein einheitliches Bild ergibt sich aus dieser Literatur zum Einfluss des Ziegelanteils auf die CBR-Werte. Aufgrund der unterschiedlichen Materialien und anderer Einflüsse lässt sich auch zur Steifigkeit solcher Materialien keine eindeutige Aussage tätigen. Die Zusammenfassung unterschiedlicher Forschungsergebnisse von CARDOSO et al. (2016) zeigt allerdings, dass Recyclingmaterialien aus Bauschutt durchaus auch gleiche oder ähnliche Steifigkeiten aufweisen können, wie vergleichbare natürliche Körnungen (siehe auch ARM, 2001; DEL REY et al. 2016; GRÉGOIRE et al., 2011; GRÉGOIRE et al., 2015), der Ziegelanteil beeinflusst nach ARULRAJAH et al. (2012b) dabei die Ergebnisse deutlich weniger, als der Wassergehalt und die Trockendichte. Es ist außerdem aus verschiedenen Untersuchungen in der Literatur bekannt, dass die Steifigkeit und Festigkeit (sowie auch die CBR-Tragfähigkeit) einer Änderung über die Zeit unterliegen (siehe ARM, 2001; DEL REY et al. 2016; GARACH et al., 2015; HENZINGER et al., 2016; HUBER et al., 2009; POON et al., 2006; SHUI et al., 2008; VEGAS et al., 2011). Diese Änderung äußert sich allgemein als Zunahme der jeweiligen Werte für die Festigkeit und Steifigkeit und wird auf sekundäre Verfestigungsprozesse aufgrund von neuerlicher Zementsteinbildung zurückgeführt (siehe GARACH et al. 2015; POON et al. 2006; SHUI et al., 2008, VEGAS et al. 2011).

Dauerhaftigkeit. Die Neigung von Recyclingmaterialien aus Bauschutt zum Kornbruch wird je nach Fragestellung mittels Indexversuchen (Schlagzertrümmerung, Los Angeles Abrasivität) oder durch Siebversuche vor und nach Verdichtung untersucht. Die Zerkleinerung von Anteilen einer Körnung steht in Verbindung mit der Kornform (vgl. LEITE et al., 2011) und Partikelfestigkeit und ist bei schlagender Verdichtung höher als bei vibrierender (siehe CARDOSO et al., 2016). Gemäß unterschiedlicher Untersuchungen sinkt zwar mit steigendem Anteil an RC-Material in einem Gemisch der Widerstandswert des Materials, die Anforderungen an Tragschichtmaterialien können aber in der Regel trotzdem eingehalten werden (ARULRAJAH, 2012a; ARULRAJAH, 2012b; TAHERKHANI, 2015). Problematisch können unter Umständen hohe Ziegelanteile sein (ARULRAJAH, 2011). Direkte und indirekte Versuche zum Kornbruch im Zusammenhang mit Befrostung weisen insgesamt nicht auf eine generell mangelnde Eignung von Recyclingmaterialien aus Bauschutt hin (TAHERKHANI, 2015; KRASS & KOLLAR, 2004), die Eignung dürfte viel mehr von der tatsächlichen Zusammensetzung des Materials abhängen (CARDOSO et al. 2016). Dabei werden Ziegelanteile in der Regel nicht das größte Problem darstellen, maßgebliche Anteile an Mörtel und Putz in Gemischen wurde von KRASS & KOLLAR (2004) allerdings als problematisch identifiziert (vgl. auch CARDOSO et al. 2016).

Die Frostempfindlichkeit solcher Materialien kann zum Beispiel mit Frosthebungsversuchen (Fragestellungen in Bezug auf die Eislinnenbildung) und CBR-Versuchen nach Befrostung untersucht werden. KRASS & KOLLAR (2004) beschreiben die Ergebnisse solcher Versuche. Diese zeigen, dass vor allem in gemischtem

Bauschutt (Betonbruch und Ziegel) die Auflockerung durch Befrostung und die Nachverfestigung gegenläufige Tendenzen darstellen. In Summe dokumentierten KRASS & KOLLAR (2004) auch hier in der Regel eine Zunahme der Tragfähigkeit. Eine ähnlich positive Bilanz ist auch bei reinem Betonbruch zu erwarten.

Wasserdurchlässigkeit. Auch zur Wasserdurchlässigkeit von Recyclingmaterialien aus Bauschutt liegen hauptsächlich Untersuchungen im Kontext der Verwendung als grobkörnige Tragschichtmaterialien vor, und die Ergebnisse im Vergleich zu natürlichen Körnungen sind nicht eindeutig (unterschiedliche Autoren zusammengefasst in CARDOSO et al., 2016). Dass die Bestimmung der Durchlässigkeit solcher Materialien nicht einfach, ist bestätigen auch Erfahrungen, nach denen es bei der Durchströmung von Recyclingmaterialien aus Betonbruch mit Wasser im Zuge von Durchlässigkeitsversuchen zu Kalkausfällungen aus dem Wasser kommen kann, die die Durchlässigkeit des untersuchten Materials deutlich herabsetzen können (RIEDELSHEIMER, 2016).

5 Laborversuche zu sandreichen Bankettbaustoffen

5.1 Konzept und Untersuchungsprogramm

5.1.1 Allgemeines

Zur Untersuchung des Verhaltens von sandreichen Bankettbaustoffen sowie der Verhalten von Bankettbaustoffen in Bezug auf Bewitterung wurden unterschiedliche Versuchsmaterialien durch anteilige Mischung hergestellt (siehe Pkt. 5.2). Das Untersuchungsprogramm im Labor umfasste neben der Klassifizierung die Bestimmung der Verdichtungseigenschaften, der Tragfähigkeit im Verdichtungsoptimum (ohne und mit Bewitterung) und die Bestimmung der Durchlässigkeit im Verdichtungsoptimum. Der Ablauf ist grafisch in **Bild 8** dargestellt, auf die einzelnen Versuche (außer Klassifizierung) wird in den nachfolgenden Kapiteln näher eingegangen.

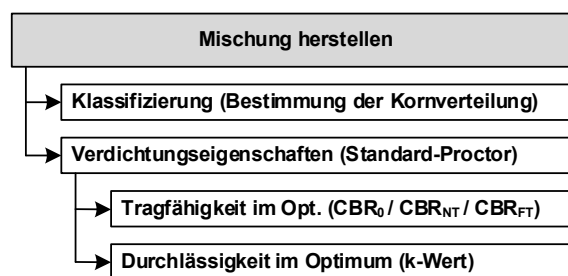


Bild 8: Untersuchungsprogramm bei den Untersuchungen im Labor

5.1.2 Verdichtungsversuche

Zur Erzielung der für die Verdichtungsversuche vorgesehenen Wassergehalte wurden die Einzelproben der unterschiedlichen Mischungen jeweils vor der Verdichtung händisch mit Wasser vermischt. Die Verdichtungsversuche selbst erfolgten nach etwa 10-minütiger Homogenisierungszeit im CBR-Topf mit \varnothing 15 cm (mit Stahlplatte) mit einfacher Proctorenergie nach DIN 18127.

5.1.3 Versuche zur dauerhaften Tragfähigkeit

Die Untersuchungen zur Tragfähigkeit (CBR) erfolgten gemäß TP BF-StB Teil B 7.1 und wurden an der Unterseite von Proben durchgeführt, die jeweils im Verdichtungsoptimum hergestellt wurden (Verdichtung mit Proctorenergie). Entsprechend den Erfahrungen am Zentrum Geotechnik der TU München ist bei der Untersuchung von Materialien mit einem Größtkorn von 32 mm ein erhöhter Einfluss der seitlichen Einspannung im Topf (insgesamt höhere Werte) sowie eine größtkornbedingt höhere Schwankung der CBR-Werte zu erwarten⁷. Der Einfluss der Einspannung kann im gegenständlichen Falle dadurch relativiert werden, dass bei der Auswertung immer nur die selben Materialien mit unterschiedlicher Vorbehandlung (Vergleich ohne/mit Bewitterung) miteinander verglichen werden (Annahme: der Einfluss der Einspannung im Zylinder ist bei den jeweils verglichenen Materialien gleich groß). Um der größeren Schwankung der Werte zu begegnen, wurden je Einbaubedingung und Versuchsanordnung (Nullversuch, Versuch nach Frost-Tau-Belastung und Versuche nach Nass-Trocken-Belastung) immer 3 gleiche Proben untersucht (Mittelwertbildung).

- (1) **Nullversuche:** Jeweils drei Proben wurden im Verdichtungsoptimum erstellt und direkt nach der Verdichtung und dem Wenden des CBR-Topfes an ihrer Unterseite geprüft. Diese Versuche waren als Referenz erforderlich, um die Auswirkungen der Bewitterung im Vergleich zum Zustand unmittelbar nach dem Einbau quantitativ erfassen zu können.
- (2) **Versuche zur Frost-Tau-Beanspruchung:** Jeweils drei Proben je gewählter Einbaubedingung wurden nach dem Wenden des CBR-Topfes im Anschluss an die Verdichtung vorab mit Wasser beaufschlagt. Dies erfolgte über den durch das Entfernen der Einsatzscheibe entstandenen Leerraum im Zylinder (siehe Bild 10), sodass die Probe von oben nach unten durchsickert wurde. Zur Durchsickerung wurden die Proben für etwa 24 Stunden bei etwa 20°C gelagert. Nach Ablauf dieser Zeit wurde das gegebenenfalls verbleibende Wasser vorsichtig entfernt und die Probe in einen Klimaschrank überführt. Die Befrostung erfolgte in sechs Zyklen⁸ mit einem zeitlichen Temperaturverlauf in Anlehnung an TP BF-StB Teil B 11.1. Siehe dazu auch Bild 9. Etwa 6 Stunden nach Abschluss der letzten Auftauphase wurden die aufgetauten Probekörper aus dem Klimaschrank entnommen und der CBR-Versuch durchgeführt.

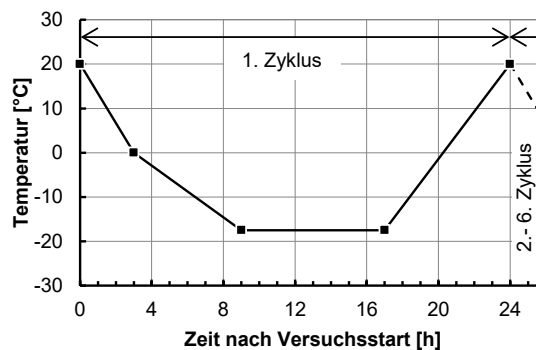


Bild 9: Temperaturverlauf während der Frost-Tau-Zyklen in Anlehnung an TP BF-StB Teil B 11.1

Bei dieser Versuchsdurchführung wird berücksichtigt, dass Bankettmaterialien in situ infolge von Niederschlägen eine Befeuchtung erfahren und im durchfeuchteten Zustand bei Kaltperioden gefrieren

⁷ Dies ist wohl mitunter auch der Grund dafür, dass die Versuchsdurchführung nach TP BF-StB Teil B 7.1 eigentlich auf Materialien mit einem Größtkorn von 22,4 mm eingeschränkt ist.

⁸ In TP BF-StB Teil B 11.1 sind 12 Zyklen vorgesehen. Aufgrund der großen Anzahl an zu untersuchenden Proben wurde die Anzahl der Zyklen auf 6 beschränkt.

können. Eine durch Frosteinwirkung verursachte Eislinnenbildung ist aufgrund der unterhalb des Banketts befindlichen Frostschutzschicht bei Bankettmaterialien nicht zu befürchten und wird deshalb bei der vorgesehenen Versuchsdurchführung nicht berücksichtigt (keine Frosthebeversuche).

- (3) **Versuche zur Nass-Trocken-Beanspruchung:** Wiederum drei Proben (im Proctoroptimum verdichtet) wurden vor der Prüfung mittels CBR-Versuch auch einer Nass-Trocken-Beanspruchung unterzogen. Die Beanspruchung erfolgte dabei, wie bei den Frost-Tau-Wechseln, in sechs Zyklen, durch die Beaufschlagung mit Wasser über den Leerraum im Zylinder (siehe Bild 10). Es war vorgesehen, dass die Proben so im Abstand von jeweils 24 Stunden sieben mal mit Wasser von oben nach unten durchströmt werden. Zwischen diesen Bewässerungsphasen sollten die Bodenproben bei definierter Temperatur (20°C) und Raum-Luftfeuchtigkeit (etwa 40 bis 60 % rel.LF) gelagert werden, so dass eine oberflächliche Verdunstung und Austrocknung grundsätzlich möglich ist. Es stellte sich heraus, dass bei manchen Proben nur eine schwache bis sehr schwache Durchsickerung stattfand. Bei diesen Proben ähnelte die Beanspruchung aufgrund des dauerhaften Einstaus an der Oberfläche einer ebenfalls ungünstigen Wasserlagerung. Die Durchführung der CBR-Versuche erfolgte nach sechs Nass-Trockenwechseln im Anschluss an die letzte Bewässerung (aufgrund des dazwischenliegenden Wochenendes insgesamt am jeweils neunten Tag nach Probenherstellung). Jeweils etwa 15 Minuten vor der Prüfung wurde gegebenenfalls an der Oberfläche verbliebenes Wasser vorsichtig entfernt.

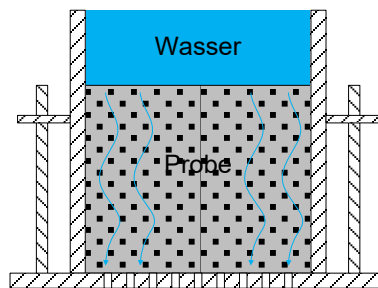


Bild 10: Beaufschlagung der CBR-Proben mit Wasser für die Versuche zur Dauerhaftigkeit

5.1.4 Versuche zur Probenalterung

An ausgewählten Proben wurden Versuche zur Alterung der Proben (Nacherhärtung) nach Verdichtung durchgeführt. Dabei wurden die Probekörper nach Herstellung im Verdichtungszyylinder belassen. Diese wurden unten und oben durch eine Kunststoffolie verschlossen um eine Verdunstung zu verhindern. Nach einer 21-tägigen Lagerung (bei etwa 20°C) wurde die Kunststoffolie abgenommen und die Proben den Nass-Trocken und Frost-Tau Zyklen der Versuche zur Dauerhaftigkeit gemäß Pkt. 5.1.3 zugeführt.

5.1.5 Versuche zur Durchlässigkeit

Die Versuche zur Durchlässigkeit der im Optimum verdichteten Proben (Ø 15 cm) wurden nach DIN 18130-1 in der Triaxialzelle mit einem Zelldruck von 5 bar und einem Sättigungsdruck von 4,5 bar durchgeführt (DIN 18130-TX-MS-KP-UO). Die zu bestimmenden Durchlässigkeiten bis um $k = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s befinden sich im Grenzbereich der Anwendung der Versuchsanlage zur Bestimmung der Durchlässigkeit (Triaxialanlage). Alternativ dazu kann bis etwa $k = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s die Durchlässigkeit von Proben grundsätzlich auch im Stahlzylinder (Proctortopf) bestimmt werden. Hierzu wurde im Rahmen von FE05.0177/2012/MRB aller-

dings festgestellt, dass für solche Materialien ein hohes Fehlerpotential besteht (Bildung von Randumläufigkeiten). Von einer Durchführung im Stahlzylinder wurde daher abgesehen. Die Permittivität der Anlage (mit Filterplatten) wurde bei der Bestimmung der Durchlässigkeit der Bodenproben berücksichtigt⁹.

5.2 Material

Die Basismaterialien für die Herstellung der Versuchskörnungen wurden in Anlehnung an die Untersuchungen in FE05.0177/2012/MRB ausgewählt. Zusätzlich wurde gemischtes RC-Material aus Bauschutt in die Untersuchungen mit aufgenommen. Als grobkörnige Bestandteile für die Mischungen wurden gewählt:

- (1) gebrochene Gesteinskörnung¹⁰, jeweils in der Körnung 0/32 mm, 3/5 mm und 0/2 mm,
- (2) gebrochener RC-Beton¹¹ (nahezu nur gebrochener Beton), jeweils in der Körnung 0/32 mm, 0/8 mm und 0/4 mm (abgesiebt aus 0/8 mm) und
- (3) gebrochener RC-Mix¹² (aus gemischtem Bauschutt – hauptsächlich RC-Beton mit Ziegelanteilen), jeweils in der Körnung 0/32 mm, und 0/4 mm.

Auf die Untersuchung von rundkörnigem Grobkorn wurde verzichtet, da solche Materialien für Bankette in der Regel nicht als Bankettbaustoff verwendet werden¹³.

Als feinkörnige Materialien für die Mischungen wurde gewählt:

- (4) leichtplastischer Ton¹⁴ (TL gem. DIN 18196) sowie
- (5) ausgeprägt plastischer Ton¹⁵ (TA/OT gem. DIN 18196).

Um die angestrebten Versuchskörnungen zu erhalten, wurden diese Liefermaterialien in unterschiedlichen Anteilen gemischt. Dies erfolgte im nahezu trockenen Zustand der Materialien mittels Betonmischer. Im Anschluss wurden die gemischten Proben (jeweils etwa 130 kg) mittels Probeteiler (Riffelteiler, DIN EN 932-2) in Proben mit einer Probemenge von etwa 8 kg aufgeteilt. Von den so entstandenen 16 Einzelproben wurden fünf zur Erstellung der Verdichtungskurven, neun für die Durchführung von CBR-Versuchen, eine für die bautechnische Klassifizierung (Bestimmung der Kornverteilung) und eine weitere für die Untersuchung der Durchlässigkeit im verdichteten Zustand verwendet.

Die fertigen Mischungen wurden mittels kombinierter Nass- und Trockensiebung klassifiziert. Die Feinanteile der Materialien bewegen sich in der Regel, wie vorgesehen, im Bereich leicht unter bis leicht über 10 M.-%. Insgesamt sind die Mischungen sandreich, mit Anteilen < 2 mm zwischen etwa 35 M.-% und 60 M.-%.

⁹ Die Randbedingungen der Anlage beeinflussen die Messung vor allem dann, wenn die Durchlässigkeit der Probe nicht mehr deutlich geringer ist als jene der Anlage selbst. Die Durchlässigkeit der Anlage (inklusive Filterplatten) wird zweckmäßig anhand der sogenannten Permittivität ψ_{Anlage} mit der Einheit [1/s] charakterisiert. Aus der versuchstechnisch ermittelten Permittivität ψ_{Gesamt} (Anlage + Probe) kann dann anhand der Gleichung $1/\psi_{\text{Gesamt}} = 1/\psi_{\text{Anlage}} + 1/\psi_{\text{Probe}}$ die Permittivität der Bodenprobe ψ_{Probe} errechnet werden. Die Umrechnung in einen k-Wert in [m/s] erfolgt durch Multiplikation der Permittivität mit der Probenlänge ($k = \psi_{\text{Probe}} \cdot l$). Siehe hierzu zum Beispiel SCHANZ (ohne Datum).

¹⁰ Es handelt sich um gebrochenen Kalkstein aus dem Raum Ingolstadt.

¹¹ Das Material wurde von einem Recyclingunternehmen aus dem Raum München bezogen.

¹² Die zwei verwendeten Materialien stammen von zwei unterschiedlichen Recyclingunternehmen aus Bayern.

¹³ Für Informationen zum bautechnischen Verhalten Bankettbaustoffen mit rundkörnigem Grobkorn wird auf FE05.0177/2012/MRB verwiesen.

¹⁴ Es handelt sich beim angegebenen Material um den Feinanteil, der als Nebenprodukt im Zuge der Kieswäsche im Raum München (Isar) anfällt. Das Material ist aufgrund seiner Herkunft aus den Nördlichen Kalkalpen stark Kalzit-, Dolomit- und Quarzhaltig mit Körnern hauptsächlich in der Schlufffraktion (mind. etwa 70 M.-%). Die Zustandsgrenzen des Materials: Fließgrenze $w_L = 26,0$ % und Ausrollgrenze $w_P = 14,2$ % (jeweils Mittelwert aus 2 Messungen).

¹⁵ Es handelt sich beim angegebenen Material um ein Lieferprodukt der Fa. Amberger Kaolinwerke (Chinafill BZ). Das Material weist einen Tonanteil von etwa 60 M.-% auf, besteht gemäß den Angaben des Herstellers chemisch hauptsächlich aus Siliziumdioxid und Aluminiumoxid und weist ebenfalls nach Angaben des Herstellers einen Glühverlust nach DIN 51081 von etwa 12 M.-% auf. Die Zustandsgrenzen des Materials: Fließgrenze $w_L = 60,6$ % und Ausrollgrenze $w_P = 31,4$ % (jeweils Mittelwert aus 5 Messungen).

Die Sieblinien des natürlichen Brechkorns mit jeweils Schluff und Ton sind in [Bild 11](#) und [Bild 12](#) dargestellt. Es handelt sich um Materialien, die nach DIN 18196 in die Bodengruppen GU und GT einzuteilen sind.

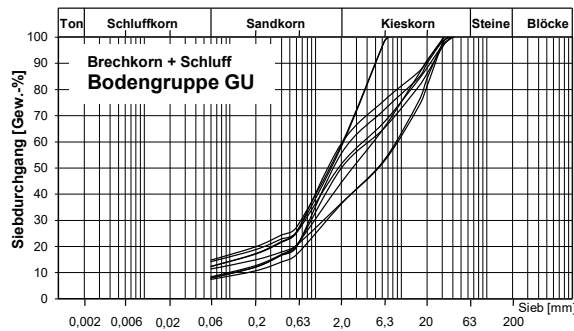


Bild 11: Mischungen von natürlichem Brechkorn mit schluffigen Feinkornanteilen (GU)

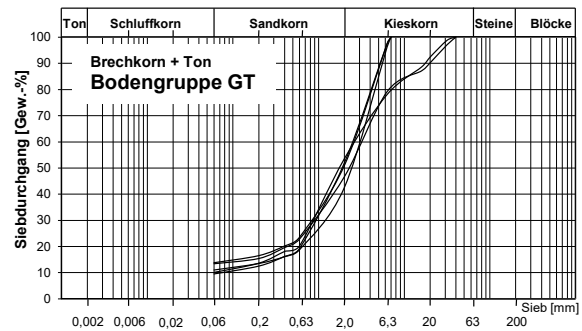


Bild 12: Mischungen von natürlichem Brechkorn mit tonigen Feinkornanteilen (GT)

[Bild 13](#) und [Bild 14](#) zeigen die Kornverteilungskurven der Mischungen des RC-Betons mit jeweils Schluff und Ton. Es handelt sich um Materialien, die nach DIN 18196 in die Bodengruppen GU und GT einzuteilen sind.

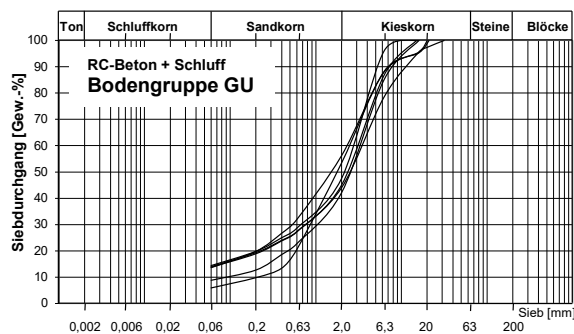


Bild 13: Mischungen von RC-Beton mit schluffigen Feinkornanteilen (GU)

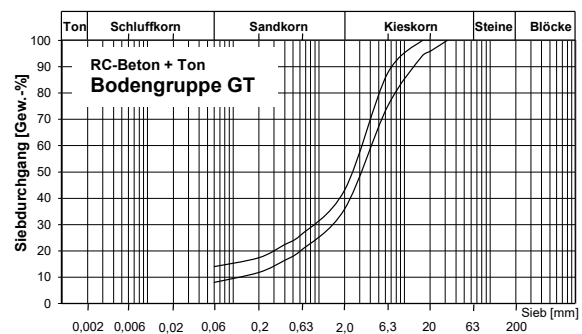


Bild 14: Mischungen von RC-Beton mit tonigen Feinkornanteilen (GT)

[Bild 15](#) zeigt einen RC-Mix der Bodengruppe GI, sowie eine Mischung von RC-Mix mit schluffigen Feinkornanteilen (GU).

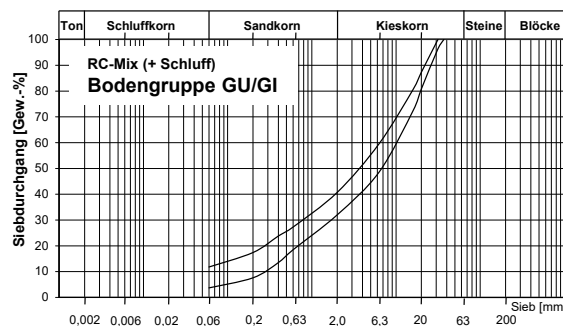


Bild 15: RC-Mix, teils mit schluffigen Feinkornanteilen (GU/GI)

Die Sieblinien der einzelnen Materialien sind unter Pkt. 0 dargestellt. Im Bericht werden die Materialien im Weiteren anhand einer Kurzbezeichnung identifiziert. Diese setzt sich aus Angaben zur Art des Grobkorns

(**Bk**...Breckkorn, **RC**...RC-Beton, **RCM**...RC-Mix), der Art des Feinkorns (**Si**...Schluff, **Cl**...Ton), dem Anteil des Feinkorns (< 0,06 mm), dem Anteil < 2 mm, sowie einer Angabe zum Größtkorn zusammen. Demnach ist beispielsweise das Material mit der Kurzbezeichnung „Bk.Si.07F.36<2 (GK32)“ eine Mischung aus Brechkorn (**Bk**.Si.07F.36<2 (GK32)) und Schluff (Bk.**Si**.07F.36<2 (GK32)), mit 7 M.-% Feinkornanteil (Bk.Si.**07F**.36<2 (GK32)), einem Anteil < 2 mm von 36 M.-% (Bk.Si.07F.**36<2** (GK32)) und einem Größtkorn von 32 mm (Bk.Si.07F.36<2 (**GK32**)). Hingegen kann beispielsweise das Material mit der Kurzbezeichnung „RC.Cl.14F.43<2 (GK8)“ als eine Mischung aus RC-Beton (**RC**.Cl.14F.43<2 (GK8)) und Ton (RC.**Cl**.14F.43<2 (GK8)), mit 14 M.-% Feinkornanteil (RC.Cl.**14F**.43<2 (GK8)), einem Anteil < 2 mm von 43 M.-% (RC.Cl.14F.**43<2** (GK8)) und einem Größtkorn von 8 mm (RC.Cl.14F.43<2 (**GK8**)) identifiziert werden.

5.3 Ergebnisse der Laborversuche

5.3.1 Allgemeines

Die Darstellung der Versuchsergebnisse erfolgt zusammenfassend für die unterschiedlichen Arten des Grobkornanteils (Breckkorn, RC-Beton, RC-Mix). Die Verdichtungskurven und Einzelergebnisse der CBR-Versuche und Durchlässigkeitsversuche sind im Anhang zu diesem Bericht für jedes Material einzeln dargestellt. Die vergleichende Auswertung erfolgt unter Pkt. 5.4.

5.3.2 Mischungen mit natürlichem Brechkorn

Die Ergebnisse der Verdichtungs- und Tragfähigkeitsversuche (CBR) an aus natürlichem Brechkorn und Schluff beziehungsweise Ton hergestellten Materialien der Bodengruppen GU und GT sind in nachfolgender Tab. 12 dargestellt. Die Proben für die CBR-Versuche (mit und ohne Nass-Trocken-Wechsel bzw. Frost-Tau-Wechsel) sollten etwa im Verdichtungsoptimum ($D_{Pr} = 100\%$ und $w = w_{Pr}$) hergestellt werden. Die tatsächlich erreichten Einbaubedingungen im Bezug auf die maximale Trockendichte sind in der Tabelle enthalten.

Material	VERDICHTUNG			NULL		NASS-TROCKEN		FROST-TAU	
	ρ_s [g/cm ³]	w_{Pr} [%]	ρ_{Pr} [g/cm ³]	D_{Pr} [%]	CBR ₀ [%]	D_{Pr} [%]	CBR _{NT} [%]	D_{Pr} [%]	CBR _{FT} [%]
Bodengruppe GU - Mischungen mit Schluff (TL) als Feinkorn									
Bk.Si.08F.45<2 (GK32)	2,702	8,4	2,17	97 - 99	118	-	-	-	-
Bk.Si.07F.36<2 (GK32)	2,702	7,5	2,18	99 - 101	141	98 - 100	153	-	-
Bk.Si.11F.37<2 (GK32)	2,703	7,0	2,25	100	105	99 - 100	150	100	153
Bk.Si.08F.50<2 (GK32)	2,707	8,2	2,14	99 - 100	131	99 - 101	129	100	118
Bk.Si.08F.56<2 (GK32)	2,710	8,5	2,06	100	83	99 - 100	97	100	79
Bk.Si.12F.52<2 (GK32)	2,707	7,2	2,22	100	98	99 - 101	100	99 - 100	92
Bk.Si.12F.59<2 (GK32)	2,712	9,3	2,15	99 - 100	86	99 - 100	93	99 - 100	80
Bk.Si.14F.58<2 (GK8)	2,713	9,1	2,07	100	57	100	58	100	58
Bk.Si.15F.59<2 (GK8) ^[2]	2,713	--- ^[3]	--- ^[3]	100 - 101	63	101	62	101	59
Bodengruppe GT - Mischungen mit Ton (TA) als Feinkorn									
Bk.Cl.10F.54<2 (GK32)	2,697	9,7	2,07	100	81	99 - 101	94	99 - 100	46
Bk.Cl.10F.52<2 (GK8)	2,698	13,0	1,95	100	47	100	50	100	32
Bk.Cl.11F.43<2 (GK8)	2,690	12,8	1,95	99 - 100	50	100	47	100	29
Bk.Cl.14F.51<2 (GK8)	2,690	11,4	1,99	100 - 101	38	99 - 100 ^[1]	43 ^[1]	100 - 101	28
Bk.Cl.13F.47<2 (GK32)	2,690	9,7	2,08	100	54	99 - 101	45	100	34
Anmerkungen:									
[1] ...Ermittelt an einer nachträglich hergestellten Probe (Bk.Cl.14F.54<2 (GK8))									
[2] ...Nass-Trocken Zyklen und Frost-Tau-Zyklen gem. Pkt. 5.1.3 nach 21-tägiger verschlossener Lagerung im Zylinder (Alterung) gemäß Pkt. 5.1.4									
[3] ...Einbaubedingungen gemäß Bk.Si.14F.58<2 (GK8)									

Tab. 12: Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit an Mischungen mit Brechkorn

Die Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit von etwa im Verdichtungsoptimum verdichteten Proben ist in Tab. 13 zusammengefasst.

Material	VERDICHTUNG		
	D _{Pr} [%]	Δw [1] [%]	k [m/s]
Bodengruppe GU - Mischungen mit Schluff (TL) als Feinkorn			
Bk.Si.08F.45<2 (GK32)	-	-	-
Bk.Si.07F.36<2 (GK32)	98	+0,3	8,9·10 ⁻⁶
Bk.Si.11F.37<2 (GK32)	99	+0,8	3,7·10 ⁻⁸
Bk.Si.08F.50<2 (GK32)	98	0,0	5,4·10 ⁻⁶ [2]
Bk.Si.08F.56<2 (GK32)	99	+0,1	- [3]
Bk.Si.12F.52<2 (GK32)	100	+0,6	2,8·10 ⁻⁸ [2]
Bk.Si.12F.59<2 (GK32)	100	-1,0	2,0·10 ⁻⁷ [2]
Bk.Si.14F.58<2 (GK8)	99	-0,1	9,7·10 ⁻⁷
Bk.Si.15F.59<2 (GK8)	-	-	-
Bodengruppe GT - Mischungen mit Ton (TA) als Feinkorn			
Bk.Ci.10F.54<2 (GK32)	99	+0,5	5,4·10 ⁻⁷ [2]
Bk.Ci.10F.52<2 (GK8)	99	-0,7	2,2·10 ⁻⁸ [2]
Bk.Ci.11F.43<2 (GK8)	100	-0,6	- [4]
Bk.Ci.14F.51<2 (GK8)	100	+0,3	3,3·10 ⁻⁶
Bk.Ci.13F.47<2 (GK32)	101	-0,2	3,3·10 ⁻⁸
Anmerkungen:			
[1] ...Abweichung vom optimalen Wassergehalt Δw = w - w _{Pr}			
[2] ...Chronologisch erste Versuchsreihen, Angabe des Durchlässigkeitswertes unter Berücksichtigung einer im Sinne der Fragestellung ungünstigen Permittivität der Anlage (siehe Pkt. 5.1.5; eine systematische Zuordnung der verwendeten Filterplatten zu Versuchszellen ist bei diesen Versuchen noch nicht erfolgt)			
[3] ...Ohne gültigen Wert (Fehler bei Messung)			
[4] ...Ohne gültigen Wert (Wert außerhalb des mit der Versuchsanlage messbaren Bereichs)			

Tab. 13: Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit an Mischungen mit Brechkorn

5.3.3 Mischungen mit RC-Beton

Die Ergebnisse der Verdichtungs- und Tragfähigkeitsversuche (CBR) an aus RC-Beton und Schluff beziehungsweise Ton hergestellten Materialien der Bodengruppen GU und GT sind in nachfolgender Tab. 14 dargestellt. Die Tabelle enthält Angaben zu den tatsächlich erreichten Einbaubedingungen im Bezug auf die maximale Trockendichte.

Material	VERDICHTUNG			NULL		NASS-TROCKEN		FROST-TAU	
	ρ_s [g/cm ³]	w_{Pr} [%]	ρ_{Pr} [g/cm ³]	D_{Pr} [%]	CBR_0 [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{NT} [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{FT} [%]
Bodengruppe GU - Mischungen mit Schluff (TL) als Feinkorn									
RC.Si.14F.44<2 (GK32)	2,688	13,1	1,96	100	73	99 - 100	110	99 - 100	117
RC.Si.14F.48<2 (GK8)	2,672	13,2	1,91	100 - 101	81	99 - 100	103	99 - 100	97
RC.Si.14F.45<2 (GK8) ^[2]	2,672	--- ^[3]	--- ^[3]	101	72	101	107	101	110
RC.Si.09F.42<2 (GK8)	2,666	13,4	1,83	100 - 101	99	99	109	100	96
RC.Si.14F.56<2 (GK32)	2,667	14,9	1,88	98 - 99	79	98 - 99	114	98 - 99	87
RC.Si.06F.53<2 (GK32)	2,663	15,7	1,81	99	89	99 - 100	120	99 - 100	96
Bodengruppe GT - Mischungen mit Ton (TA) als Feinkorn									
RC.Cl.14F.43<2 (GK8)	2,647	14,5	1,86	100	25 ^[1]	99 - 100	53	100	36
RC.Cl.08F.36<2 (GK32)	2,652	13,0	1,90	99	104	99	143	100	118
Anmerkungen: [1] ...Mittelwert aus 2 Werten [2] ...Nass-Trocken Zyklen und Frost-Tau-Zyklen gem. Pkt. 5.1.3 nach 21-tägiger verschlossener Lagerung im Zylinder (Alterung) gemäß Pkt. 5.1.4 [3] ...Einbaubedingungen für die CBR-Versuche gemäß RC.Si.14F.48<2 (GK8)									

Tab. 14: Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit an Mischungen mit RC-Beton

Die Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit von etwa im Verdichtungsoptimum verdichteten Proben ist in Tab. 15 zusammengefasst.

Material	VERDICHTUNG		
	D_{Pr} [%]	Δw ^[1] [%]	k [m/s]
Bodengruppe GU			
RC.Si.14F.44<2 (GK32)	99	+0,6	$5,8 \cdot 10^{-8}$
RC.Si.14F.48<2 (GK8)	98	+0,5	$6,1 \cdot 10^{-7}$
RC.Si.14F.45<2 (GK8) ^[2]	-	-	-
RC.Si.09F.42<2 (GK8)	99	0	$5,8 \cdot 10^{-6}$
RC.Si.14F.56<2 (GK32)	98	-1,5	$7,2 \cdot 10^{-7}$
RC.Si.06F.53<2 (GK32)	98	-2,5	$5,1 \cdot 10^{-6}$
Bodengruppe GT			
RC.Cl.14F.43<2 (GK8)	100	+0,5	$6,2 \cdot 10^{-9}$
RC.Cl.08F.36<2 (GK32)	99	+0,9	$1,8 \cdot 10^{-6}$

Tab. 15: Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit an Mischungen mit RC-Beton

5.3.4 Mischungen mit RC-Mix

Es wurden auch zwei Recyclingmaterialien der Klasse RC-Mix untersucht. Einerseits ein Material, das im Rahmen einer Versuchsstrecke an der Staatsstraße St 2251 zwischen Eichenhöfen und Velburg, in der Nähe von Regensburg, als Bankettmaterial verwendet wurde (Art der Baumaßnahme: Querschnittsverbreiterung auf mehreren Kilometern). Dieses Material ist der Bodengruppe GI zuzuordnen und wird nachfolgend unter der Kurzbezeichnung RCM.4F.32<2(GK32) geführt. Da dieses Material bezüglich der Bodenart (Feinkornanteil) nicht den Anforderungen der ZTV E-StB 17 entspricht, wurde auch eine Mischung mit schluffigen Feinanteilen hergestellt (dafür wurde aufgrund fehlender Materialmengen allerdings ein anderes RC-Mix Grundmaterial verwendet). Die Verdichtungs- und Tragfähigkeitsversuche (CBR) an diesen Materialien der Bodengruppen GU und GI sind in nachfolgender Tab. 16 dargestellt. Die Tabelle enthält jeweils auch Angaben zu den tatsächlich erreichten Einbaubedingungen im Bezug auf die maximale Trockendichte.

Material	VERDICHTUNG			NULL		NASS-TROCKEN		FROST-TAU	
	ρ_s [g/cm ³]	W_{Pr} [%]	ρ_{Pr} [g/cm ³]	D_{Pr} [%]	CBR_0 [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{NT} [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{FT} [%]
Bodengruppe GU/GI (- Mischungen mit Schluff (TL) als Feinkorn)									
RCM.Si.12F.41<2 (GK32)	--- [2]	13,7	1,83	100	123	99 - 100	126 [1]	101	108
RCM.4F.32<2 (GK32)	--- [2]	15,4	1,77	99 - 100	121	99 - 100	156	98 - 102	143
Anmerkungen: [1] ...Mittelwert aus 2 Werten [2] ...ohne Versuch, angenommen mit 2,65 g/cm ³									

Tab. 16: Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit an Mischungen mit RC-Mix

Die Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit von etwa im Verdichtungsoptimum verdichteten Proben ist in Tab. 17 zusammengefasst.

Material	VERDICHTUNG		
	D_{Pr} [%]	Δw [1] [%]	k [m/s]
Bodengruppe GU			
RCM.Si.12F.41<2 (GK32)	97	+0,5	$4,1 \cdot 10^{-7}$
Bodengruppe GI			
RCM.4F.32<2 (GK32)	99	-1,2	$4,5 \cdot 10^{-6}$

Tab. 17: Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit an Mischungen mit RC-Mix

5.4 Vergleichende Auswertung und Diskussion

5.4.1 Allgemeines

Im Sinne des Forschungsziels (siehe Pkt. 2.1) lassen sich die Laboruntersuchungen zur Beantwortung der Forschungsfragen A) und B) heranziehen:

- Wie ist das Verhalten von sandreichen, gemischtkörnigen Materialien zur Verwendung in Banketten zu bewerten?
- Wie verhalten sich Bankettmaterialien in Abhängigkeit von der Materialzusammensetzung und dem Feinkornanteil unter Witterungsbeanspruchung (Verhalten bei Frost-Tau-Wechsel, Feucht-Trocken-Wechsel)?

Das Verhalten der Materialien wird anhand jener Versuche beurteilt, die im Labor durchgeführt werden können. Während sich die Bodengruppe (mit Feinkornanteil) und die Durchlässigkeit¹⁶ von im Verdichtungsoptimum verdichteten Proben im Labor bestimmen lassen, ist eine Aussage zum Verhalten im Bezug auf die Tragfähigkeit beziehungsweise das Verformungsverhalten mit und ohne Bewitterung im Feld nur qualitativ möglich. Einerseits, weil die Bewitterung der Materialien in wenigen Zyklen kein umfassendes Bild über deren dauerhaftes Verhalten zulässt. Es liefert nur einen ersten Indikator dafür, ob und wie stark sich die Tragfähigkeit durch die Bewitterung ändert. Andererseits ist die Tragfähigkeit beziehungsweise das Verformungsverhalten von Banketten im Feld (gemäß den Angaben der ZTV E-StB 17) mit dem Platendruckversuch nachzuweisen. Im Labor kann dieser Versuch nicht durchgeführt werden und daher wird die Tragfähigkeit qualitativ durch einen deutlich kleineren Stempeldringversuch (CBR) abgebildet. Beide Versuche können unter gewissen Umständen miteinander verglichen werden (FLOSS 1973). Eine direkte¹⁷

¹⁶ Dabei ist zu erwähnen, dass die Durchlässigkeit eines Materials im Feld aufgrund unterschiedlicher Faktoren stark von der Durchlässigkeit im Labor abweichen kann (zum Beispiel BLIGHT 2013).

¹⁷ Labor-CBR → E_{v2}

oder indirekte¹⁸ Umrechnung zwischen dem CBR-Wert im Labor und einem E_{v2} -Wert im Feld ist vor allem bei grob- und gemischtkörnigen Materialien nicht einfach möglich, da einerseits im Vergleich von Labor-CBR und Feld-CBR sehr unterschiedliche Randbedingungen die Versuchsergebnisse beeinflussen (im Labor seitliche Einspannung im Topf). Zusätzlich unterscheidet sich im Vergleich zwischen CBR-Versuch (im Feld und Labor) und dem Plattendruckversuch im Feld noch die Belastungsart der geprüften Oberfläche (Scherung/Kompression im CBR-Versuch und eher Kompression im Plattendruckversuch).

Zum Zusammenhang zwischen Werten aus dem Labor-CBR-Versuch und Werten aus dem Feld-CBR-Versuch ist insgesamt wenig bekannt, außer dass die Werte aus Labor-CBR-Versuchen in der Regel höher sind als Werte aus Feld-Versuchen. Dies kann auf den Einfluss des CBR-Topfes (seitliche Einspannung) zurückgeführt werden (siehe MORGAN 1972, sowie LIVNEH & GREENSTEIN 1979). Die seitliche Einspannung durch den CBR-Topf wirkt sich nach MORGAN (1972) je nach Topfdurchmesser und Plastizität des geprüften Bodens unterschiedlich stark aus und ist nach LIVNEH & GREENSTEIN (1979) auch der Grund dafür, dass der Labor-CBR-Versuch an granularen Materialien nicht zur Bestimmung von Bemessungswerten herangezogen werden sollte. SUDA et al. (1971) geben an, dass Sande mit einem Feinkornanteil (Anteil $< 0,074$ mm) von weniger als 5 % beim Labor-CBR-Versuch höhere Werte liefern als im Feld-CBR-Versuch. Bei Sanden mit einem höheren Feinkornanteil (Anteil $< 0,074$ mm) berichten sie über nahezu gleiche Werte aus Labor- und Feldversuchen. Nach Untersuchungen an schluffigen Tonen von *Kate* (entnommen aus SHUKLA & SIVAKUGAN 2011) hingegen ist der Wert des Labor-CBR-Versuches etwa um den Faktor 1,35 höher, als der Wert aus dem Feld-CBR-Versuch. Zu grobkörnigen Böden oder gemischtkörnigen Böden mit Kieskornanteilen gibt es in der Literatur leider keine Angaben.

Da zum derzeitigen Zeitpunkt keine wissenschaftlich fundierten Grundlagen zur Quantifizierung des Einflusses der seitlichen Einspannung (durch den CBR-Topf) auf die CBR-Werte von gemischtkörnigen Böden bestehen, können die im Labor bestimmten CBR-Werte nicht direkt mit den Anforderungswerten an Bankette (Verformungsmoduln E_{v2}) verglichen werden. Die grundsätzlich vorhandenen Verfahren zur Umrechnung von CBR-Werten in Verformungsmoduln, die selbst bereits nur grobe Näherungswerte liefern können, berücksichtigen diesen Randeinfluss nicht. Trotzdem kann vor allem die Änderung der CBR-Werte durch die Nachbehandlung (Trocken-Nass-Zyklen und Frost-Tau-Zyklen) als Indikator dafür herangezogen werden, wie sich unterschiedliche Materialien (unabhängig von ihrem Größtkorn) bei Bewitterung verhalten und ob die Tragfähigkeit abnimmt. Als Beurteilungskriterium wird also die Änderung der Tragfähigkeit (CBR) durch die Nachbehandlung (Nass-Trocken-Wechsel und Frost-Tau-Wechsel) herangezogen.

5.4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

In nachfolgender Tab. 18 sind die Untersuchungsergebnisse der Versuche im Labor zusammengefasst dargestellt.

¹⁸ Labor-CBR \rightarrow Feld-CBR \rightarrow E_{v2}

Bezeichnung	Art Mischung	FA	GK	BG	Durchlässigkeit k	CBR ₀	ΔCBR _{NT} [2]	ΔCBR _{FT} [3]
Anforderung		8 – 12 %	≤ 32 mm	GU/GT	< 1·10⁻⁶ m/s	-	-	-
Bk.Si.08F.45<2	Breckkorn und TL	8 %	32 mm	GU	-	118 %	-	-
Bk.Si.07F.36<2		7 %	32 mm	GU	8,9·10 ⁻⁶ m/s	141 %	+12 %	-
Bk.Si.11F.37<2		11 %	32 mm	GU	3,7·10 ⁻⁸ m/s	105 %	+45 %	+48 %
Bk.Si.08F.50<2		8 %	32 mm	GU	5,4·10 ⁻⁶ m/s [1]	131 %	-1 %	-12 %
Bk.Si.08F.56<2		8 %	32 mm	GU	-	83 %	+14 %	-3 %
Bk.Si.12F.52<2		12 %	32 mm	GU	2,8·10 ⁻⁸ m/s [1]	98 %	+2 %	-6 %
Bk.Si.12F.59<2		12 %	32 mm	GU	2,0·10 ⁻⁷ m/s [1]	86 %	+7 %	-6 %
Bk.Si.14F.58<2		14 %	8 mm	GU	9,7·10 ⁻⁷ m/s	57 %	+1 %	+1 %
Bk.CI.10F.54<2	Breckkorn und TA	10 %	32 mm	GT	5,4·10 ⁻⁷ m/s [1]	81 %	+13 %	-36 %
Bk.CI.10F.52<2		10 %	8 mm	GT	2,2·10 ⁻⁸ m/s [1]	47 %	+3 %	-15 %
Bk.CI.11F.43<2		11 %	8 mm	GT	-	50 %	-3 %	-21 %
Bk.CI.14F.51<2		14 %	8 mm	GT	3,3·10 ⁻⁶ m/s	38 %	+5 %	-10 %
Bk.CI.13F.47<2		13 %	32 mm	GT	3,3·10 ⁻⁸ m/s	54 %	-9 %	-21 %
RC.Si.14F.44<2	RC-Beton und TL	14 %	32 mm	GU	5,8·10 ⁻⁸ m/s	73 %	+37 %	+44 %
RC.Si.14F.48<2		14 %	8 mm	GU	6,1·10 ⁻⁷ m/s	81 %	+21 %	+16 %
RC.Si.09F.42<2		9 %	8 mm	GU	5,8·10 ⁻⁶ m/s	99 %	+9 %	-4 %
RC.Si.14F.56<2		14 %	32 mm	GU	7,2·10 ⁻⁷ m/s	79 %	+35 %	+8 %
RC.Si.06F.53<2		6 %	32 mm	GU	5,1·10 ⁻⁶ m/s	89 %	+31 %	+7 %
RC.CI.14F.43<2	RC-Beton und TA	14 %	8 mm	GT	6,2·10 ⁻⁹ m/s	25 %	+28 %	+11 %
RC.CI.08F.36<2		8 %	32 mm	GT	1,8·10 ⁻⁶ m/s	104 %	+39 %	+14 %
RCM.Si.12F.41<2	RC-Mix und TL	12 %	32 mm	GU	4,1·10 ⁻⁷ m/s	123 %	+3 %	-15 %
RCM.4F.32<2		4 %	32 mm	GW	4,5·10 ⁻⁶ m/s	121 %	+34 %	+22 %
Anmerkungen:								
[1] ...Chronologisch erste Versuchsreihen, Angabe des Durchlässigkeitswertes unter Berücksichtigung einer im Sinne der Fragestellung ungünstigen Permittivität der Anlage (siehe Pkt. 5.1.5; eine systematische Zuordnung der verwendeten Filterplatten zu Versuchszellen ist bei diesen Versuchen noch nicht erfolgt).								
[2] ...ΔCBR _{NT} = CBR _{NT} - CBR ₀								
[3] ...ΔCBR _{FT} = CBR _{FT} - CBR ₀								

Tab. 18: Zusammenfassung und Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

5.4.3 Interpretation und Diskussion

Die Versuchsergebnisse müssen im Kontext der Anforderungen der ZTV E-StB 17 bezüglich Bodengruppe und Feinkornanteil nicht diskutiert werden (der Hauptanteil der Mischungen entsprechen diesbezüglich wie vorgesehen den Anforderungen des Regelwerks). Ein vertiefter Blick lohnt sich allerdings auf die Erreichbarkeit der Vorgaben zur Durchlässigkeit (schwach durchlässig, $k < 1 \cdot 10^{-6}$ bis $1 \cdot 10^{-8}$ m/s nach DIN 18130-1) unter Berücksichtigung der untersuchten Bodengruppen. Hierzu lassen sich die Ergebnisse von KOUKOULIDOU et al. (2017) in die Auswertung der vorliegenden Versuchsergebnisse einbinden. Die Zusammenschau der Ergebnisse ist in Bild 16 dargestellt. Bei der Betrachtung der Umhüllenden der Daten ist erkennbar, dass die geforderte schwache Durchlässigkeit in den genannten Bodengruppen etwa zwischen 6 und 15 M.-% erreichbar ist. Bei näherer Betrachtung zeigt Bild 16 mit Ausnahme weniger Datenpunkte, dass die geforderte Durchlässigkeit ($k < 1 \cdot 10^{-6}$ m/s) von nahezu allen Materialien mit Feinkornanteilen ab 10 M.-% eingehalten wird. In Bezug auf die Abhängigkeit der Durchlässigkeit vom Feinkornanteil lassen sich aus den Daten insgesamt keine auffälligen Unterschiede zwischen den Bodengruppen GU und

GT ableiten. Die Untersuchungen unterstreichen die Relevanz der in der neuen ZTV E-StB 17 angegebenen Einschränkung des Feinkornanteils auf 8 bis 12 M.-% zur Gewährleistung von schwach durchlässigen Bankettmaterialien.

In Bezug auf die unter Pkt. 2.1 formulierte Forschungsfrage A) lässt sich anhand der Darstellung in [Bild 17](#) keine systematische Beeinflussung der Durchlässigkeit aufgrund des Anteils < 2 mm feststellen¹⁹. Auf Basis der vorliegenden Daten kann für sandreiche Bankettmaterialien keine Einschränkung der Vorgaben der ZTV E-StB 17 bezüglich der Durchlässigkeit abgeleitet werden.

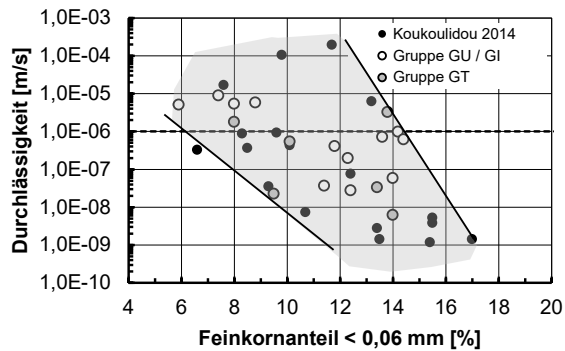


Bild 16: Durchlässigkeit aller Mischungen (inkl. Daten von KOUKOULIDOU et al. 2017), getrennt in Boden- gruppen in Abhängigkeit vom Feinkornanteil

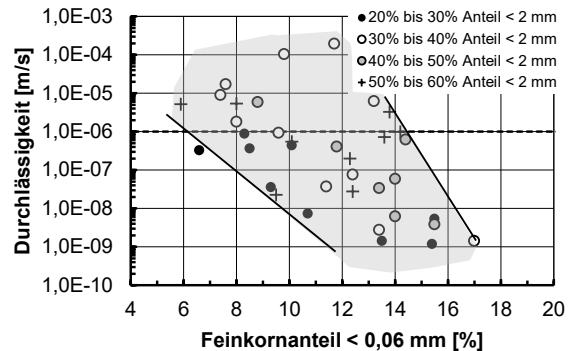


Bild 17: Durchlässigkeit aller Mischungen (inkl. Daten von KOUKOULIDOU et al. 2017), getrennt für Böden mit unterschiedlichen Anteilen an Material < 2 mm

Die im CBR-Versuch ermittelten Tragfähigkeiten direkt nach Verdichtung (CBR_0) sind im [Bild 18](#) dargestellt. Dass die Tragfähigkeiten (CBR_0) der Mischungen mit dem Größtkorn 8 mm unter den Tragfähigkeiten der Mischungen mit einem Größtkorn von 32 mm liegen, entspricht aufgrund des mit den Größtkorndurchmesser zunehmenden Einflusses der seitlichen Einspannung im CBR-Topf der Erwartung (vgl. Pkt. 5.1.3 und Pkt. 5.4.1). Dieser unterschiedliche Einfluss der Einspannung ist keine Bodeneigenschaft und daher auch der Grund dafür, dass die Werte beider Materialgruppen (GK 8 mm und 32 mm) nicht direkt verglichen werden dürfen. Es darf aber trotzdem für beide Materialklassen (wie in [Bild 18](#) angedeutet) unterstellt werden, dass die Tragfähigkeit mit steigendem Feinkornanteil abnimmt, weil das tragende, grobkörnige Kornskelett immer mehr von einer tragenden Feinkornmatrix abgelöst wird.

Da für alle Einbaubedingungen jeweils 3 Proben untersucht wurden, können die daraus ermittelten Standardabweichungen (als Kennwert der Stichproben) in Abhängigkeit vom Feinkornanteil für beide Materialklassen (GK 8 mm und GK 32 mm) ausgewertet werden. Diese Auswertung ist in [Bild 19](#) dargestellt und bestätigt die tendenziell höheren Ergebnisschwankungen bei Materialien mit einem Größtkorn von 32 mm, im Vergleich mit Materialien mit einem Größtkorn von 8 mm. Die Darstellung zeigt auch, dass innerhalb der Materialklassen (GK 8 mm und GK 32 mm) und im angegebenen Bereich des Feinkornanteils (etwa 6 bis 15 M.-%) keine ausgeprägte Abhängigkeit der Standardabweichung vom Feinkornanteil besteht.

¹⁹ Die Darstellung erfolgt ohne weitere Unterscheidung in die Bodengruppen GU und GT, da anhand von [Bild 16](#) keine zwingenden Anhaltspunkte für einen Einfluss der Bodengruppe (bzw. Art des Feinkornanteils) festgestellt werden konnte.

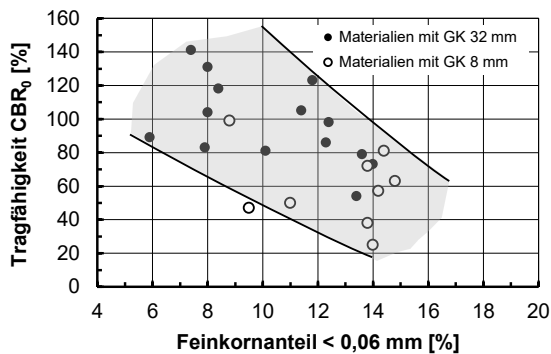


Bild 18: Tragfähigkeit (CBR_0) aller Mischungen direkt nach dem Verdichten, getrennt für die Materialien mit GK 8 mm und 32 mm

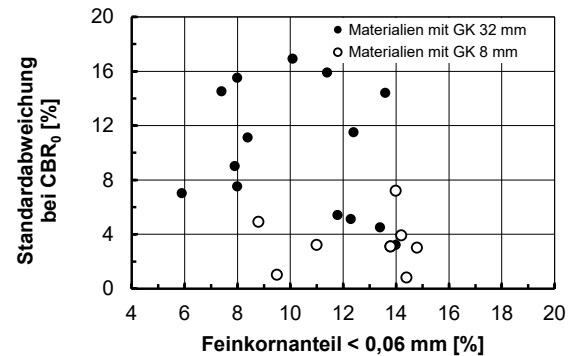


Bild 19: Standardabweichung der Stichproben bei der Bestimmung der Tragfähigkeit (CBR_0), getrennt für die Materialien mit GK 8 mm und 32 mm

In Bild 20 sind die Tragfähigkeiten im Verdichtungsoptimum direkt nach Verdichtung (CBR_0) getrennt für Materialien mit Größtkorn 8 mm und Größtkorn 32 mm und eingeteilt in Materialien mit unterschiedlichen Feinkornanteilen dargestellt (ohne zwischen den Bodengruppen GU und GT zu unterscheiden). Die Materialklassen weisen mit steigendem Anteil $< 2\text{ mm}$ unterschiedliche Entwicklungen auf, sodass sich aus den dargestellten Daten keine systematisch negative Beeinflussung der Tragfähigkeit (CBR_0) vom Anteil $< 2\text{ mm}$ ableiten lässt. In Bezug auf die unter Pkt. 2.1 formulierte Forschungsfrage A) lässt sich deshalb feststellen: Die bestehenden Vorgaben der ZTV E-StB 17 bezüglich der Bodengruppen können auf Basis der vorliegenden Daten somit uneingeschränkt auch für sandreiche Bankettmaterialien bestätigt werden.

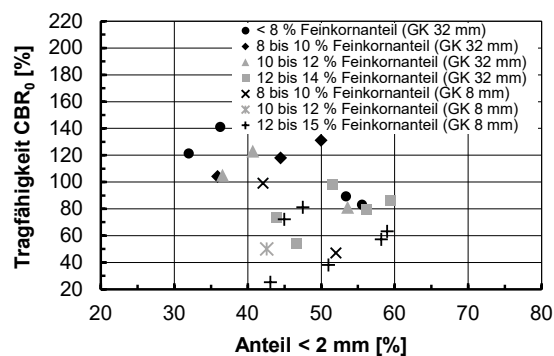


Bild 20: Tragfähigkeit (CBR_0) aller Mischungen direkt nach dem Verdichten, getrennt für die Materialien mit GK 8 mm und 32 mm

Von besonderem Interesse ist nun das Verhalten der Materialien bei Bewitterung (ΔCBR_{NT} und ΔCBR_{FT}). Nachfolgend ist die Änderung der Tragfähigkeit nach 6 Nass-Trocken-Zyklen (bzw. mehrtägigem Einstau; siehe Pkt. 5.1.3) für die untersuchten Materialien dargestellt. In Bild 21 sind alle Werte für ΔCBR_{NT} eingetragen (ohne Unterscheidung zwischen GK 8 mm und GK 32 mm, da lediglich die Änderung der CBR-Werte verglichen wird, nicht deren Absolutwert). Man erkennt an den ausgefüllten Punkten in schwarzer und grauer Farbe, dass die Materialien mit natürlichem Brechkorn beider Bodengruppen (GU und GT) Werte um den Null-Wert aufweisen. Das bedeutet, dass die Werte entweder nur leicht ab- oder zunehmen, in Abhängigkeit von Faktoren, die aufgrund der Datenlagen nicht geklärt werden konnten. Die Daten liefern auch keinen klaren Hinweis auf eine Abhängigkeit der Änderung der Tragfähigkeit (ΔCBR_{NT}) vom Feinkornanteil. Die Mischungen mit RC-Material im Grobkorn (Symbole ohne Füllung) weisen in allen dokumentierten Versuchen auf eine Verfestigung hin. Die Datenlage reicht für diese Mischungen allerdings nicht aus, um systematische Unterschiede zwischen den Bodengruppen GU/GI und GT zu erkennen. Da es also vor allem einen Unterschied zu machen scheint, ob es sich beim Grobkorn um natürliches Brechkorn oder RC-Material handelt, ist im Weiteren eine diesbezügliche Unterscheidung sinnvoll. In Bild 22 sind die Daten

($\Delta\text{CBR}_{\text{NT}}$) getrennt für die unterschiedlichen Grobkornmaterialien (natürliches Brechkorn und RC) in den beiden Materialklassen GK 8 mm und 32 mm in Abhängigkeit vom Anteil < 2 mm dargestellt. Es lässt sich dabei weder für die Materialien mit Größtkorn 8 mm, noch für die Materialien mit Größtkorn 32 mm eine ausgeprägte Abhängigkeit der Werte vom Sandanteil feststellen. In Bezug auf die unter Pkt. 2.1 formulierte Forschungsfrage B) lässt sich zusammenfassend festhalten: Die Dauerhaftigkeit im Sinne der Tragfähigkeitsänderung nach 6 Nass-Trocken-Zyklen (bzw. mehrtägigem Einstau) ist, wenn überhaupt, wohl nur in untergeordnetem Maße von der Bodengruppe (GU oder GT), dem Feinkornanteil und dem Sandanteil abhängig. Bankettmaterialien mit Recyclingmaterial im Grobkorn verhalten sich aufgrund des Verfestigungspotentials bei der Untersuchung im Labor günstiger, als Bankettbaustoffe aus natürlichen Materialien.

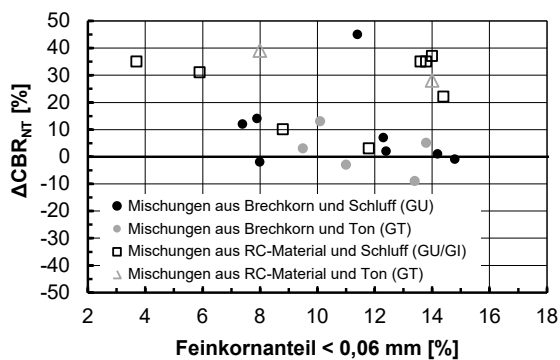


Bild 21: Änderung der Tragfähigkeit ($\Delta\text{CBR}_{\text{NT}}$) aller Mischungen nach 6 Nass-Trocken-Zyklen (bzw. mehrtägigem Einstau), getrennt für die verschiedenen groben Ausgangsmaterialien (natürliches Brechkorn und RC) und die Bodengruppen GU und GT

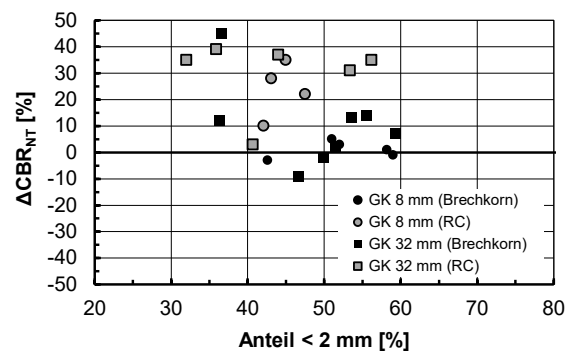


Bild 22: Änderung der Tragfähigkeit ($\Delta\text{CBR}_{\text{NT}}$) aller Mischungen nach 6 Nass-Trocken-Zyklen (bzw. mehrtägigem Einstau), getrennt für die Materialklassen GK 8 mm und 32 mm und jeweiligen Anteile an Material < 2 mm

Im [Bild 23](#) ist die Änderung der Tragfähigkeit ($\Delta\text{CBR}_{\text{FT}}$) nach einmaliger, oberflächlicher Wasserzugabe (bzw. nach eintägigem Einstau) und 6 darauf folgenden Frost-Tau-Zyklen (siehe Pkt. 5.1.3) für die untersuchten Mischungen eingetragen (widerum ohne Unterscheidung zwischen GK 8 mm und GK 32 mm, da lediglich die Änderung der CBR-Werte verglichen wird, nicht deren Absolutwert). Die Daten sind je nach Art des Grobkornanteils und der Bodengruppe getrennt voneinander gekennzeichnet und weisen darauf hin, dass sich die Mischungen mit Recyclingmaterialien auch bei Frost-Tau-Beanspruchung tendenziell günstiger verhalten, als vergleichbare Materialien mit natürlichem Grobkorn (in den meisten Fällen wurde bei den RC-Materialien trotz Bewitterung eine Steigerung der Tragfähigkeit beobachtet). Eine ausgeprägte Abhängigkeit der Änderung der Tragfähigkeit ($\Delta\text{CBR}_{\text{FT}}$) von der Bodenart oder dem Feinkornanteil ist auf Basis der vorliegenden Daten nicht zu erkennen. Lediglich bei den Mischungen mit natürlichem Grobkorn kann der Bodengruppe GT im Vergleich zur Bodengruppe GU ein leicht nachteiliges Verhalten unterstellt werden²⁰. In [Bild 24](#) ist die Änderung der Tragfähigkeit ($\Delta\text{CBR}_{\text{FT}}$) in Abhängigkeit vom Anteil < 2 mm aufgetragen, wobei die Daten wieder je nach Größtkorn (GK 8 mm oder 32 mm) und Art des Grobkornanteils gekennzeichnet wurden. Es lässt sich dabei weder für die Materialien mit Größtkorn 8 mm, noch für die Materialien mit Größtkorn 32 mm eine ausgeprägte Abhängigkeit vom Sandanteil feststellen.

²⁰ Eine Auflockerung des Gefüges tritt auf, wenn die Frostgrenze schneller in die Bankettoberfläche eindringt, als das Wasser aus den Poren abfließen kann. Hier spielt also einerseits die Rate der Temperaturänderung eine Rolle, andererseits die Durchlässigkeit des Bankettmaterials. Im gewählten Versuchsablauf wurde die Geschwindigkeit des Temperaturabfalls vorgegeben (siehe [Bild 9](#)) und die Durchlässigkeit der Bankettbaustoffe unterschiedlich in der Durchlässigkeit des Feinkornanteils (Bodengruppen GU und GT).

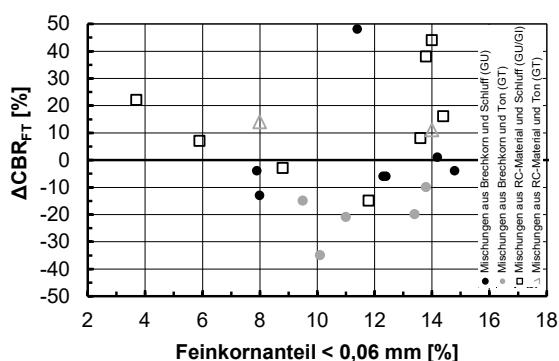


Bild 23: Änderung der Tragfähigkeit ($\Delta\text{CBR}_{\text{FT}}$) aller Mischungen nach 6 Frost-Tau-Zyklen (nach 1-tägigem Einstau), getrennt für die verschiedenen groben Ausgangsmaterialien und die Bodengruppen GU und GT

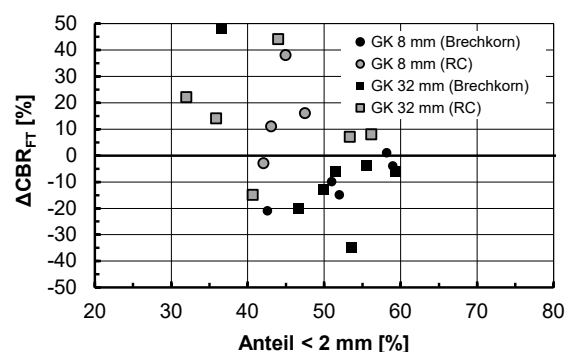


Bild 24: Änderung der Tragfähigkeit ($\Delta\text{CBR}_{\text{FT}}$) aller Mischungen nach 6 Frost-Tau-Zyklen (nach 1-tägigem Einstau), getrennt für die Materialklassen GK 8 mm und 32 mm und jeweiligen Anteile an Material < 2 mm

In Bezug auf die unter Pkt. 2.1 formulierte Forschungsfrage B) lässt sich zusammenfassend festhalten: Die Dauerhaftigkeit im Sinne der Tragfähigkeitsänderung nach 6 Frost-Tau-Zyklen (nach 1-tägigem Einstau) ist wohl nur in untergeordnetem Maße von der Bodengruppe (GU oder GT), dem Feinkornanteil und dem Sandanteil abhängig. Bankettmaterialien mit Recyclingmaterial im Grobkorn verhalten sich aufgrund des Verfestigungspotentials aus derzeitiger Sicht günstiger als Bankettbaustoffe aus natürlichen Materialien.

5.5 Zusammenfassung

Die für die Untersuchungen hergestellten Mischungen (Bodengruppe GU und GT) weisen Feinkornanteile im Bereich leicht unter bis leicht über 10 M.-% auf und sind mit Anteilen < 2 mm zwischen etwa 35 M.-% und 60 M.-% als sandreich zu bezeichnen (siehe [Tab. 18](#)). Auf Basis der vorhandenen Datengrundlage aus den durchgeführten Versuchen zur Verdichtung, Tragfähigkeit (CBR), Tragfähigkeit nach Bewitterung und Durchlässigkeit dieser Materialien im eingebauten Zustand können die unter Pkt. 2.1 formulierte Forschungsfragen A) und B) zusammenfassend folgendermaßen beantwortet werden:

A) Wie ist das Verhalten von sandreichen, gemischtkörnigen Materialien zur Verwendung in Banketten zu bewerten?

Das Verhalten sandreicher, gemischtkörniger Materialien zur Verwendung in Banketten ist innerhalb der untersuchten Bodengruppen (GU und GT mit 7 bis 14 M.-% Feinkornanteil) nicht maßgeblich vom Sandanteil abhängig. In den Versuchen wurde weder eine systematische Beeinflussung der Durchlässigkeit noch der Tragfähigkeit (CBR_0) dokumentiert. Die bestehenden Vorgaben der ZTV E-StB 17 bezüglich der Bodengruppen können auf Basis der vorliegenden Daten uneingeschränkt auch für sandreiche Bankettmaterialien bestätigt werden.

B) Wie verhalten sich Bankettmaterialien in Abhängigkeit von der Materialzusammensetzung und dem Feinkornanteil unter Witterungsbeanspruchung (Verhalten bei Frost-Tau-Wechsel, Feucht-Trocken-Wechsel)?

Im Rahmen des Versuchsprogramms und innerhalb der untersuchten Bodengruppen (GU und GT mit 7 bis 14 M.-% Feinkornanteil) konnten im Bezug auf die Tragfähigkeitsänderung durch Bewitterung keine markanten/systematischen Unterschiede zwischen den Bodengruppen GU und GT und in Abhängigkeit vom Feinkornanteil bzw. Anteil < 2 mm festgestellt werden. Nass-Trocken-Wechsel (bzw. mehrtägiger Einstau der Probenoberfläche) wirken sich insgesamt weniger negativ auf die Entwicklung der Tragfähigkeit aus als Frost-Tau-Wechsel. Die Art des Bankettmaterials spielt in den durchgeführten Laborversuchen eine entscheidende Rolle für die dokumentierte Entwicklung der Tragfähigkeit bei Bewitterung: Bankettmaterialien mit Recyclingmaterial im Grobkorn weisen in der Regel trotz Nass-

Trocken-Wechsel oder Frost-Tau-Wechsel eine Steigerung der Tragfähigkeit auf (Nachverfestigungspotential)²¹, Bankettmaterialien mit natürlichem Brechkorn zeigen vor allem nach Frost-Tau-Wechseln einen maßgeblichen Tragfähigkeitsverlust.

6 Feldversuche zur dauerhaften Tragfähigkeit

6.1 Konzept und Untersuchungsprogramm

6.1.1 Allgemeines

Am 22. und 23. November 2017 wurden in einer Grube der Fa. Ettengruber Recycling nahe Allenberg vier Probefelder mit Bankettbaustoffen nach ZTV E-StB 17 hergestellt. Bei den Materialien handelte es sich einerseits um Kalksteinschotter der Körnungen 0/8 mm und 0/32 mm, sowie um ein Recyclingmaterial aus gemischtem Bauschutt (RC-Mix) der Körnungen 0/8 mm und 0/32 mm. Alle vier Materialien wurden bezüglich der Korngrößenverteilung speziell auf die neuen Anforderungen der ZTV E-StB 17 an Bankettbaustoffe abgestimmt.

Die Felder wurden in der Grube auf einem Aufschüttungsbereich angelegt, wobei vor allem die oberflächennahe Aufschüttung aus groben Recyclingmaterialien bestand, die bereits vor längerer Zeit dort eingebaut und verdichtet worden waren. Das Planum der vorgesehenen Versuchsfelder wurde vorab in einem groben Raster mittels dynamischer Lastplatte untersucht (siehe [Bild 25](#)). Dabei wurden insgesamt Werte zwischen $E_{vd} = 30$ MPa und 55 MPa dokumentiert. Lediglich im südwestlichen Bereich (Feld 1) wurden sehr niedrige Werte aufgezeichnet, die einer örtlichen Vernässung zugeordnet wurden (örtlicher Tiefpunkt; mutmaßlich mit Wasser vom Regen am Vortag). Der Einbau erfolgte an zwei Tagen, wobei die Felder mit jeweils den groben Körnungen (GK 32 mm) am ersten Tag eingebaut und beprobt wurden, die Felder mit den feineren Körnungen (GK 8 mm) am zweiten Tag. Eine Möglichkeit zur Bewässerung des Materials zur Optimierung des Verdichtungswassergehalts bestand zum Zeitpunkt des Einbaus nicht. Die Verdichtung erfolgte in 2 Lagen mit jeweils 6 Verdichtungsübergängen (3-Mal vor und zurück) mit Vibration und 2 statischen Verdichtungsübergängen (1-mal vor und zurück) mit einer Walze Typ BOMAG BW 156 D-3 (Gewicht 6,4 to). Die im verdichteten Zustand erreichten Höhen der Versuchsfelder sind in [Bild 26](#) eingetragen. Es ist ersichtlich, dass im Bereich der Vernässung (südlicher Bereich von Feld 1; vgl. [Bild 25](#)) im Vergleich zu den restlichen Bereichen geringere Schichthöhen erreicht wurden.

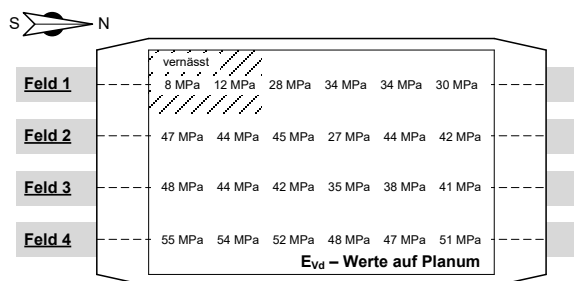


Bild 25: Beprobung des Planums (dyn. Lastplatte)

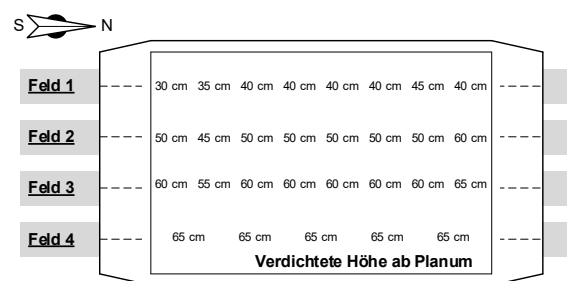


Bild 26: Höhe der Versuchsfelder ab Planum

²¹ Diesbezüglich wird noch zu klären sein, ob eine mangelnde Kornfestigkeit der porösen Recyclingbaustoffe bei vielen Frost-Tau-Zyklen diesen Vorteil relativiert. Siehe hierzu auch Pkt. 4.3.

Die Tragfähigkeit der eingebauten und unter natürlichen Bedingungen beweterten Materialien wurde über den Winter 2017/2018 und bis in den Frühsommer 2018 zu ausgewählten Zeitpunkten experimentell ermittelt. Hierzu wurden die einzelnen Felder jeweils in einen Nord- und einen Südbereich eingeteilt. Diese Bereiche wurden daraufhin weiter in jeweils 4 einzelne Teilfelder á 2 m (Breite 1,5 m) unterteilt und nummeriert, wobei die Nummerierung von Außen nach Innen hin ansteigt (siehe Schemaskizze in [Bild 27](#)). Die Beprobung erfolgte entsprechend der Nummerierung der Parzellen in ansteigender Reihenfolge, wobei jeweils eine Parzelle aus dem Nord- und dem Südbereich beprobet wurde (zum Beispiel alle Felder 1S und 1N direkt nach Herstellung). Aus der Einteilung ergaben sich so 4 mögliche Beprobungstermine, mit jeweils Untersuchungsergebnissen aus 2 Teilfeldern je Feld.

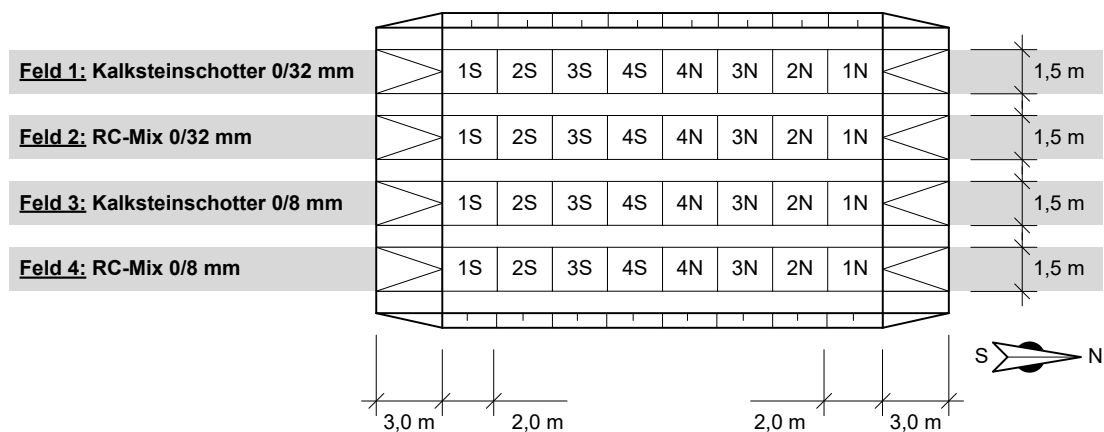


Bild 27: Schemaskizze der Feldversuche in der Grube Allenberg; mit Feldeinteilung

Nach der Herstellung und der ersten Beprobung am 22./23.11.2017 (jeweils Teilfeld 1S, 1N) wurde als zweiter Beprobungstermin der 10.01.2018 (jeweils Teilfeld 2S, 2N) gewählt, als eine längere Wärmeperiode die Untersuchung ermöglichte (kein Frost im Querschnitt des Versuchsfeldes). Nach einer starken Kältephase im Frühjahr 2018 wurde das Feld am 04.04.2018 (jeweils Teilfeld 3S, 3N) zum dritten Mal beprobet. Die letzte Untersuchung erfolgte am 07.06.2018 (jeweils Teilfeld 4S, 4N), wobei zwischen der vorletzten und letzten Beprobung kein Bodenfrost mehr auftrat. Die relevanten Wetterdaten im genannten Zeitraum (Tagesmittelwerte) sind anhand einer etwa 11 km nordwestlich der Versuchsfelder gelegenen Wetterstation dokumentiert ([Bild 28](#)). Die Beprobung am 07.06.2018 wurde um etwa 15:00 Uhr abgeschlossen. Der am selben Tag in [Bild 28](#) dargestellte, starke Niederschlag folgte erst ab etwa 16:00 Uhr.

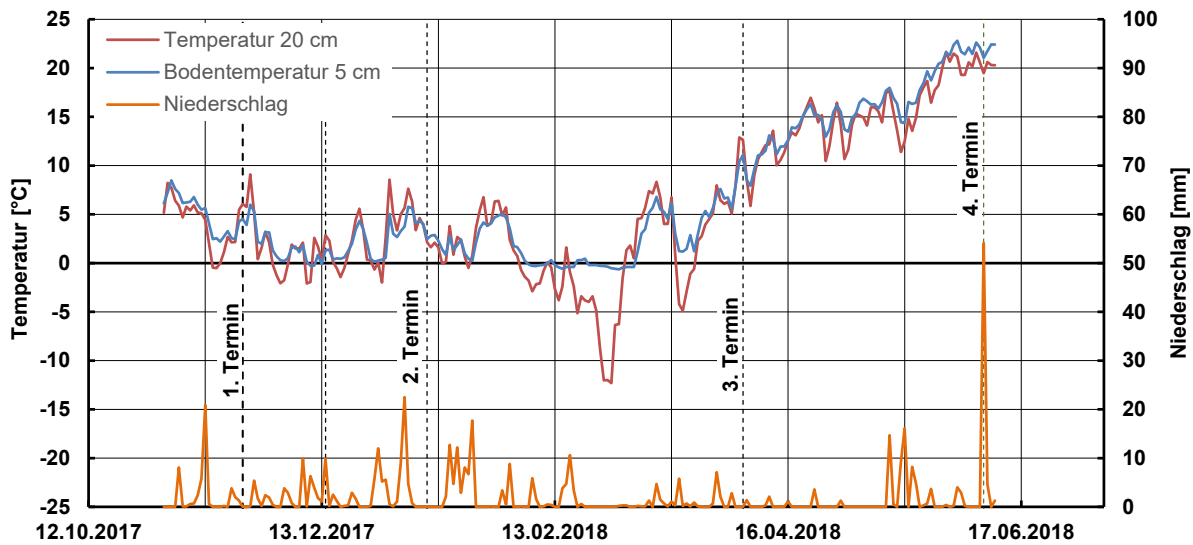


Bild 28: Wetterdaten der Wetterstation Ainertshofen, etwa 11 km nordwestlich der Versuchsfelder (Datenquelle: Agrarmeteorologie Bayern²²)

Anhand der in Bild 28 dargestellten Daten zur Bodentemperatur in 5 cm Tiefe lässt sich feststellen, dass die im Februar des Jahres 2018 dokumentierte, starke Frostphase die Bodentemperatur bei der Messstation nicht maßgeblich unter den Nullpunkt zu drängen vermochte²³. Dies bestätigen auch die (vorhandenen, aber aus Übersichtsgründen nicht dargestellten) Daten zum Temperaturverlauf in 20 cm Tiefe. In Bezug auf die Versuchsfelder wurde das Eindringen des Bodenfrostes jedenfalls bereits früher dokumentiert: Am 14.12.2017 wurden die Versuchsfelder besucht, von einer Beprobung aufgrund von Bodenrost (etwa die obersten 5 bis 10 cm) wurde aber abgesehen. Der zum Besuch zugehörige Zeitpunkt ist in Bild 28 (ohne Beschriftung) markiert.

6.1.2 Laborversuche

Um die im Feld erzielten Prüfwerte besser beurteilen zu können, wurden klassifizierende Versuche und Verdichtungsversuche (Standard-Proctor, Mod. Proctor), sowie Untersuchungen zum Tragverhalten (CBR) ohne und mit Nachbehandlung bei unterschiedlichen Einbaubedingungen im Labor durchgeführt (EB-w_{Pr}, EB-w_{Feld}, EB-F). Die gewählten Einbaubedingungen sind in Bild 29 symbolisch dargestellt. Die Versuchsdurchführung erfolgte größtenteils analog zu den Ausführungen unter Pkt. 5.1. Abweichend dazu wurden die Materialien zusätzlich auch bei modifizierter Proctorenergie verdichtet und bei den Untersuchungen zur dauerhaften Tragfähigkeit (CBR) 12 Nass-Trocken-Wechsel und 12 Frost-Tau-Wechsel (anstatt 6 Wechseln; vgl. Pkt. 5.1.3) durchgeführt.

²² Abrufbar unter: www.wetter-by.de, Agrarmeteorologie Bayern - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Die Wetterstation liegt auf einer Höhe von 470 m über NN. Zum Vergleich: Die Grube Grube der Fa. Ettengruber Recycling nahe Allenberg, in der die Versuche durchgeführt wurden, liegt in etwa auf 500 m über NN.

²³ Eine Fehlfunktion des Sensors für die Bodentemperatur bei Minusgraden kann anhand der Daten nicht ausgeschlossen werden.

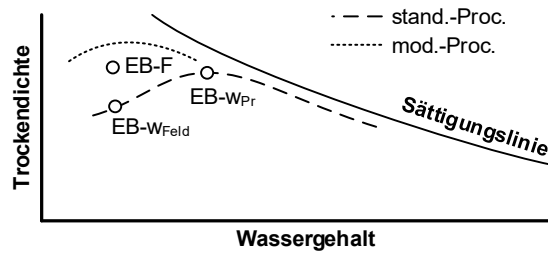


Bild 29: Einbaubedingungen für die Laborversuche (schematisch)

Außerdem erfolgte zusätzlich zu diesen Versuchen auch die Beprobung mittels dynamischem CBR-Versuch im Labor nach TP Gestein-StB Teil 5.6.

6.1.3 Feldversuche

Die einzelnen Prüfparzellen wurden für die Untersuchungen so eingeteilt, dass möglichst viele Einzelversuche durchgeführt werden konnten, ohne eine gegenseitige Beeinflussung zwischen den Prüfpunkten befürchten zu müssen (siehe [Bild 30](#)).

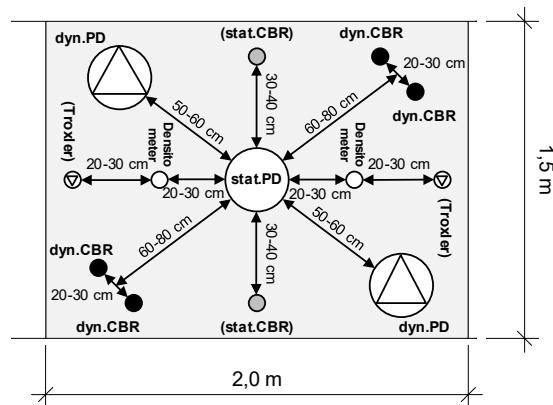


Bild 30: Typische Versuchsanordnung in einer Prüfparzelle

Die Dichtebestimmung im Feld erfolgte einerseits mit dem Ballonverfahren gemäß DIN 18125-2, beim ersten und letzten Beprobungstermin zusätzlich mit einer radiometrischen Sonde (Troxler-Sonde). Die Bestimmung der statischen Verformungsmoduln (E_{V1} , E_{V2}) wurde nach DIN 18134 durchgeführt (je 1 Versuch pro Teilfeld), die Bestimmung des dynamischen Verformungsmoduls (E_{vd}) nach TP BF-StB Teil B 8.3 (je 2 Versuche pro Teilfeld). In zwei diagonal zueinander liegenden Ecken der Prüfparzellen wurden jeweils 2 dynamische Feld-CBR-Versuche in Anlehnung an TP Gestein-StB Teil B 5.6 durchgeführt (also je 4 Versuche pro Teilfeld), im Nahbereich hierzu beim ersten Prüftermin zusätzlich auch statische Feld-CBR-Versuche in Anlehnung an ASTM D4429-09a bzw. TP BF-StB Teil B 7.1 / DIN EN 13286-47 (je 2 Versuche pro Teilfeld).

6.2 Material

Die in den Feldversuchen verwendeten Materialien wurden von einem Schotterwerk nahe Ingolstadt und von einem Recyclingunternehmen aus Dachau speziell auf die Anforderungen an Bankettbaustoffe nach der neuen ZTV E-StB 17 hergestellt und sind in [Bild 31](#) dargestellt. Es handelt sich einerseits um einen

Kalksteinbruch der Kornklasse 0/32 mm und Kornklasse 0/8 mm, sowie um ein Recyclingmaterial aus gemischtem Bauschutt in den Kornklassen 0/32 mm und 0/8 mm. Die Materialien weisen im nicht-eingebauten Zustand Feinkornanteile hauptsächlich zwischen etwa 8 und 9 M.-% auf und liegen somit an der unteren Grenze des im Regelwerk geforderten Bereichs (Vorgabe: 8 bis 12 M.-% Feinkornanteil).

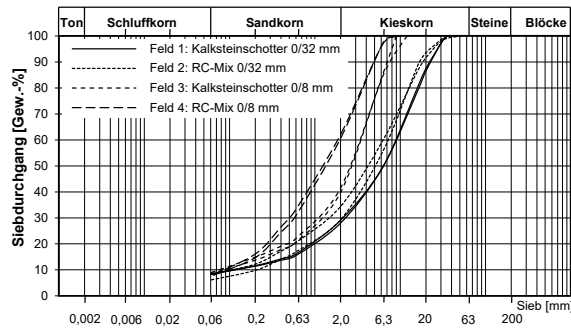


Bild 31: Kornverteilungslinien der für die Feldversuche verwendeten Materialien

Die Korndichte der Materialien wurde im Luftpyknometerverfahren nach TP BF-StB B 3.3 bestimmt. Für die rezyklierten (porösen) Materialien ist dabei zu beachten, dass es sich bei den gemessenen Werten (ρ_s) tatsächlich um Werte zwischen der scheinbaren Rohdichte (ρ_a) und der Korndichte (ρ_{rd}) gemäß der Definition nach DIN EN 1097-6 handelt. Die Ergebnisse der Versuche sind jeweils als Mittelwert aus mehreren Messungen in Tab. 19 zusammengefasst.

Material	Korndichte ^[1] ρ_s in g/cm ³
Feld 1: Kalksteinschotter 0/32 mm	2,71
Feld 2: RC-Mix 0/32 mm	2,66 ^[2]
Feld 3: Kalksteinschotter 0/8 mm	2,72
Feld 4: RC-Mix 0/8 mm	2,67 ^[3]
Anmerkungen:	
[1] ...Mittelwerte aus mehreren Messungen nach TP BF-StB B 3.3	
[2] ...Bei Bestimmung im Luftpyknometer nach 4-tägiger Wasserlagerung $\rho_s = 2,71$ g/cm ³	
[3] ...Bei Bestimmung im Luftpyknometer nach 4-tägiger Wasserlagerung $\rho_s = 2,72$ g/cm ³	

Tab. 19: Korndichte der Versuchsmaterialien

6.3 Ergebnisse der Laborversuche

Die Ergebnisse der Verdichtungs- und Tragfähigkeitsversuche (CBR) an den Materialien aus den Feldversuchen ohne und mit Bewitterung sind in nachfolgender Tab. 20 dargestellt. Die Proben für die CBR-Versuche (mit und ohne Bewitterung) sollten etwa im Verdichtungsoptimum ($D_{Pr} = 100$ % und $w = w_{Pr}$) hergestellt werden. Die tatsächlich erreichten Einbaubedingungen im Bezug auf die maximale Trockendichte sind in der Tabelle enthalten.

Material	VERDICHTUNG			NULL		NASS-TROCKEN		FROST-TAU	
	ρ_s [g/cm ³]	w_{Pr} [%]	ρ_{Pr} [g/cm ³]	D_{Pr} [%]	CBR_0 [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{NT} [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{FT} [%]
Kalksteinschotter 0/32 mm	2,71	8,8	2,15	98	92	98 - 99	105	98 - 99	76
RC-Mix 0/32 mm	2,71	15,7	1,87	95	91	96	128	95 - 96	96
Kalksteinschotter 0/8 mm	2,72	9,9	2,07	100	77	100 - 101	76	99 - 100	72
RC-Mix 0/8 mm	2,72	20,6	1,68	97	52	97	68	97 - 98	51

Tab. 20: Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit der Materialien aus den Feldversuchen bei EB- w_{Pr} (Optimaler Wassergehalt, Standard Proctorenergie)

Zusätzlich zu den Ergebnissen der Verdichtungsversuche (Standard-Proctor) wurden auch Verdichtungsversuche mit modifizierter Proctorenergie durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind im Detail unter Pkt. 0 beschrieben.

Versuche zur Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung wurden auch bei einer Einbaubedingung auf der trockenen Seite des Verdichtungsoptimums (EB- w_{Feld} , siehe [Bild 29](#)) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in [Tab. 21](#) zusammengefasst.

Material	VERDICHTUNG			NULL		NASS-TROCKEN		FROST-TAU	
	ρ_s [g/cm ³]	w_{Pr} [%]	ρ_{Pr} [g/cm ³]	D_{Pr} [%]	CBR_0 [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{NT} [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{FT} [%]
Kalksteinschotter 0/32 mm	2,71	8,8	2,15	92 - 93	74	93	64	92 - 93	63
RC-Mix 0/32 mm	2,71	15,7	1,87	91 - 92	88	92	87	90 - 92	78
Kalksteinschotter 0/8 mm	2,72	9,9	2,07	94	56	96	35	95	41
RC-Mix 0/8 mm	2,72	20,6	1,68	95 - 96	65	94	64	94	68

Tab. 21: Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit der Materialien aus den Feldversuchen bei EB- w_{Feld} (Wassergehalt, Standard Proctorenergie)

[Tab. 22](#) zeigt die Ergebnisse aus CBR-Versuchen im Labor an Proben, die möglichst nahe bei der Einbaubedingung aus den Feldversuchen eingebaut wurden EB-F, siehe [Bild 29](#)).

Material	VERDICHTUNG			NULL		NASS-TROCKEN		FROST-TAU	
	ρ_s [g/cm ³]	w_{Pr} [%]	ρ_{Pr} [g/cm ³]	D_{Pr} [%]	CBR_0 [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{NT} [%]	D_{Pr} [%]	CBR_{FT} [%]
Kalksteinschotter 0/32 mm	2,71	8,8	2,15	96	164	Keine Versuche durchgeführt.			
RC-Mix 0/32 mm	2,71	15,7	1,87	96 - 97	182				
Kalksteinschotter 0/8 mm	2,72	9,9	2,07	96 - 97	100				
RC-Mix 0/8 mm	2,72	20,6	1,68	100 - 101	116				

Tab. 22: Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit der Materialien aus den Feldversuchen bei EB-F (Wassergehalt Feld, Dichte Feld)

Die Ergebnisse der Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit von etwa im Verdichtungsoptimum verdichteten Proben ist in [Tab. 23](#) zusammengefasst.

Material	VERDICHTUNG		
	D_{Pr} [%]	Δw ^[1] [%]	k [m/s]
Kalksteinschotter 0/32 mm	100	-1,1	- ^[2]
RC-Mix 0/32 mm	98	-0,2	$1,9 \cdot 10^{-6}$ m/s
Kalksteinschotter 0/8 mm	101	-0,1	$8,1 \cdot 10^{-7}$ m/s
RC-Mix 0/8 mm	99	+0,1	$2,9 \cdot 10^{-7}$ m/s

Anmerkungen:
 [1] ...Abweichung vom optimalen Wassergehalt $\Delta w = w - w_{Pr}$
 [2] ...Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit mit der verwendeten Anlage nicht möglich. Aus der Kornverteilung lässt sich anhand des äquivalenten Korndurchmessers d_{10} (entspricht etwa 0,1 mm) im Verfahren nach BEYER (siehe z.B. KUTZNER 1996) eine Durchlässigkeit von etwa $k = 5 \cdot 10^{-6}$ m/s angeben. Das Verfahren ist allerdings auf Böden mit Ungleichförmigkeitszahlen $C_u < 20$ beschränkt (das Material weist tatsächlich eine Ungleichförmigkeit von etwa 70 bis 75 auf, siehe Pkt. 0).

Tab. 23: Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit der Materialien aus den Feldversuchen

Die Einzelergebnisse sämtlicher Versuche sind auch unter Pkt. 0 dieses Berichtes für die unterschiedlichen Materialien zusammengefasst.

6.4 Ergebnisse der Feldversuche

6.4.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Feldversuche getrennt für die einzelnen Materialien dargestellt. Die Erhebungsdaten zu den Versuchen sind auch unter Pkt. 0 zusammengefasst.

6.4.2 Material aus Feld 1: Kalksteinschotter 0/32 mm

Die Verdichtung des Kalksteinschotters 0/32 mm im Feld 1 erfolgte auf der trockenen Seite des Verdichtungsoptimums bei einem Wassergehalt von etwa 3 bis 4 %. Die erreichten Verdichtungsgrade können mit $D_{Pr} = 94$ bis 98 % angegeben werden (bezogen auf die Verdichtung mit Standard-Energie, siehe [Bild 32](#)) und wurden anhand von 4 Densitometerversuchen und 2 Versuchen mit der Troxlersonde bestimmt.

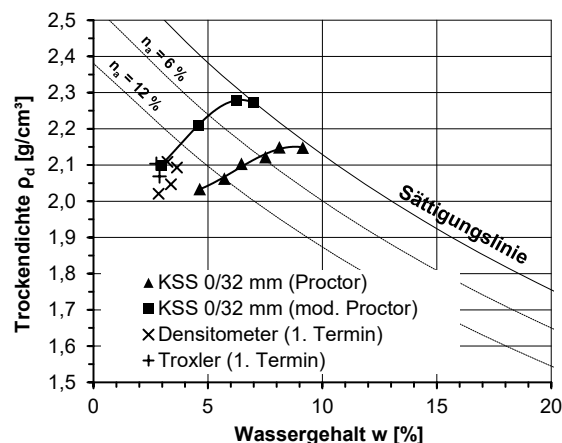


Bild 32: Verdichtungserfolg bei Feld 1 (Kalksteinschotter 0/32 mm)

[Bild 33](#) zeigt die Entwicklung der Trockendichte des Kalksteinschotters 0/32 mm im Feld 1, gemessen mit dem Ballonverfahren (Densitometer) und mit der Isotopsonde (Troxler), über die Zeit. Die Messungen mit der Isotopsonde erfolgten in 3 unterschiedlichen Einstecktiefen (5 cm, 15 cm und 30 cm) und wurden

für die Darstellung gemittelt. Man erkennt eine leichte Abnahme der gemessenen Trockendichten über die Zeit und eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Verfahren (Densitometer und Troxler-Sonde).

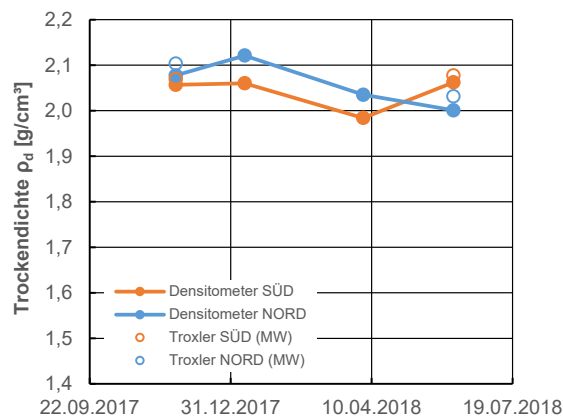


Bild 33: Oberflächliche Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopsonde (Troxler) über die Zeit (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm)

In [Bild 34](#) ist die mit der Isotopsonde (Troxler) gemessene Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der Sonde für den ersten Beprobungstermin (Erstellung) und den letzten Beprobungstermin dargestellt. Die Daten dokumentieren eine Auflockerung im oberflächennahen Bereich (bis etwa 15 cm).

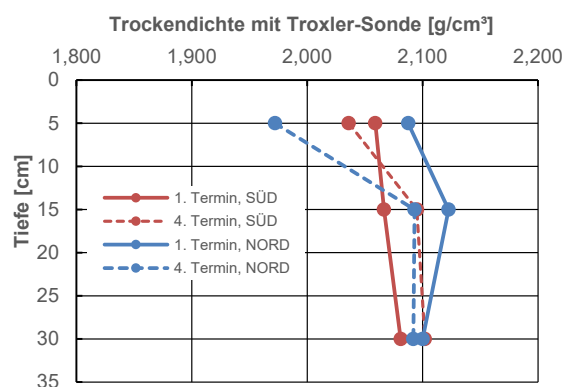


Bild 34: Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm)

Neben der Entwicklung der Dichte wurde auch die Entwicklung des Verformungsmoduls über die Zeit beobachtet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in [Bild 35](#) im Vergleich zu den Vorgaben der ZTV E-StB 17 für den Zeitpunkt direkt nach Verdichtung ($E_{v2} \geq 80$ MPa, $E_{vd} \geq 40$ MPa) dargestellt. Es lässt sich feststellen, dass die Vernässung im Planum des südlichen Bereichs von Feld 1 (siehe Pkt. 6.1.1) beim ersten und zweiten Beprobungstermin zu sehr niedrigen Werten führt. Im nördlichen Bereich sind bereits beim ersten Beprobungstermin E_{v2} – Werte deutlich über den geforderten 80 MPa dokumentiert. Der südliche Bereich bleibt von der weiteren Auswertung also ausgenommen²⁴. Die Ergebnisse der dynamischen

²⁴ Die Entwicklung der Werte im südlichen Bereich dokumentieren nicht nur eine Entwicklung der Eigenschaften des verdichteten Materials, sondern auch, dass der Einfluss der Vernässung (in Form der hohen Zusammendrückbarkeit, siehe [Bild 25](#)) des Untergrundes von Teilfeld 1S bis Teilfeld 4S ([Bild 27](#)) kontinuierlich abnimmt.

Lastplattenversuche im nördlichen Bereich (E_{vd}) lassen mit der Zeit ansteigende Werte erkennen. Im nördlichen Prüfbereich wird der Anforderungswert nach ZTV E-StB 17 auch beim ersten Prüftermin bereits eingehalten.

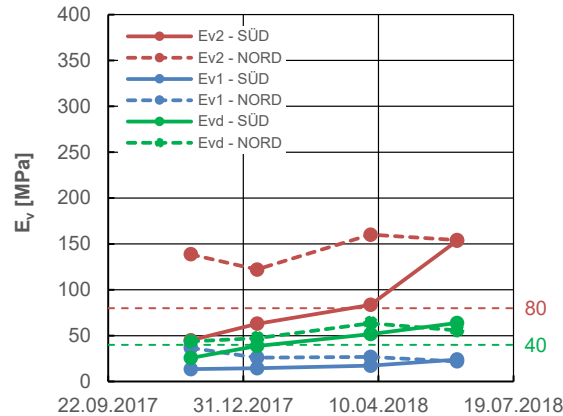


Bild 35: Verformungsmodul über die Zeit (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm)

Bild 36 zeigt die Ergebnisse der durchgeführten dynamischen CBR-Versuche, wobei jeweils der erste Schlag ($CBR_{d,1}$) und der zweite Schlag ($CBR_{d,2}$) ausgewertet wurde. Dabei entspricht die Auswertung des zweiten Schlages dem Vorgehen nach Regelwerk TP Gestein-StB – Teil 5.6²⁵. Während die Entwicklung der jeweils ersten Schläge ($CBR_{d,1}$) eine nahezu neutrale Entwicklung zeigt, steigt der aus dem zweiten Schlag ermittelte CBR-Wert ($CBR_{d,2}$) zwischen dem 3. und 4. Beprobungstermin deutlich an. In Verbindung mit den Feststellungen zu Bild 35 wird darauf hingewiesen, dass sich die Unterschiede in den Verformungsmoduln des Untergrundes (aufgrund der beschriebenen Vernässung) nicht negativ auf die CBR_d -Werte auswirken. Dies kann mit der geringeren Wirktiefe (etwa 10 cm) des CBR-Versuches aufgrund des kleineren Stempeldurchmessers erklärt werden.

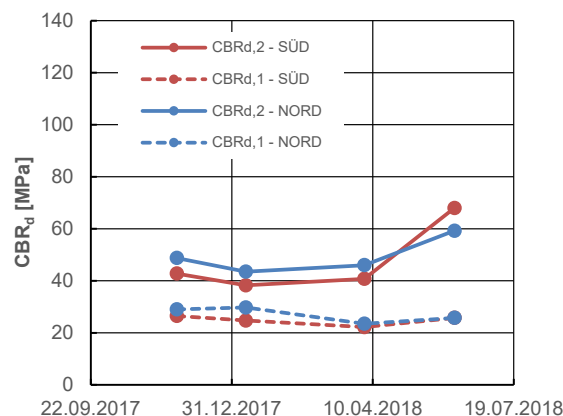


Bild 36: Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm)

6.4.3 Material aus Feld 2: RC-Mix 0/32 mm

Bild 37 zeigt den Vergleich der im Labor bestimmten Verdichtungseigenschaften des RC-Mix 0/32 mm mit den Ergebnissen der Dichtebestimmung im entsprechenden Feld 2 bei den Feldversuchen. Die Ver-

²⁵ Gemäß TP Gestein-StB – Teil 5.6 ist gemäß Pkt. 8, 2. Abs., ein Vorbelastungsstoß durchzuführen.

suchsergebnisse aus 4 Densitometerversuchen und 2 Versuchen mit der Troxlersonde zeigen Verdichtungsgrade zwischen $D_{Pr} = 96$ bis 101 % (bezogen auf die Verdichtung mit Standard-Energie, siehe [Bild 37](#)). Die Verdichtung erfolgte bei einem Wassergehalt von etwa 10 bis 12 % und somit auf der trockenen Seite des Verdichtungsoptimums.

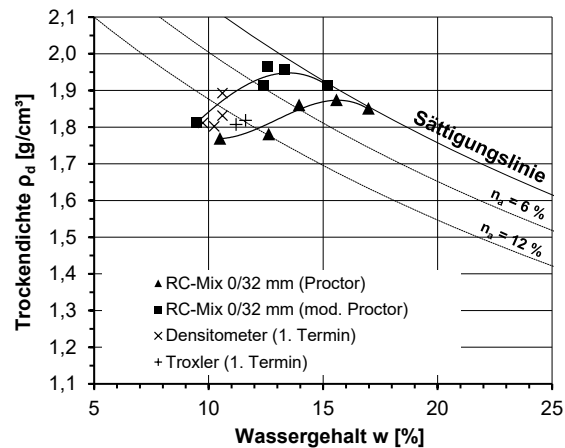


Bild 37: Trockendichten im Feld 2 nach Einbau (RC-Mix 0/32 mm)

[Bild 38](#) zeigt die Entwicklung der Trockendichte des RC-Mix 0/32 mm in Feld 2, gemessen mit dem Ballonverfahren (Densitometer) und mit der Isotopsonde (Troxler), über die Zeit. Die Messungen mit der Isotopsonde erfolgten in 3 unterschiedlichen Einstecktiefen (5 cm, 15 cm und 30 cm) und wurden für die Darstellung gemittelt. Die Daten weisen darauf hin, dass die Trockendichte vor allem während der Kältephase des Jahreswechsels 2018/2019 tendenziell abnimmt. Die Ergebnisse beider Verfahren (Densitometer und Troxler-Sonde) stimmen allerdings nur teilweise überein. Vor allem die gemittelten Werte der Troxler-Sonde (Nord) stimmen mit den Ergebnissen der Densitometerversuche (Nord) beim letzten Termin nicht überein.

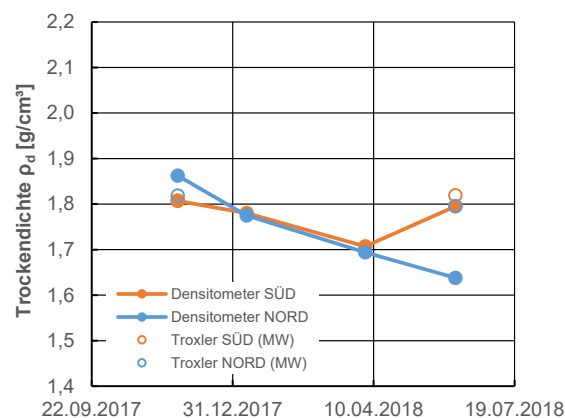


Bild 38: Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopsonde (Troxler) über die Zeit über die Zeit (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm)

In [Bild 39](#) sind die Einzelwerte der Isotopsonde (Troxler) in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Einstecktiefen dargestellt. Auch beim RC-Mix 0/32 mm lässt sich im Feldversuch eine oberflächliche Auflockerung erkennen. Mit zunehmender Tiefe scheint die Trockendichte aber sogar zuzunehmen.

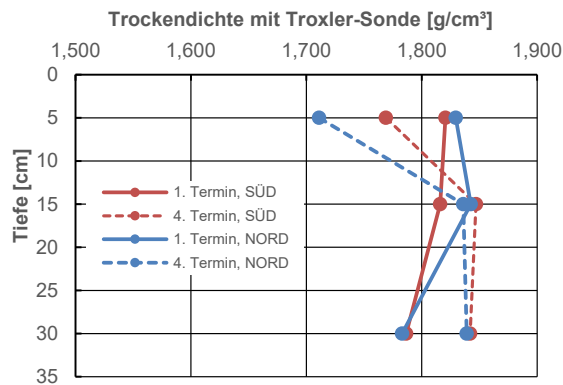


Bild 39: Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstektiefe der radiometrischen Sonde (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm)

Die Entwicklung der Verformungsmoduln bei Feld 2 (RC-Mix 0/32 mm) ist in [Bild 40](#) dargestellt. Auch bei diesem Material bleiben die Erstbelastungsmoduln des statischen Plattendruckversuchs (E_{V1}) etwa auf dem Niveau der ersten Messung (Erstellung der Felder) bzw. steigen leicht an. Der E-Modul der Wiederbelastung (E_{V2}) erfüllt bereits beim ersten Prüftermin die Anforderungen der ZTV E-StB 17 und steigt über die Zeit stark an. Der Anforderungswert an den dynamischen E-Modul (E_{Vd}) kann beim ersten Prüftermin nicht eingehalten werden. Die Ursache für die Entwicklung des dynamischen E-Moduls über die Zeit kann vor allem zwischen dem dritten und vierten Prüftermin außerdem nicht eindeutig ermittelt werden. Im Vergleich zu den restlichen in [Bild 40](#) dargestellten Werten und den Ergebnissen der dynamischen CBR-Versuche in [Bild 41](#) weichen die Werte deutlich von der erwarteten Entwicklung (ansteigende Werte) ab.

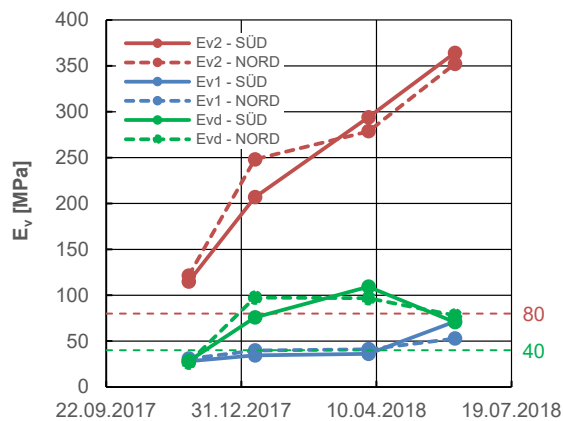


Bild 40: Verformungsmodul über die Zeit (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm)

[Bild 41](#) zeigt die Ergebnisse der durchgeführten dynamischen CBR-Versuche ($CBR_{d,1}$, $CBR_{d,2}$). Während die Entwicklung der jeweils ersten Schläge ($CBR_{d,1}$) einen nahezu neutralen bis leicht ansteigenden Trend zeigt, steigt der aus dem zweiten Schlag ermittelte CBR-Wert ($CBR_{d,2}$) mit der Zeit deutlich an. Die Entwicklungen von $CBR_{d,1}$ und $CBR_{d,2}$ entsprechen qualitativ den Entwicklungen der E_{V1} und E_{V2} -Werte.

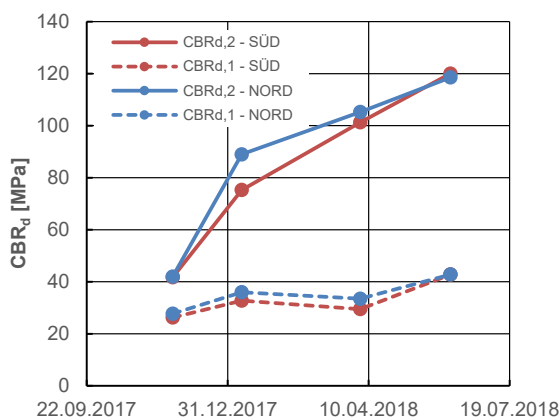


Bild 41: Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm)

6.4.4 Material aus Feld 3: Kalksteinschotter 0/8 mm

Die Verdichtung des Kalksteinschotter 0/8 mm im Feld 3 erfolgte auf der trockenen Seite des Verdichtungsoptimums bei einem Wassergehalt von etwa 2 bis 3 %. Die erreichten Verdichtungsgrade können mit $D_{Pr} = 93$ bis 100 % angegeben werden (bezogen auf die Verdichtung mit Standard-Energie) und wurden anhand von 3 Densitometerversuchen und 2 Versuchen mit der Troxlersonde bestimmt.

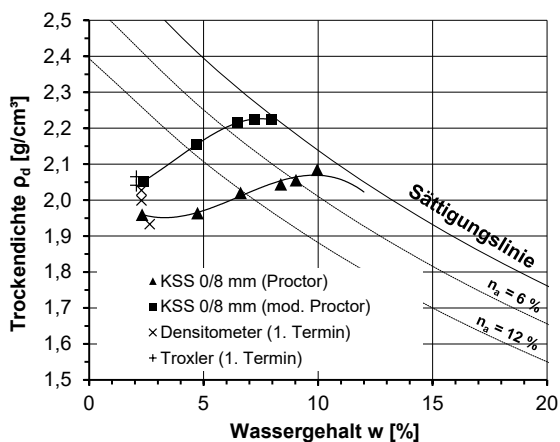


Bild 42: Trockendichten in Feld 3 nach Einbau (Kalksteinschotter 0/8 mm)

Bild 43 zeigt die Entwicklung der Trockendichte des Kalksteinschotter 0/8 mm in Feld 3, gemessen mit dem Ballonverfahren (Densitometer) und mit der Isotopsonde (Troxler), über die Zeit. Die Messungen mit der Isotopsonde erfolgten in 3 unterschiedlichen Einstecktiefen (5 cm, 15 cm und 30 cm) und wurden für die Darstellung gemittelt. Die Ergebnisse der Densitometerversuche bei den südlichen Teilfeldern deuten auf eine Abnehmende Trockendichten hin, die Ergebnisse der Densitometerversuche bei den nördlichen Teilfeldern zeigen ein uneinheitliches Bild. Die Ergebnisse der Versuche mit der Troxler-sonde deuten auf leicht sinkende Werte hin. Dieser Eindruck wird durch die Darstellung der mit der Troxler-sonde ermittelten Trockendichte über die Tiefe (Bild 44) verstärkt.

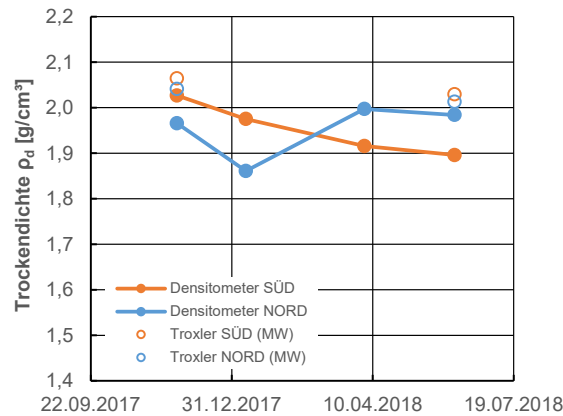


Bild 43: Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopsonde (Troxler) über die Zeit (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm)

In **Bild 44** ist die mit der Isotopsonde (Troxler) gemessene Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstektiefe der Sonde für den ersten Beprobungstermin (Erstellung) und den letzten Beprobungstermin dargestellt. Die Daten dokumentieren vor allem im nördlichen Bereich eine Auflockerung im oberflächennahen Bereich (bis etwa 15 cm). Die Entwicklung im südlichen Prüfbereich (Auflockerung wird nach unten hin stärker) ist nicht geklärt, kann aber wohl auf lokale Inhomogenitäten und/oder einen Messfehler zurückgeführt werden. Eine ähnliche Entwicklung wurde jedenfalls in keinem anderen Feld dokumentiert und ist unter den vorhandenen Bedingungen vor Ort auch nicht zu erwarten.

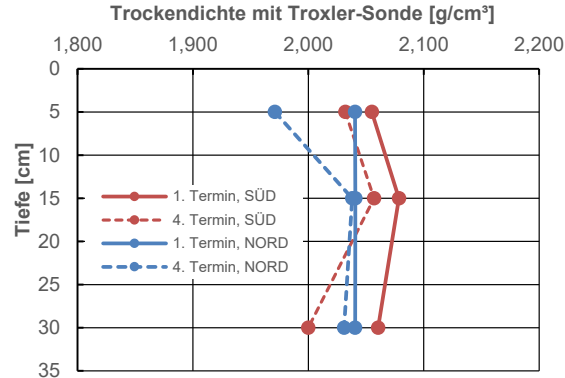


Bild 44: Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstektiefe der radiometrischen Sonde (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm)

Ähnlich wie auch schon beim Kalksteinschotter 0/32 mm im Feld 1 zeigt der Kalksteinschotter 0/8 mm im Feld 3 keine wesentliche Änderung des Verformungsmoduls durch die Bewitterung an. Dies gilt für alle geprüften Merkmale (E_{V1} , E_{V2} , E_{Vd}) gleichermaßen, wie **Bild 45** zeigt. Während die dokumentierten E_{V2} – Werte die Anforderungswerte der ZTV E-StB 17 deutlich übersteigen, liegen die E_{Vd} – Werte im südlichen Prüfbereich etwa im Bereich des Anforderungswertes und im nördlichen Bereich leicht darunter. Die in den nördlichen und südlichen Teilfeldern ermittelten Werte liegen für alle Prüfmerkmale jeweils sehr nahe beieinander.

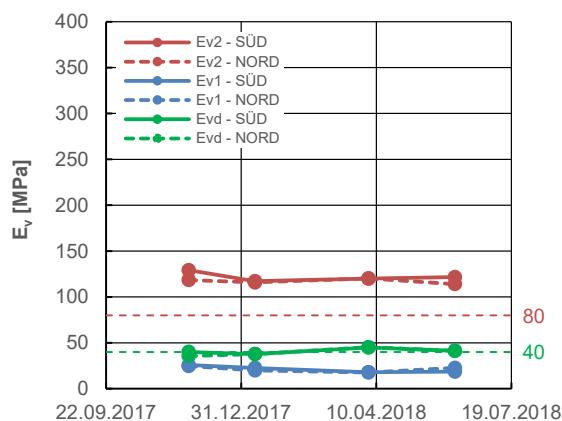


Bild 45: Verformungsmoduln über die Zeit (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm)

Auch die Ergebnisse der Prüfung mit dem dynamischen CBR-Gerät ($CBR_{d,1}$, $CBR_{d,2}$) in [Bild 46](#) bestätigen das unempfindliche Verhalten des Materials (Kalksteinschotter 0/8 mm) gegenüber der Witterungsbeanspruchung.

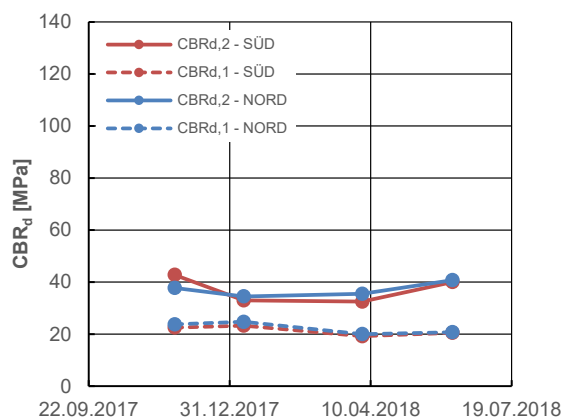


Bild 46: Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm)

6.4.5 Material aus Feld 4: RC-Mix 0/8 mm

[Bild 47](#) zeigt den Vergleich der im Labor bestimmten Verdichtungseigenschaften des RC-Mix 0/8 mm mit den Ergebnissen der Dichtebestimmung im entsprechenden Feld 4 bei den Feldversuchen. Die Versuchsergebnisse aus 2 Densitometerversuchen und 2 Versuchen mit der Troxlersonde zeigen Verdichtungsgrade zwischen $D_{Pr} = 94$ bis 99 % (bezogen auf die Verdichtung mit Standard-Energie). Die Verdichtung erfolgte bei einem Wassergehalt von etwa 15 bis 17 % und somit auf der trockenen Seite des Verdichtungsoptimums.

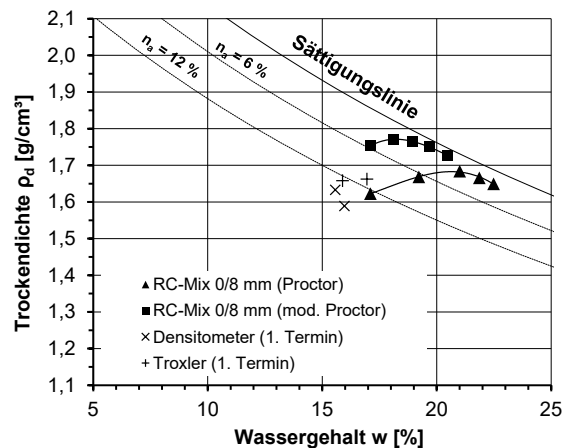


Bild 47: Trockendichten in Feld 4 nach Einbau (RC-Mix 0/8 mm)

Bild 48 zeigt die Entwicklung der Trockendichte des RC-Mix 0/8 mm in Feld 4, gemessen mit dem Ballonverfahren (Densitometer) und mit der Isotopensonde (Troxler), über die Zeit. Die Messungen mit der Isotopensonde erfolgten in 3 unterschiedlichen Einstecktiefen (5 cm, 15 cm und 30 cm) und wurden für die Darstellung gemittelt. Die Daten aus den Densitometerversuchen weisen darauf hin, dass die Trockendichte vor allem während der Kältephase des Jahreswechsels 2018/2019 tendenziell abnimmt. Die über die Tiefe gemittelten Werte der Isotopensonde sind in dieser Darstellung zwar weniger auffällig, bei Betrachtung der Einzelwerte über die Tiefe (**Bild 49**) wird die oberflächliche Auflockerung aber offensichtlich.

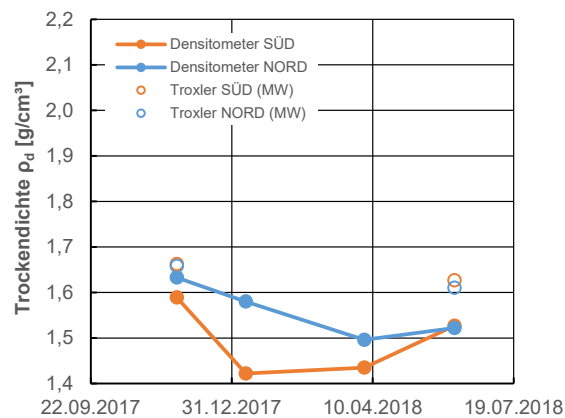


Bild 48: Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopensonde (Troxler) über die Zeit (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm)

In **Bild 49** sind die Einzelwerte der Isotopensonde (Troxler) in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Einstecktiefen dargestellt.

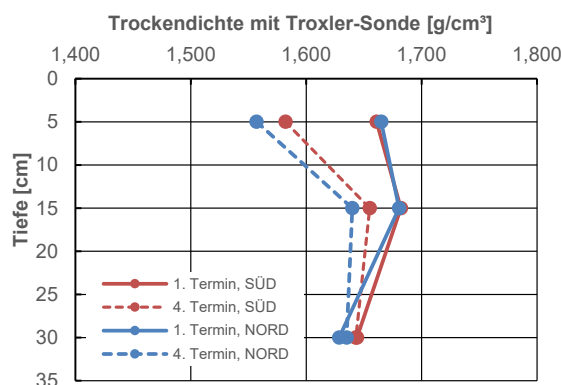


Bild 49: Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstektiefe der radiometrischen Sonde (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm)

Die Entwicklung der Verformungsmoduln bei Feld 4 (RC-Mix 0/8 mm) ist in [Bild 50](#) dargestellt. Auch bei diesem Material bleiben die E_{V1} – Werte etwa auf dem Niveau der ersten Messung (Erstellung der Felder). Der E-Moduln der Wiederbelastung (E_{V2}) und der dynamische E-Modul (E_{Vd}) steigen hingegen über die Zeit stark an, wobei zum Zeitpunkt der Herstellung des Feldes der E_{V2} –Wert die Anforderungen im südlichen Prüfbereich knapp einhält und im nördlichen Bereich knapp nicht einhält. Die Anforderungen an den E_{Vd} –Wert konnten zu diesem Zeitpunkt (Erstellung) nicht eingehalten werden.

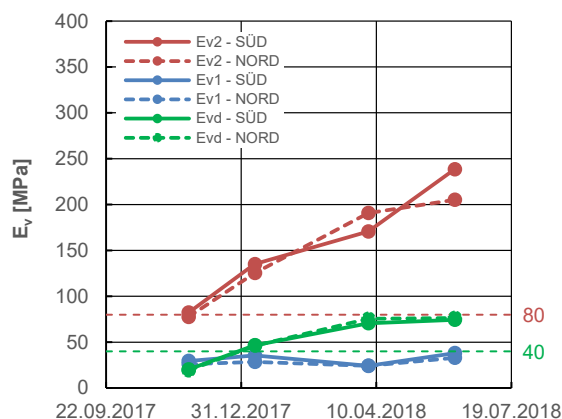


Bild 50: Verformungsmoduln über die Zeit (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm)

[Bild 51](#) zeigt die Ergebnisse der durchgeführten dynamischen CBR-Versuche ($CBR_{d,1}$, $CBR_{d,2}$). Während die Entwicklung der jeweils ersten Schläge ($CBR_{d,1}$) einen nahezu gleichbleibenden Trend zeigt, steigt der aus dem zweiten Schlag ermittelte CBR-Wert ($CBR_{d,2}$) über die Zeit insgesamt deutlich an. Die dargestellten Entwicklungen entsprechen somit qualitativ den Entwicklungen der E_{V1} und E_{V2} -Werte ([Bild 50](#)).

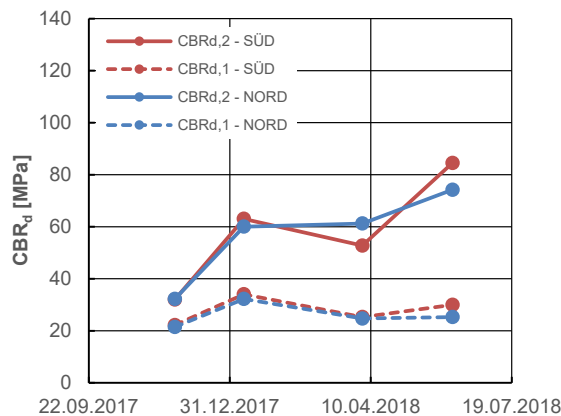


Bild 51: Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm)

6.5 Vergleichende Auswertung und Diskussion

6.5.1 Allgemeines

Mit der Durchführung von Feldversuchen und der Beobachtung über den Winter 2017/2018 sollten vorrangig folgende Forschungsfragen im Sinne des Forschungsziels (siehe Pkt. 2.1) beantwortet werden:

- C) Welche Tragfähigkeiten sind nach Einbau (ohne Witterungseinflüsse) auf standfesten Banketten im Feld mit oben genannten Zusammensetzungen in etwa zu erreichen?
- D) Welche Materialzusammensetzung und welcher Anforderungswert an die dauerhafte Tragfähigkeit können vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse für standfeste Bankette empfohlen werden?

Die Feldversuche zur Beantwortung der Forschungsfrage C) dient zur Überprüfung der in den ZTV E-StB 17 festgelegten Werte. Die Forschungsfrage D) dient auch dazu, das im Labor beobachtete Verhalten der Materialien (siehe Forschungsfrage B) unter Pkt. 2.1) zu verifizieren.

Während die Untersuchungen im Labor in Bezug auf die Tragfähigkeit nur qualitative Entwicklungen aufzeigen können, liefern die Feldversuche für die vier untersuchten Materialien belastbare Anhaltswerte für den erzielbaren Verformungsmodul im Feld nach Verdichtung und dessen Entwicklung im Zeitraum danach. Abweichend von den Bedingungen einer Versuchsstrecke konnte im vorliegenden Fall allerdings die Oberflächenneigung und der kontinuierliche konzentrierte Eintrag von Oberflächenwässern (Straßenabfluss) nicht berücksichtigt werden.

In der nachfolgend dargestellten vergleichenden Auswertung wurde auf die Ergebnisse der Plattendruckversuche (statisch und dynamisch) aus dem Bereich der Vernässung im Planum verzichtet (südlicher Bereich von Feld 1, siehe Pkt. 6.1.1), da diese aufgrund der Tiefenwirkung des Versuches wohl von der Tragfähigkeit des Untergrundes beeinflusst sind.

6.5.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

In [Bild 52](#) und [Bild 53](#) sind die Ergebnisse der Laborversuche der 4 in den Versuchsfeldern verwendeten Materialien zusammengefasst. Je nach Einbaubedingung (Wassergehalt Optimum $EB-w_{Pr}$, Wassergehalt analog zu Feldversuchen $EB-w_{Feld}$; siehe auch Pkt. 6) ergeben sich unterschiedliche Muster zur Änderung der Tragfähigkeit. Nahe des Verdichtungsoptimums ($EB-w_{Pr}$) liefert eine Nachbehandlung mittels Frost-Tau-Zyklen immer ungünstigere Werte als eine Nachbehandlung mit Nass-Trocken-Zyklen ([Bild 52](#)). Das

Nachverfestigungspotential der RC-Mix-Materialien (RC-Mix 0/32 mm und RC-Mix 0/8 mm) im Vergleich zu den Kalksteinschottern (KSS 0/32 mm und KSS 0/8 mm) kann bei dieser Einbaubedingung ($EB-w_{Pr}$) besser abgebildet werden. Bei der Einbaubedingung $EB-w_{Feld}$ sind aus [Bild 53](#) nach 12 Bewitterungszyklen nur Tendenzen zu abnehmenden Tragfähigkeiten (CBR) entnehmbar. Eine weitgehende Übereinstimmung des im Labor beobachteten Verhaltens mit dem Verhalten im Versuchsfeld kann leider nicht abgeleitet werden.

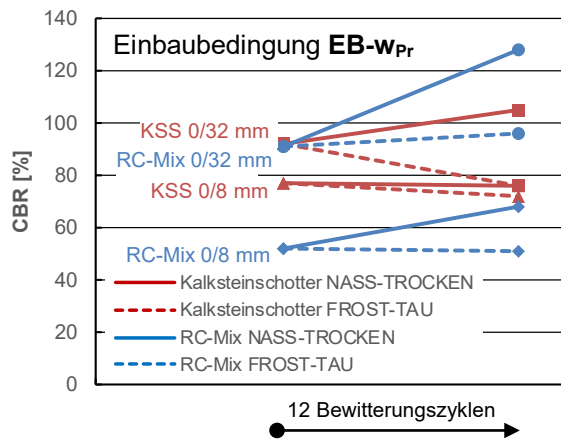


Bild 52: Tragfähigkeitsänderungen der Versuchsmaterialien im Labor ($EB-w_{Pr}$)

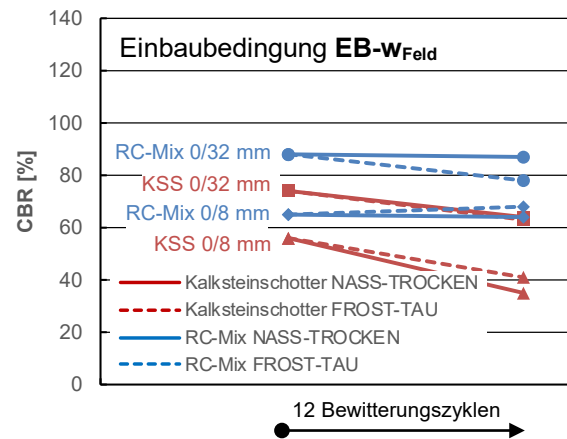


Bild 53: Tragfähigkeitsänderungen der Versuchsmaterialien im Labor ($EB-w_{Feld}$)

Für die Feldversuche ist aus dem Vergleich der gemessenen Trockendichte (Densitometer) der Felder in [Bild 54](#) vor allem in der Frostperiode des Winters 2017/2018 (bis zum 3. Beprobungstermin, vgl. mit Wetterdaten in [Bild 28](#)) eine zumindestens oberflächliche Auflockerung aller Materialien erkennbar. Diese Beobachtung wird durch die Daten der Isotopensonde (unterschiedliche Einstecktiefen) unterstrichen. Siehe hierzu auch [Bild 34](#), [Bild 38](#), [Bild 39](#), [Bild 44](#) und [Bild 49](#). Interessant beim Vergleich der Densitometerwerte in [Bild 54](#) ist außerdem, dass zwischen dem 3. und 4. Beprobungstermin (nach der Frostphase, Frühsommer 2018) zu dieser Auflockerung gegenläufige Tendenzen erkennbar sind, die auf eine Art „Selbstheilung“ der aufgelockerten Oberflächen hindeuten.

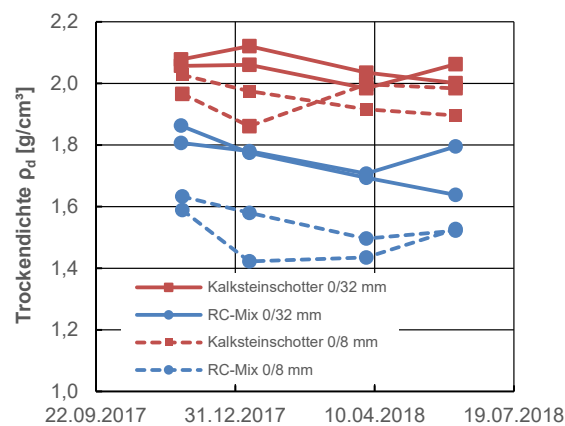


Bild 54: Trockendichte gemessen mit dem Densitometer über die Zeit

Die Ergebnisse des Erstbelastungsmoduls (E_{v1}) des Plattendruckversuchs sind in [Bild 55](#) dargestellt. Im Feld 1 (Kalksteinschotter 0/32 mm) bleibt der südliche Bereich in der Auswertung unberücksichtigt (siehe Pkt. 6.4.2). Die Darstellung zeigt, dass bei den natürlichen Materialien (Kalksteinschotter 0/32 und 0/8) die Tragfähigkeit bei Erstbelastung über die Frostphase (1. bis 3. Beprobungstermin) hinweg abnimmt. Nach

der Frostphase (zwischen 3. und 4. Beprobungstermin) ist die Entwicklung unterschiedlich, tendenziell verbleiben die Werte aber auf einem ähnlichen Niveau. Die beiden Felder mit RC-Materialien zeigen in der Frostphase unterschiedliche Entwicklungen, wobei der Verformungsmodul zeitweise ansteigt und abnimmt. Nach der Frostphase steigt auch der Erstbelastungsmodul konsistent an. Es wird vermutet, dass die beobachtete Entwicklung mit den gegenläufigen Einflüssen aus der stoffspezifischen Nachverfestigung, von der die ganze Schicht betroffen ist und witterungsbedingter Auflockerung, die sich auf oberflächennahe Bereiche beschränkt, zu tun haben.

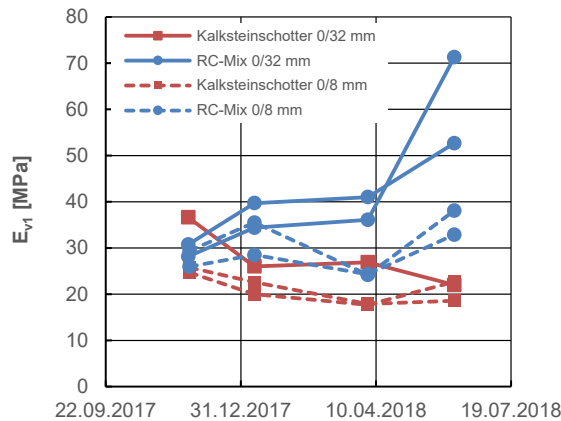


Bild 55: Verformungsmodul E_{v1} über die Zeit²⁶

In **Bild 56** sind die bei den Versuchsfeldern dokumentierten E_{v2} – Werte eingetragen. Es ist ersichtlich, dass die Anforderungswerte der ZTV E-StB 17 ($E_{v2} \geq 80$ MPa) bereits beim Einbau eingehalten werden können, teilweise liegen die Werte deutlich über den Anforderungswerten. Der Wiederbelastungsmodul der natürlichen Bankettmaterialien (Kalksteinschotter 0/32 und 0/8) bleibt nach Einbau nahezu unbeeinflusst von der Bewitterung konstant. Der Wiederbelastungsmodul der RC-Materialien (RC-Mix 0/32 und 0/8) steigt hingegen über die Beprobungstermine stark an und weist somit auf das Nachverfestigungspotential dieser Materialien hin.

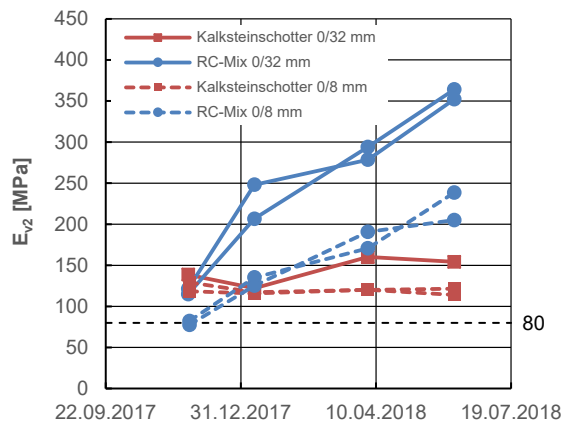


Bild 56: Verformungsmodul E_{v2} über die Zeit²⁷

Bild 57 zeigt die mit dem dynamischen Plattendruckversuch ermittelten E_{vd} – Werte über die Zeit. Direkt nach Einbau entsprechen die dokumentierten Werte vorwiegend nicht den Anforderungen der ZTV E-StB 17 ($E_{vd} \geq 40$ MPa). Die E_{vd} – Moduln aller Materialien entwickeln sich allerdings über die Zeit hin zu höheren Werten beim 3. Beprobungstermin, woraufhin sie vor allem beim Kalksteinschotter 0/32 mm bis zum 4.

²⁶ Darstellung ohne den südlichen Bereich von Feld 1 (Vernässung im Planum, siehe Pkt. 6.1.1).

²⁷ Darstellung ohne den südlichen Bereich von Feld 1 (Vernässung im Planum, siehe Pkt. 6.1.1).

Beprobungstermin wieder abfallen. Warum die Verformungsmoduln über die Zeit aber nicht qualitativ ähnlich wie bei den statischen Plattendruckversuchen verläuft (wie zu erwarten wäre), ist nicht geklärt.

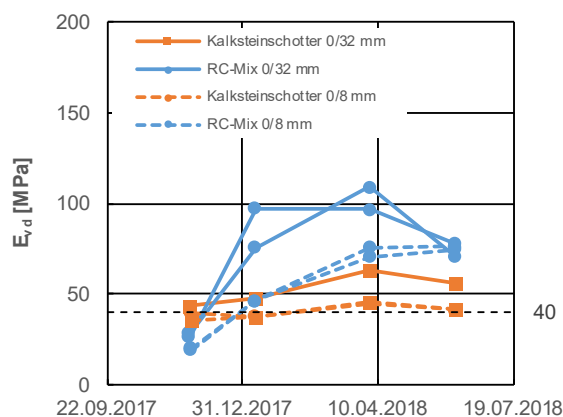


Bild 57: Verformungsmodul $E_{v,d}$ über die Zeit²⁸

In [Bild 58](#) sind die Ergebnisse der dynamischen CBR-Versuche zusammenfassend dargestellt. Während die natürlichen Materialien im Zeitraum der Frostphase keine Änderung der Tragfähigkeit anzeigen (danach steigen die Werte mutmaßlich aufgrund der insgesamt trockenen Witterungsverhältnisse mit steigenden Temperaturen an, vgl. [Bild 28](#)), lässt vor allem der grobe RC-Mix 0/32 im gleichen Zeitraum (und bis hin zum 4. Beprobungstermin) deutliche Festigkeitszuwächse erkennen.

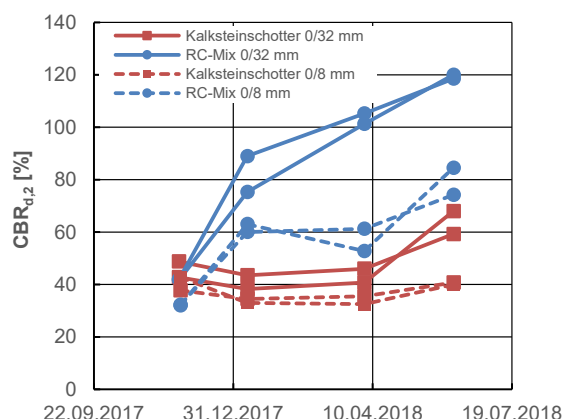


Bild 58: Dynamischer $CBR_{d,2}$ über die Zeit

6.5.3 Interpretation und Diskussion

Die Ergebnisse der Labor- und Feldversuche sind vergleichend unter Pkt. 6.5.2 dargestellt. Stellt man sich nun die Frage nach jener Tragfähigkeit, die mit Materialien der Bodengruppe GU mit einem Feinkornanteil von 8 bis 12 M.-% (Anforderung ZTV E-StB 17) direkt nach Einbau zu erzielen sind (Forschungsfrage C) unter Pkt. 2.1), lässt sich diese in zwei Teilfragen untergliedern: a) Welche Anforderungen kann das Material selbst erfüllen, und b) Wie ist der Einfluss aus der Tragfähigkeit des Untergrunds zu beurteilen?

Zu a) Welche Anforderungen kann das Material selbst erfüllen?

Die Beantwortung dieser Frage ist nicht einfach. In den ZTV E-StB 17 sind Anforderungen an die Tragfähigkeit typischerweise über einen geforderten E_{v2} bzw. $E_{v,d}$ – Modul definiert. Diese Verformungsmoduln werden mit statischen oder dynamischen Plattendruckversuchen auf verdichteten Erdbaustoffen ermittelt,

²⁸ Darstellung ohne den südlichen Bereich von Feld 1 (Vernässung im Planum, siehe Pkt. 6.1.1).

wobei die Verdichtung eine gewisse Verformung vorwegnimmt und so bodenmechanisch im Sinne einer Vorbelastung wirkt. Da die Bodenreaktion (hier: Steifigkeit) eben stark davon beeinflusst ist, ob der Boden im Wiederbelastungsbereich oder im Erstbelastungsbereich belastet wird, wird für den Spezialfall der erdbautechnischen Verdichtung zur Abschätzung der erreichbaren Tragfähigkeiten am besten auf Erfahrungswerte zurückgegriffen. Dabei kann unter Verweis auf Pkt. 4.2.2 festgehalten werden, dass sich die Angaben in der Literatur zur Tragfähigkeit von typischen Bankettmaterialien stark unterscheiden. Vor allem die in Tab. 9 dargestellten Angaben von STRIEGLER (1998) sind sehr niedrig im Vergleich zu den aus den Verdichtungsanforderungen der ZTV E-StB 09 ableitbaren Anhaltswerten zwischen 120 und 45 MPa (siehe Pkt. 4.2.2). Auch die Untersuchungen von KOUKOULIDOU et al. (2017) und DEL REY et al. (2016)²⁹ weisen darauf hin, dass mit diesen gemischtkörnigen Materialien in der Regel ein E_{V2} - Wert ≥ 80 MPa erreicht werden kann. Zu diesen Literaturwerten ist zu beachten, dass aufgrund der Prüftiefe des Plattendruckversuchs und dem jeweiligen Versuchsaufbau jeweils eine Beeinflussung der Werte durch den Untergrund nicht komplett ausgeschlossen werden kann. KOUKOULIDOU et al. (2017) testete Bankette mit einer Schichtdicke von etwa 35 cm auf einer 30 bis 70 cm starken Frostschutzschicht, die Werte können durch die Frostschutzschicht also positiv beeinflusst sein. DEL REY et al. (2016) testeten einen Aufbau von jeweils etwa 50 cm auf weichen, wenig tragfähigen Böden. Die von Ihnen gemessenen Werte sind vom der geprüften Schicht unterliegenden Material also potentiell (geringfügig) negativ beeinflusst. Nimmt man in diese Zusammenstellung nun die Ergebnisse der vorliegenden Versuche zusammengefasst in Tab. 24 mit auf (siehe auch Pkt. 6.5.2, Bild 56), kann bestätigt werden, dass von entsprechend verdichteten, natürlichen Bankettbaustoffe nach ZTV E-StB 17, als auch Bankettbaustoffen aus rezykliertem Bauschutt nach ZTV E-StB 17 direkt nach Verdichtung unter Einhaltung von $D_{Pr} \geq 100$ % ein Verformungsmodul von $E_{V2} \geq 80$ MPa (und teils Werte deutlich darüber) erwartet werden kann.

	Teilfeld SÜD			Teilfeld NORD		
	E_{V2} [Mpa]	E_{Vd} [Mpa]	E_{V2}/E_{Vd}	E_{V2} [Mpa]	E_{Vd} [Mpa]	E_{V2}/E_{Vd}
Feld 1: KSS 0/32 mm ^[2]	[1]			139	44	3,2
Feld 2: RC-Mix 0/32 mm ^[3]	115	28	4,1	121	27	4,6
Feld 3: KSS 0/8 mm ^[4]	129	40	3,2	118	36	3,3
Feld 4: RC-Mix 0/8 mm ^[5]	82	20	4,1	78	19	4,0
Anmerkungen: [1] ...Von der Auswertung ausgeschlossen (Vernässung auf Planum). Siehe Pkt. 6.1.1 und Pkt. 6.4.2. [2] ...Feld 1: $D_{Pr} \approx 94 - 98$ % [3] ...Feld 2: $D_{Pr} \approx 96 - 101$ % [4] ...Feld 3: $D_{Pr} \approx 93 - 100$ % [5] ...Feld 4: $D_{Pr} \approx 94 - 100$ %.						

Tab. 24: Verformungsmodul und Verhältniswerte auf den Versuchsfeldern beim 1. Beprobungstermin direkt nach Herstellung

Anders sieht es bei den erreichbaren dynamischen Verformungsmoduln aus. Die Ergebnisse in Tab. 24 (siehe auch Bild 56) zeigen deutlich, dass das nach den ZTV E-StB 17 definierte Kriterium von $E_{Vd} \geq 40$ MPa nahezu bei keinem Feld eingehalten werden konnte (bei gleichzeitiger Einhaltung des E_{V2} - Kriteriums). Obwohl insgesamt zwar das $D_{Pr} \geq 100$ % - Kriterium nicht überall eingehalten werden konnte, mag dies als Hinweis darauf gewertet werden, dass der als grober Anhaltswert bekannte Zusammenhang zwischen $E_{V2}/E_{Vd} \approx 2$ für Böden der Bodengruppen GU nicht anwendbar ist. Die vorliegenden Daten weisen

²⁹ Die Autoren berichten über die Beobachtung einer Versuchsstrecke (untergeordneter Feldweg, ausgelegt auf eine Verkehrslast von weniger als 11 schweren Fahrzeugen pro Tag) in Spanien über einen Zeitraum von 1,5 Jahren. Dabei wurden Materialien ähnlich zu den Bankettbaustoffen nach den ZTV E-StB 17 verwendet. Das Material wurde in einer Stärke von etwa 50 cm auf einem wenig tragfähigen, weichen Untergrund aufgebaut.

auf einen Verhältniswert von etwa 3,2 bis 3,3 für die Kalksteinbruchmaterialien (0/32 mm und 0/8 mm) hin. Für die RC-Mix Materialien (0/32 mm und 0/8 mm) können Verhältniswerte von 4 bis 4,6 angegeben werden. Letztlich könnte diese offensichtliche Diskrepanz zwischen den geforderten Eigenschaften je nach Nachweisverfahrens bei der praktischen Umsetzung zu Problemen führen.

Zu b) Wie ist der Einfluss aus der Tragfähigkeit des Untergrundes zu beurteilen?

Aufgrund des vertikalen Einflussbereichs des Plattendruckversuchs von etwa 60 cm (ca. 2·D der Platte) ist vor allem bei Bankettstärken unter diesem Wert eine Beeinflussung durch das unterliegende Material zu erwarten. Der an der Oberfläche gemessene Wert ist in diesem Fall also nicht nur eine Funktion der Eigenschaften des Bankettmaterials selbst, sondern ebenso eine Funktion der Dicke des Banketts und der Eigenschaften und des unterliegenden Materials³⁰. Da sich die Anforderungen an den Verformungsmodul im straßenbautechnischen Regelwerk auf die Oberfläche des Banketts beziehen (ohne Bezug auf die Steifigkeit des unterliegenden Materials zu nehmen), muss die Steifigkeit des Bankettes umso höher sein, je weniger steif der Untergrund ist. Dass das trotz ausreichender Verdichtung der Bankettschicht beim Nachweis des Verformungsmoduls zum Problem werden kann, lässt sich anschaulich am südlichen Bereich des Feldes 1 zeigen (dort kommt eine nur etwa 30 cm starke Bankettschicht auf wenig tragfähigem Untergrund zu liegen; siehe [Bild 25](#), [Bild 26](#) und [Bild 35](#)).

In Bezug auf die Forschungsfrage C) unter Pkt. 2.1 kann zusammenfassend erwähnt werden, dass unter üblichen Bedingungen ausreichend verdichtete Bankettbaustoffe nach den ZTV E-StB 17 (Materialien der Bodengruppen GU/GT mit einem Feinkornanteil von 8 bis 12 M.-%) den Anforderungswert von $E_{V2} \geq 80$ MPa einhalten können. Trotzdem sollte überprüft werden, ob gesonderte Regelungen für Bankette geringer Stärke³¹ und bei Tragfähigkeiten des Planums an der Untergrenze der zulässigen Werte³² sinnvoll sind, da in solchen Fällen die Steifigkeit des unterliegenden Materials die versuchstechnisch ermittelbare Steifigkeit an der Bankettoberfläche maßgeblich beeinflusst. Solche Regelungen könnten Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes umfassen.

Der alternativ geforderte Anforderungswert $E_{Vd} \geq 40$ MPa sollte ebenfalls überprüft werden, da die dargestellten Ergebnisse vermuten lassen, dass das Nachweisformat für den Verdichtungsgrad mit dem dynamischen Plattendruckversuch bei den bestehenden Vorgabewert ($E_{Vd} \geq 40$ MPa) schlechter gestellt ist als das Nachweisformat mit dem statischen Plattendruckversuch ($E_{V2} \geq 80$ MPa). In Bezug auf die vorliegenden Versuchsdaten muss wohl davon ausgegangen werden, dass der Verhältniswert E_{V2}/E_{Vd} für Böden und Baustoffe der Bodengruppen GU/GT größer als 2 ist (hier $E_{V2}/E_{Vd} \approx 3,2$ bis $3,3$ für Kalksteinbruch 0/32 mm und 0/8 mm und $E_{V2}/E_{Vd} \approx 4$ bis $4,6$ für RC-Mix 0/32 mm und 0/8 mm).

Neben der Tragfähigkeit direkt nach Verdichtung verbleibt noch die Forschungsfrage D) (siehe Pkt. 2.1) zu möglichen Empfehlungen bezüglich einer langfristigen Tragfähigkeit und der Materialzusammensetzung auf Basis der vorangegangenen Untersuchungen. Die eigenen Feldversuche anhand von 4 Materialien (Kalksteinschotter 0/32 mm und 0/8 mm sowie RC-Mix 0/32 mm und 0/8 mm) weisen darauf hin, dass bei den natürlichen Bankettbaustoffen der Verformungsmodul E_{V2} und E_{Vd} über die Zeit nahezu konstant bleibt, beim RC-Material aus rezykliertem Bauschutt im Laufe der Zeit sogar ansteigt. Dabei ist zu beachten, dass die Versuchsfelder nur über einen Winter beprobt und dabei nicht befahren wurden. Außerdem wurden an der Oberfläche keine Wässer aus dem Straßenbereich eingeleitet.³³ Nimmt man in die Beurteilung die

³⁰ Sehr anschaulich wurde der Einfluss der Schichtdicke und der Eigenschaften der unterliegenden Schicht am Beispiel von erforderlichen Tragschichtdicken von FLOSS (1997, S.230 - Bild 82) dargestellt. Da sich diese und ähnliche Untersuchungen auf Tragschichtmaterialien beziehen, die höhere Steifigkeiten aufweisen als Böden der Bodengruppen GU und GT, können die Angaben nicht einfach auf die Bankettproblematik übertragen werden.

³¹ Die Höhe des Bankettes orientiert sich an der Höhe des Straßenoberbaus. Nach RStO (2012) ist in den Belastungsklassen Bk 3,2, 1,8, 1,0 und 0,3 eine Dicke des frostsicheren Oberbaus von 45 bis 35 cm unter Umständen möglich.

³² Gemäß den Vorgeaben der ZTV E-StB hat das Planum, auf dem der frostsichere Oberbau nach RStO (2012) aufgebaut wird, mindestens ein Verformungsmodul $E_{V2} \geq 45$ MPa aufzuweisen.

³³ Ein Bewuchs hatte sich über den Beobachtungszeitraum außerdem nicht gebildet.

Ergebnisse aus den Laborversuchen zur Beantwortung der Forschungsfrage B) mit auf (siehe Pkt. 4.2.2), ist vor allem in den Wintermonaten (bei Frost-Tau-Beanspruchung) eine Tragfähigkeitsminderung, vor allem in Form einer Minderung des E_{V1} – Werts, durchaus wahrscheinlich. Diese Tragfähigkeitsminderungen werden durch oberflächliche Auflockerungen hervorgerufen, können nur mit dem Erstbelastungsmodul ausreichend erfasst werden (vgl. Bild 54, Bild 55) und sind für die Beurteilung einer Spurrillenbildung aufgrund des Abkommens eines Fahrzeugs von der Fahrbahn von besonderer Relevanz. Die Laborversuche weisen außerdem darauf hin, dass innerhalb der in den ZTV E-StB 17 als Bankettmaterialien festgelegten Körnungsbereichen keine systematische Abhängigkeit von der Bodengruppe (GU oder GT), dem Feinkornanteil und dem Anteil < 2 mm besteht (siehe Pkt. 5.4.2).

Zusammengefasst können die Vorgaben der ZTV E-StB 17 bezüglich der Materialzusammensetzung durch die durchgeführten Labor- und Felduntersuchungen voll bestätigt werden. Bei der Verwendung natürlicher Bankettbaustoffe können auf Basis der derzeitigen Datenlage langfristig nahezu gleichbleibende bis leicht abfallende Tragfähigkeiten (E_{V2}) erwartet werden, bei Bankettbaustoffen aus recykliertem Bauschutt werden ansteigenden Tragfähigkeiten erwartet (Nacherhärtung). Als nächster Schritt zur Überprüfung dieser Erkenntnisse wären Langzeit-Untersuchungen unter realen Bedingungen (an Versuchsstrecken) sehr wünschenswert.

6.6 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen erlauben die Beantwortung der unter Pkt. 2.1 formulierten Forschungsfragen C) und D).

C) Welche Tragfähigkeiten sind nach Einbau (ohne Witterungseinflüsse) auf standfesten Banketten im Feld mit oben genannten Zusammensetzungen in etwa zu erreichen?

Unter üblichen Bedingungen (untergeordneter Einfluss des Untergrundes) können ausreichend verdichtete Bankettbaustoffe nach den ZTV E-StB 17 (Materialien der Bodengruppen GU/GT mit einem Feinkornanteil von 8 bis 12 M.-%) den Anforderungswert von $E_{V2} \geq 80$ MPa einhalten. Trotzdem sollte überprüft werden, ob gesonderte Regelungen für Bankette geringer Stärke und bei Tragfähigkeiten des Planums an der Untergrenze der zulässigen Werte sinnvoll sind, da in solchen Fällen die Steifigkeit des unterliegenden Materials die versuchstechnisch ermittelbare Steifigkeit an der Bankettoberfläche maßgeblich beeinflusst. Solche Regelungen könnten Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes umfassen. Der alternativ geforderte Anforderungswert $E_{Vd} \geq 40$ MPa sollte ebenfalls überprüft werden, da die dargestellten Ergebnisse darauf hinweisen, dass das Nachweisformat für den Verdichtungsgrad mit dem dynamischen Plattendruckversuch bei den bestehenden Vorgabewerten ($E_{Vd} \geq 40$ MPa) schlechter gestellt ist als das Nachweisformat mit dem statischen Plattendruckversuch ($E_{V2} \geq 80$ MPa). In Bezug auf die vorliegenden Versuchsdaten muss wohl davon ausgegangen werden, dass der Verhältnisswert E_{V2}/E_{Vd} für Böden und Baustoffen der Bodengruppen GU/GT größer als 2 ist. Weiterhin zeigen die Untersuchungen, dass sich der Verhältnisswert E_{V2}/E_{Vd} von natürlichen Materialien wohl von jenem der Recyclingbaustoffe unterscheidet.

D) Welche Materialzusammensetzung und welcher Anforderungswert an die dauerhafte Tragfähigkeit können vor dem Hintergrund der Ergebnisse für standfeste Bankette empfohlen werden?

Auf Basis der durchgeführten Labor- und Feldversuche werden die Vorgaben der ZTV E-StB 17 bezüglich der Materialzusammensetzung bestätigt. Wenn der Verformungsmodul E_{V2} synonym zum Begriff der „Tragfähigkeit“ und „Standfestigkeit“ verwendet wird, kann gelten: Bei den geforderten Feinkornanteilen zwischen 8 bis 12 M.-% ist aus derzeitiger Sicht keine maßgeblich negative Beeinflussung des definierten Verformungsmoduls (E_{V2}) durch die Bewitterung zu erwarten. Der E_{V2} – Wert blieb in den Feldversuchen entweder nahezu konstant (Kalksteinschotter) oder stieg deutlich an (RC-

Mix). Allerdings sind oberflächliche Auflockerungen durchaus wahrscheinlich und spiegeln sich vor allem im E_{V1} – Wert wieder. Diese Auflockerungen dürften für die Beurteilung einer Spurrillenbildung aufgrund des Abkommens von Fahrzeugen von der Fahrbahn von besonderer Relevanz sein.

7 Nachweis der Verdichtung und Tragfähigkeit im Feld

7.1 Konzept und Untersuchungsprogramm

7.1.1 Allgemeines

Bankette weisen eine planmäßige Querneigung von 6 bzw. 12 % auf. Der in den ZTV E-StB 17 geforderte Nachweis der Tragfähigkeit der fertigen Bankette soll mittels statischem oder dynamischem Plattendruckversuch erfolgen. Beide Verfahren sind eigentlich auf die Versuchsführung auf nahezu horizontalen Flächen ausgelegt (der dynamische Plattendruckversuch darf grundsätzlich auf Flächen mit einer Neigung bis 6 % durchgeführt werden). Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollte also auf folgende Fragestellungen eingegangen werden: Wie kann die Tragfähigkeit von Banketten im Feld experimentell bestimmt werden? Welchen Einfluss hat die Querneigung des Banketts (6 % bzw. 12 %) auf die Durchführung und die Ergebnisse von statischen und dynamischen Plattendruckversuchen?

Zur Erörterung dieser Fragestellungen wurden im Juli 2018 im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik der TU München nacheinander zwei Probefelder mit einem Bankettbaustoff nach ZTV E-StB 17 (Körnung 0/32 mm) hergestellt. Das Material wurde speziell auf die derzeitigen Anforderungen an Bankettbaustoffe abgestimmt.

Die Felder wurden auf einem Aufschüttungsbereich angelegt, wobei vor allem die oberflächennahe Aufschüttung aus grobem Kies bestand. Das Planum (OK grober Kies) wurde vor der Durchführung der Versuche verdichtet und mittels dynamischer Lastplatte untersucht (siehe [Bild 59](#) und [Bild 60](#)). Dabei wurden für die Felder 1a und 1b insgesamt Werte zwischen $E_{Vd} = 27$ MPa und 77 MPa dokumentiert, wobei die niedrigen Werte tendenziell im südlichen Bereich aufgezeichnet wurden. In den Feldern 2a und 2b wurden Werte zwischen $E_{Vd} = 33$ MPa und 73 MPa dokumentiert.

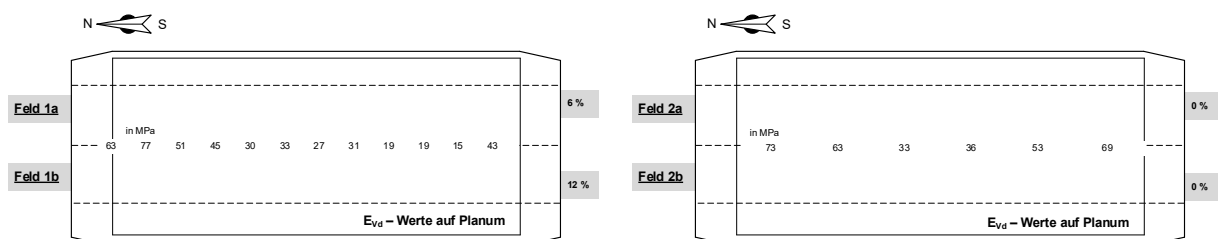


Bild 59: Beprobung des Planums (dyn. Lastplatte)-Feld 1 **Bild 60:** Beprobung des Planums (dyn. Lastplatte)-Feld 2

Wie im Untersuchungskonzept vorgesehen, sollten die Felder, in Anlehnung an Bankette im Straßenquerschnitt, unterschiedliche Neigungen aufweisen. Demnach wurde das Feld 1 längs in zwei Teile aufgeteilt und eine Seite (Feld 1a) mit einer Neigung von 6 % ausgeführt, die andere Seite (Feld 1b) mit einer Neigung von 12 %. Das Feld 2 (genauer 2a und 2b), das nach Abschluss der Versuche am Feld 1 hergestellt wurde, wurde eben ausgeführt. Beide Felder wurden in zwei Lagen von je 30 cm mit einer schweren Rüttelplatte in jeweils 6 Verdichtungsübergängen verdichtet (siehe [Bild 61](#)) und die Geometrie per Lasernivellement

vermessen. Zur Herstellung der geeigneten Oberflächen des Feldes 1 (Feld 1a und 1b) wurde die verdichtete Oberfläche mit der Baggerschaufel abgezogen (siehe [Bild 62](#)), in Handarbeit abgeglichen und anschließend die Oberfläche mit einer mittelschweren Rüttelplatte in 2 Verdichtungsübergängen geglättet (siehe [Bild 63](#)).



Bild 61: Verdichtung der zweiten Lage im Feld 1 (Foto: Elisavet Barka)



Bild 62: Herstellung der geeigneten Bankettoberflächen im Feld (Foto: Elisavet Barka)



Bild 63: Verdichtung der geeigneten Bankettoberfläche im Feld 1 (Foto: Elisavet Barka)

Die im verdichteten Zustand erreichten Endhöhen der Versuchsfelder sind in [Bild 64](#) und [Bild 65](#) eingetragen. Nach Abschluss des Aufbaus wurden die Felder mit Kunststofffolien abgedeckt, um die Materialien gegen Austrocknung bis zur Beprobung am nächsten Tag zu schützen.

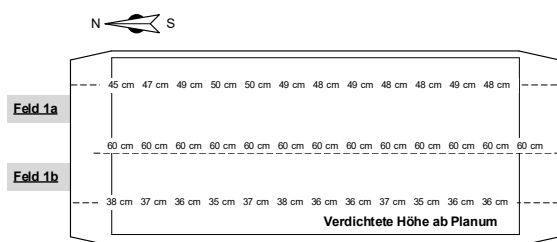


Bild 64: Höhe der Versuchsfelder ab Planum-Feld 1

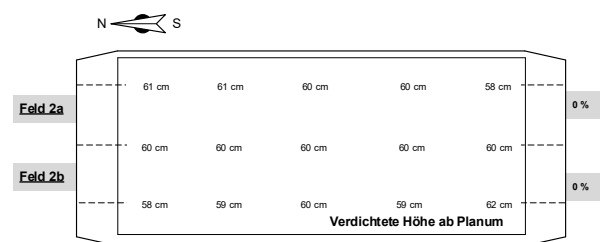


Bild 65: Höhe der Versuchsfelder ab Planum-Feld 2

Für die Felduntersuchungen wurden die einzelnen Felder jeweils in 12 einzelne Teilfelder á 1 m (Breite 1,0 m) unterteilt, wobei die Positionierungsvariable x der Prüfpunkte von Norden ($x = 0$ m) nach Süden hin ($x = 12$ m) ansteigt (siehe Schemaskizze in [Bild 66](#)). Die einzelnen Prüfparzellen wurden für die Untersuchungen dabei so eingeteilt, dass möglichst viele Einzelversuche durchgeführt werden konnten, ohne eine gegenseitige Beeinflussung zwischen den Prüfpunkten befürchten zu müssen.

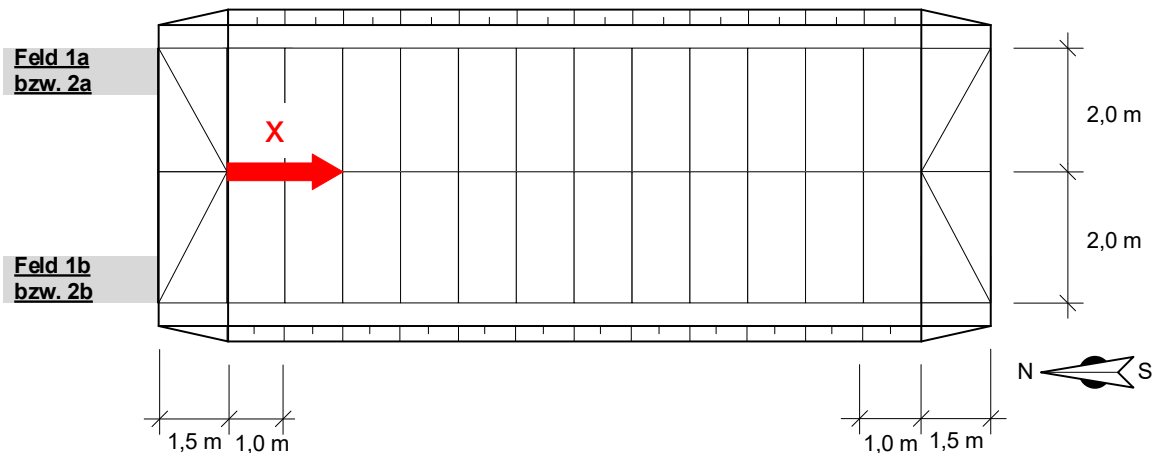


Bild 66: Schemaskizze der Feldversuche im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik; mit Feldeinteilung

7.1.2 Feldversuche

Die Dichtebestimmung im Feld erfolgte mit einer radiometrischen Sonde (Troxler-Sonde). Die Bestimmung des statischen Verformungsmoduls (E_{v1} , E_{v2}) wurde in Anlehnung an DIN 18134 durchgeführt, die Bestimmung des dynamischen Verformungsmoduls (E_{vd}) in Anlehnung an TP BF-StB Teil B 8.3. Abweichungen vom standardisierten Vorgehen ergaben sich aus der planmäßigen Neigung. In Bild 67 bzw. Bild 77 ist die Anordnung der Prüfpunkte in Feld 1 bzw. Feld 2 schematisch dargestellt.

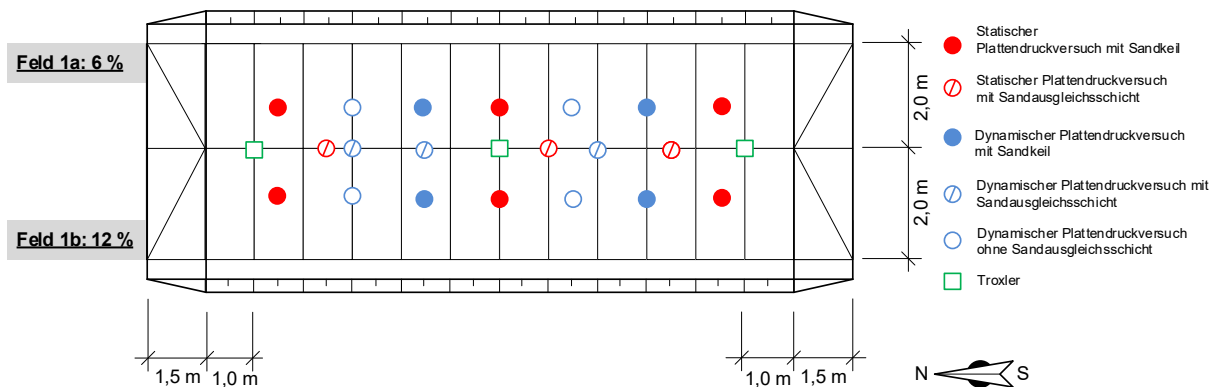


Bild 67: Schemaskizze der Anordnung der Prüfpunkte im Feld 1 im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik³⁴

Im Feld 1a (Querneigung 6 %) und Feld 1b (Querneigung 12 %) wurden insgesamt 9 statische und 11 dynamische Plattendruckversuche durchgeführt. Die Dichte und der Wassergehalt wurden unmittelbar nach Herstellung der Felder an 3 Stellen ermittelt. Die Abstände der Prüfpunkte zueinander und zu der Freifeldmitte sind in Bild 67 dargestellt.

Die Durchführung von **dynamischen Plattendruckversuchen** auf Banketten mit einer Querneigung von > 6 % kann streng genommen nicht im Rahmen der Vorgaben des Regelwerks³⁵ erfolgen. Für die Durchführung in der Praxis sind also pragmatische Lösungen (möglichst nahe an den Vorgaben des Regelwerks)

³⁴ Statische Plattendruckversuche ohne Sandausgleichsschicht wurden erst im Rahmen von Feld 2 durchgeführt (siehe Bild 77).

³⁵ Regelwerkskonform nach TP BF-StB Teil B 8.3 ist die Durchführung auf einer Prüffläche mit einer maximalen Neigung von 6 % und auf einer weinige Millimeter dicken Schicht aus Mittelsand (zum Ausgleich von Unebenheiten).

wichtig. Die Versuche im Rahmen dieser Untersuchungen wurden unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen auf unterschiedlich vorbereiteten Prüfoberflächen durchgeführt. Einmal lag die Lastplatte direkt auf der geneigten und ungestörten Oberfläche (oSA) im Feld 1a und Feld 1b auf (siehe dazu [Bild 68](#)). Als Variante wurde die Versuchsfläche für die Prüfung durch eine keilförmige Sandschicht (SK) hergestellt, sodass die Lastplatte auf einer ebenen Oberfläche aufgelegt werden konnte (siehe dazu [Bild 69](#) und [Bild 74](#)). Dafür wurde Quarzsand der Körnung 0,1 bis 0,5 mm verwendet.

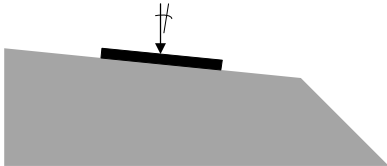


Bild 68: Schemaskizze zu den dynamischen Plattendruckversuchen ohne Sandausgleichsschicht (oSA)

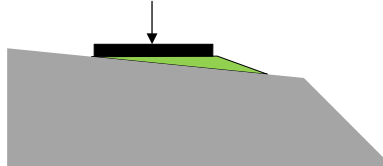


Bild 69: Schemaskizze zu den Plattendruckversuchen mit Sandkeil (SK)

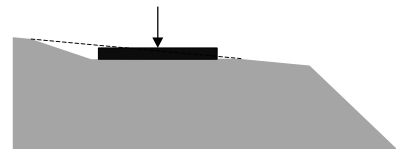


Bild 70: Schemaskizze zu den Plattendruckversuchen mit Sandausgleichsschicht (SA)

In einer weiteren Variante wurden Versuche zur Ermittlung des dynamischen Verformungsmoduls auch auf ebener Oberfläche mithilfe einer Sandausgleichsschicht (SA) durchgeführt ([Bild 70](#)). Hierfür wurde erst die Oberfläche bis etwa 1 bis 2 cm Tiefe abgegraben ([Bild 71](#)) und anschließend mit Quarzsand (0,1 bis 0,5 mm) abgestreut ([Bild 72](#) und [Bild 73](#)).



Bild 71: Aufgrabung Boden für die Herstellung einer Sandausgleichsschicht im Feld 1 (Foto: Christoph Henzinger)



Bild 72: Herstellung einer Sandausgleichsschicht im Feld 1 (Foto: Christoph Henzinger)



Bild 73: Dynamischer Plattendruckversuch auf Sandausgleichsschicht im Feld 1 (Foto: Christoph Henzinger)

Die Durchführung der **statischen Plattendruckversuche** ist auf geneigten Oberflächen ([Bild 68](#)) nur erschwert möglich, da das Belastungswiderlager in der Regel an die Neigung der geprüften Oberfläche angepasst werden muss. Bei nicht sachgemäßer Anpassung der Versuchsdurchführung an die Neigung der zu prüfenden Oberfläche droht ein Abrutschen des Kopfteils der Verlängerung des Hydraulikzylinders der Lastplatte. Bei sachgemäßer Anpassung kann das Verfahren allerdings als äquivalent zur Prüfung auf horizontaler Oberfläche gesehen werden. Für den Fall, dass das Belastungswiderlager nicht geneigt oder das Kopfteil der Verlängerung des Hydraulikzylinders der Lastplatte nicht gegen ein Verrutschen gesichert werden kann, besteht einerseits die Möglichkeit zur Herstellung einer horizontalen Prüfoberfläche durch Abgraben und Aufbringen einer Sandausgleichsschicht (SA; siehe [Bild 70](#)) und andererseits die Möglichkeit zur Herstellung einer horizontalen Prüfoberfläche durch Anschüttung eines Sandkeils (SK; [Bild 69](#), [Bild 76](#)).



Bild 74: Dynamischer Plattendruckversuch mit Sandkeil auf geneigter Oberfläche in den Feldern 1a und 1b (Foto: Elissavet Barka)

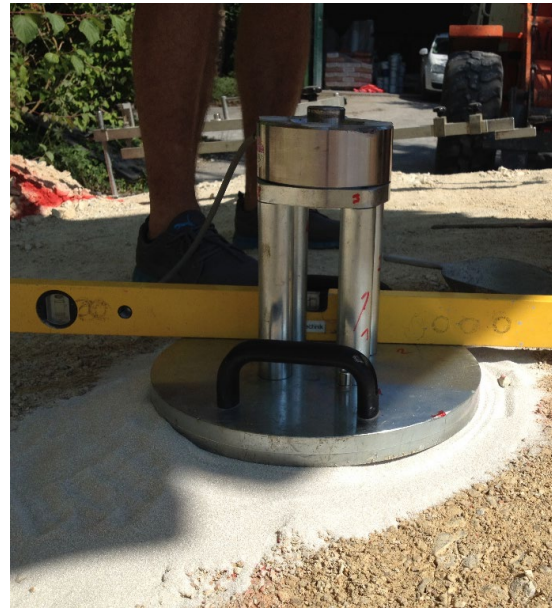


Bild 75: Statischer Plattendruckversuch mit Sandkeil auf geneigter Oberfläche im Feld 1 (Foto: Elissavet Barka)

Um eine mögliche Verkippung der statischen Lastplatte beim Verfahren mit dem Sandkeil (SK) zu erfassen, wurde auf der Lastplatte (ca 1 cm vom Rand der Platte) an der höchsten Stelle des Sandkeils eine Wegmessuhr angebracht und die angezeigten Werte mitprotokolliert (Bild 76).

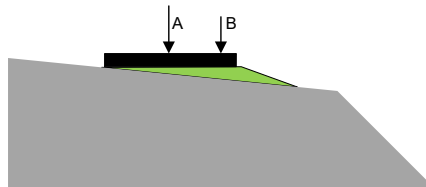


Bild 76: Schemaskizze zu den statischen Plattendruckversuchen mit Sandkeil (SK) zur Ermittlung der Verkippung - Messung der Setzungen in der Mitte (Punkt A) und am Plattenrand (Abstand zum Rand ca 1 cm (Punkt B))

Um die Ergebnisse der Durchführung auf geneigter Oberfläche (mit den jeweiligen Möglichkeiten zur Versuchsdurchführung) mit Ergebnissen von Versuchen auf nicht geneigten Oberflächen vergleichen zu können, wurde ein zweites Feld (Feld 2) erstellt. An diesem Feld wurden auch Untersuchungen zum Einfluss der oberflächlichen Störung durch eine Abtragung des Materials (und Herstellung einer SA) im Zuge der Herstellung einer horizontalen Oberfläche (Bild 70) durchgeführt. Es wurden insgesamt 12 dynamische und 3 statische Plattendruckversuche ohne Sandausgleichsschicht sowie jeweils 3 dynamische und statische Plattendruckversuche mit Sandausgleichsschicht durchgeführt. Die Dichtebestimmung erfolgte an drei Stellen. Die Anordnung der Prüfpunkte ist in Bild 77 dargestellt.

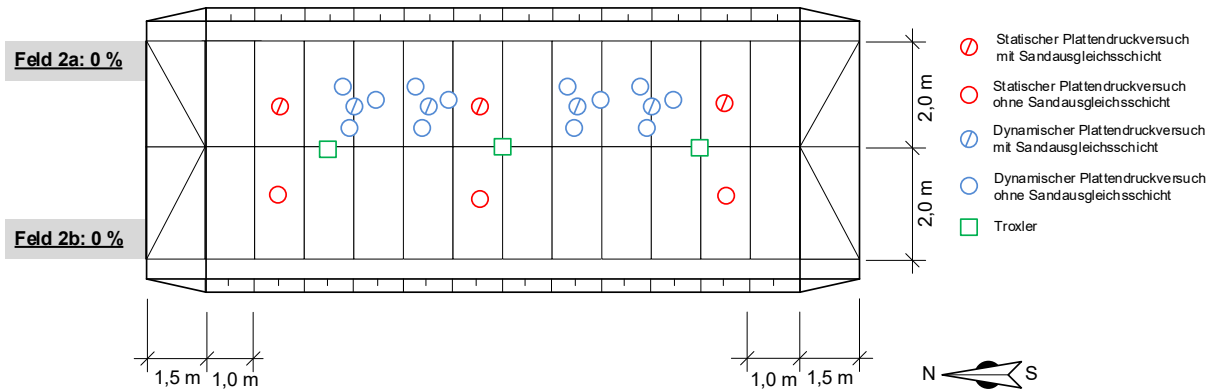


Bild 77: Schemaskizze der Anordnung der Prüfpunkte im Feld 2 im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik

7.2 Material

Das in den Feldversuchen verwendete Material wurde von einem Schotterwerk nahe Ingolstadt speziell auf die Anforderungen an Bankettbaustoffe nach den neuen ZTV E-StB 17 hergestellt. Es handelt sich um einen Kalksteinbruch der Kornklasse 0/32 mm. Die Kornverteilung des Materials (Mehrfachbestimmung) ist in **Bild 78** dargestellt. Das Material weist im nicht-eingebauten Zustand Feinkornanteile hauptsächlich zwischen etwa 7 und 9 M.-% auf und liegt somit an der unteren Grenze des im Regelwerk geforderten Bereichs (Vorgabe: 8 bis 12 M.-% Feinkornanteil im eingebauten Zustand).

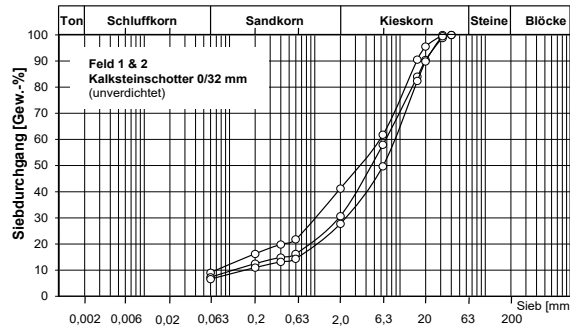


Bild 78: Kornverteilungslinien des für die Feldversuche verwendeten Materials

Die Korndichte des Materials wurde mittels Luftpyknometer nach TP BF-StB B 3.3 bestimmt. Das Ergebnis der Versuche ist als Mittelwert aus mehreren Messungen in **Tab. 25** zusammengefasst.

Material	Korndichte ^[1] ρ_s in g/cm ³
Feld 1: Kalksteinschotter 0/32 mm	2,76
Anmerkungen: [1] ...Mittelwert aus mehreren Messungen nach TP BF-StB B 3.3	

Tab. 25: Korndichte des Versuchsmaterials

7.3 Ergebnisse der Feldversuche

7.3.1 Planum

Vor Errichtung des Planums im Feld 1 und Feld 2 wurde der Untergrund verdichtet und mittels statischer (Feld 1) und dynamischer (Feld 1 & 2) Plattendruckversuche geprüft. Die Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmodul (E_{V2}) sowie die mit dem dynamischen Plattendruckversuch ermittelten E_{Vd} – Werte sind in Bild 79 dargestellt. Die Werte beider Verfahren schwanken entlang der Achse des Versuchswertes und liegen mindestens bei E_{V2} – Werten von etwa 90 MPa bzw. E_{Vd} – Werten zwischen 15 und 77 MPa. Die Höhe des eingebauten Bankettmaterials wurde allerdings so gewählt, dass bei den jeweiligen Prüfpunkten immer eine verdichtete Lage von etwa 50 cm geprüft wurde. Der Einfluss des Untergrundes auf die Versuchsergebnisse wurde somit minimiert.

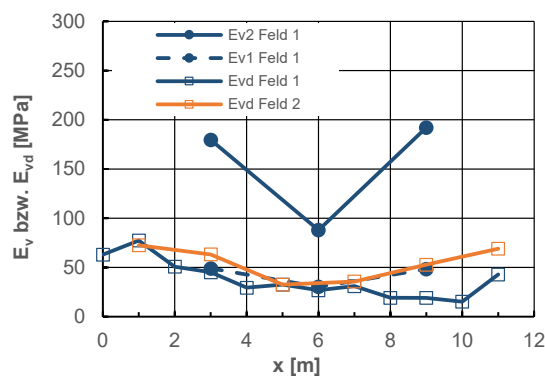


Bild 79: Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmodul (E_{V2}) sowie Verformungsmodul E_{Vd} – Untergrund im Feld 1 und Feld 2

7.3.2 Feld 1

Die Verdichtung des Schottergemisches 0/32 mm im Feld 1 erfolgte auf der trockenen Seite des Verdichtungsoptimums bei einem Wassergehalt von etwa 3 bis 4 %. Die erreichten Verdichtungsgrade können mit $D_{Pr} = 100$ bis 104 % angegeben werden (bezogen auf die Verdichtung mit Standard-Proctor-Energie).

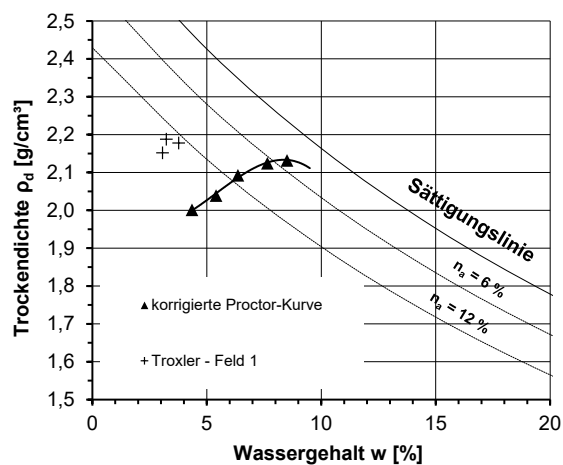


Bild 80: Trockendichten in Feld 1 (Schottergemisch 0/32 mm)

Die erreichte Trockendichte des Schottergemisches 0/32 mm im Feld 1 wurde mit der Isotopsonde (Troxler) in drei unterschiedlichen Prüfstellen gemessen und ist in **Bild 81** dargestellt. Die Messungen mit der Isotopsonde erfolgten in 3 bis 4 unterschiedlichen Einstecktiefen (5 cm, 10 cm, 15 cm und 30 cm). In **Bild 82** wird die Trockendichte als Mittelwert von den Einstecktiefen für die drei Prüfstellen dargestellt. Die Werte aller Prüfstellen liegen im Mittel auf ähnlichem Niveau und zwar zwischen 2,15 bis 2,19 g/cm³.

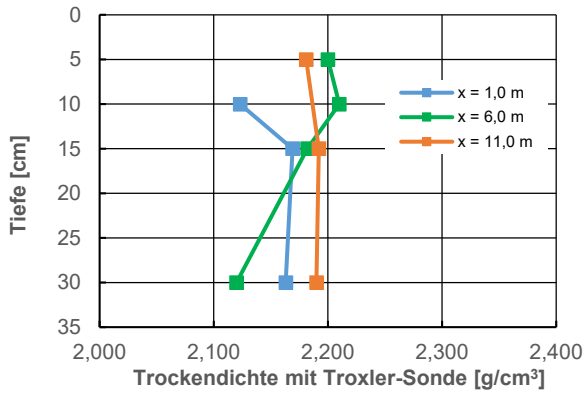


Bild 81: Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Troxler) - Feld 1

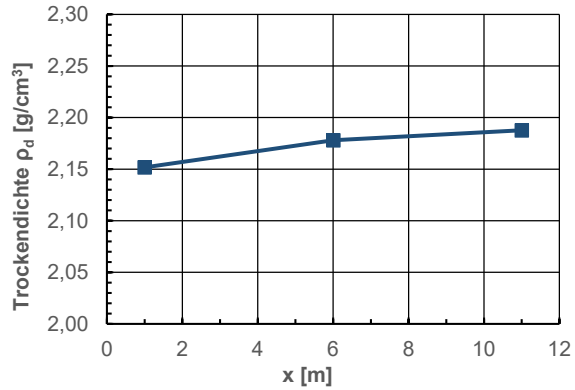


Bild 82: Trockendichte (Mittelwert) in Abhängigkeit von dem Prüfpunkt, gemessen mit der radiometrischen Sonde (Troxler) - Feld 1

Die Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmoduln (E_{V2}) der Plattendruckversuche sind in **Bild 83** dargestellt. Die Ergebnisse sind je nach Neigung und verwendeten Verfahren (Abgrabung und SA oder SK) gekennzeichnet. Die Darstellung zeigt, dass bei der Erstbelastung kein markanter und systematischer Einfluss der Querneigung des Banketts und der gewählten Versuchsdurchführung auf die Tragfähigkeit erkennbar ist. Die Durchführung der statischen Lastplattenversuche auf einer abgegrabenen und horizontalen Fläche mit einer Sandausgleichsschicht bringt im Vergleich zur einfacheren Durchführung auf einem Sandkeil zum Ausgleich der Bankettneigung offenbar auch in Bezug auf die E_{V2} -Werte keine maßgeblichen Vorteile. In **Bild 84** werden die E_{V2} / E_{V1} - Werte vergleichend dargestellt, diese bewegen sich im Bereich um den Faktor 3.

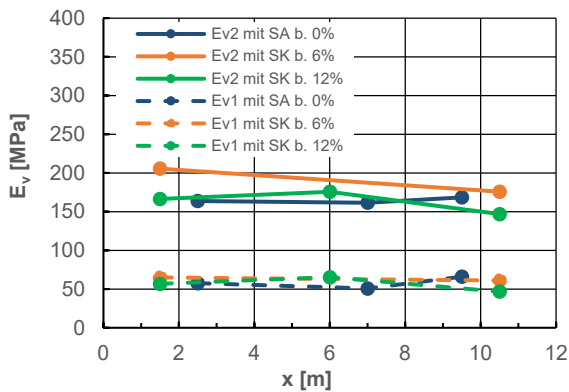


Bild 83: Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmoduln (E_{V2}) - Feld 1

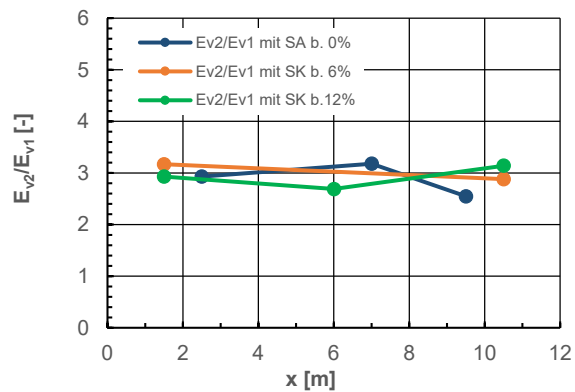


Bild 84: Verhältnis E_{V2} / E_{V1} - Feld 1

In **Bild 85** sind exemplarisch Spannungs-Setzungen-Kurven für die Messungen in den Punkten A und B gemäß **Bild 76** für die Erstbelastung vergleichend dargestellt. Bei 6 % Neigung verkippte die Platte (Differenz der Setzung zwischen Punkt A und Punkt B) bei einer Last von 500 kPa und einer Gesamtsetzung im Punkt A von 1,85 mm etwa 0,1 mm entgegen (!) der Bankettneigung. Bei 12 % Neigung betrug diese Verkipfung (Differenz der Setzung zwischen Punkt A und Punkt B) an der Messstelle $x = 1,5$ m bei einer Last

von 500 kPa und einer Gesamtsetzung im Punkt A von 2,1 mm etwa 0,1 mm in Richtung der Bankettneigung und an der Messstelle $x = 6,0$ m bei einer Gesamtsetzung im Punkt A von 1,8 mm etwa 0,5 mm in Richtung der Bankettneigung. Im Rahmen der Ent- und Wiederbelastung wurden jeweils keine nennenswerten weiteren Verformungen mehr aufgezeichnet.

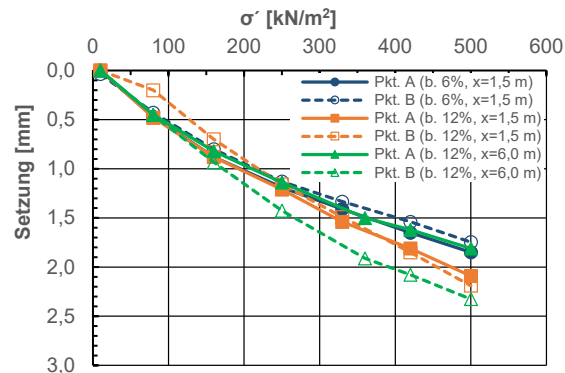


Bild 85: Spannungs-Setzungs-Diagramm für die Messungen in den Punkten A und B für die Erstbelastung im Feld 1

Bild 86 zeigt die im dynamischen Plattendruckversuch ermittelten E_{vd} - Werte. Die Durchführung der Versuche auf der ungestörten, geneigten Oberfläche liefert höhere Steifigkeiten im Vergleich zum Verfahren mit Sandkeil. Dies ist insbesondere bei der Neigung mit 12 % ersichtlich (Verfahren nach TP BF-StB Teil B 8.3 nicht zulässig bei 12 % Neigung). Wie erwartet wurde beim Verfahren oSA bei einer Neigung von 12 % eine leichte Abrutschung der Lastplatte von augenscheinlich etwa 0,5 mm bzw. 1 bis 2 mm pro Schlag in der Ebene der Prüfoberfläche beobachtet. Im Vergleich zu den Versuchen mit Sandkeil und den Versuchen auf der geneigten Oberfläche führt die Herstellung einer horizontalen Prüffläche mit der notwendigen Sandausgleichsschicht (SA bei 0 %) zu vergleichsweise niedrigen Steifigkeiten.

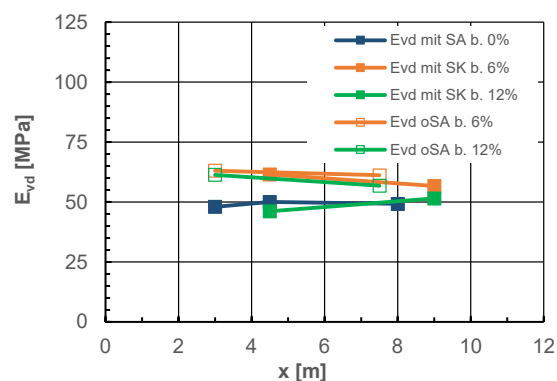


Bild 86: Verformungsmoduln E_{vd} - Feld 1

Zu den Ergebnissen in **Bild 86** ist anzumerken, dass mit allen Verfahren zur Vorbereitung der Prüfoberfläche die Vorgaben der ZTV E-StB 17 bezüglich des E_{vd} - Wertes (40 MPa) eingehalten wurden.

7.3.3 Feld 2

Die Verdichtung des Schottergemisches 0/32 mm im Feld 2 erfolgte auf der trockenen Seite des Verdichtungsoptimums bei einem Wassergehalt von etwa 3 bis 4,5 %. Die erreichten Verdichtungsgrade können mit $D_{Pr} = 103$ bis 105 % angegeben werden und wurden anhand von 3 Versuchen mit der Troxlersonde bestimmt (**Bild 87**).

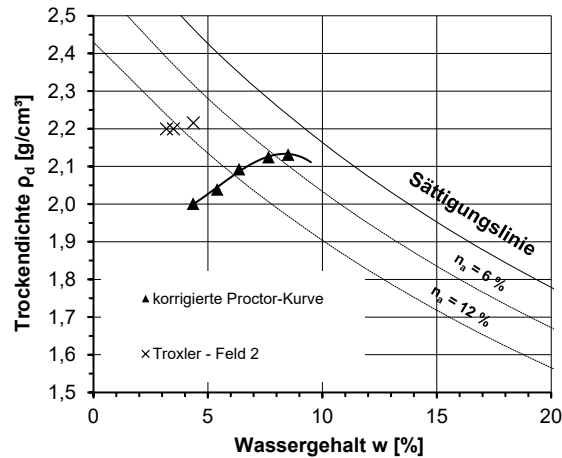


Bild 87: Verdichtungserfolg bei Feld 2 (Schottergemisch 0/32 mm)

Bild 88 zeigt die Trockendichte des Schottergemisches 0/32 mm im Feld 2, gemessen mit der Isotopsonde (Trochler) an drei unterschiedlichen Prüfpunkten. Die Messungen mit der Isotopsonde erfolgten in 3 unterschiedlichen Einstecktiefen (10 cm, 20 cm und 30 cm). In **Bild 89** wird die Trockendichte als Mittelwert von den Einstecktiefen für die drei Prüfpunkte dargestellt. Die gemittelten Werten lagen in den drei Prüfpunkten zwischen 2,20 und 2,22 g/cm³.

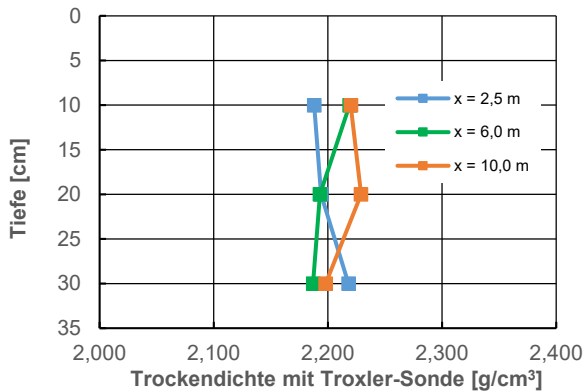


Bild 88: Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Trochler) - Feld 2

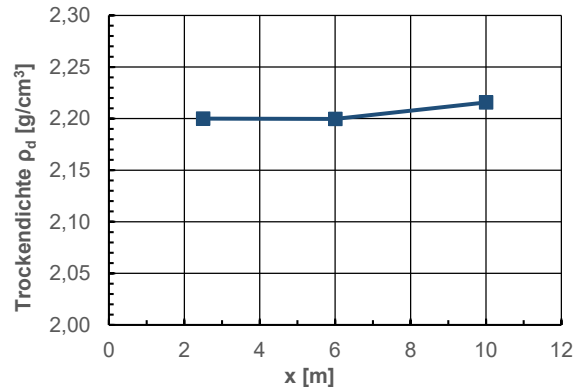


Bild 89: Trockendichte (Mittelwert) in Abhängigkeit von der Prüfstelle gemessen mit der radiometrischen Sonde (Trochler) - Feld 2

Die Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmoduln (E_{V2}) aus den statischen Plattendruckversuchen sind in **Bild 90** dargestellt³⁶. Die Tragfähigkeit bei Wiederbelastung weist bei der Versuchsdurchführung auf der ungestörten Oberfläche (ohne Sandausgleichsschicht) konsistent höhere Werte gegenüber den Werten bei der Prüfung auf der gestörten Oberfläche (mit SA) auf. Für den Erstbelastungsmodul ergeben sich keine eindeutigen Tendenzen. In **Bild 91** sind die den Versuchen zuzuordnenden E_{V2} / E_{V1} - Werte dargestellt.

³⁶ Im Vergleich zu Feld 1 ist die Trockendichte in Feld 2 etwas höher. Aus diesem Grund sind wohl auch die Tragfähigkeiten im Feld 2 grundsätzlich etwas höher.

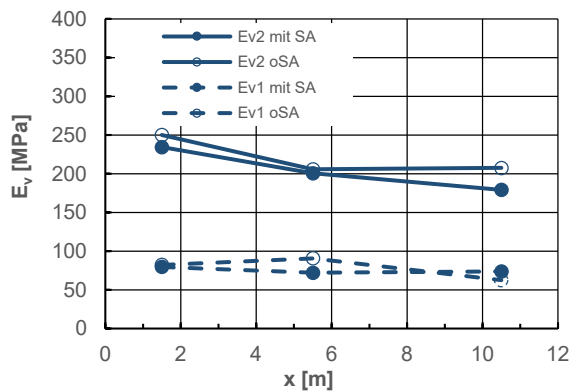


Bild 90: Erstbelastungs- (E_{v1}) und Wiederbelastungsmoduln (E_{v2}) - Feld 2

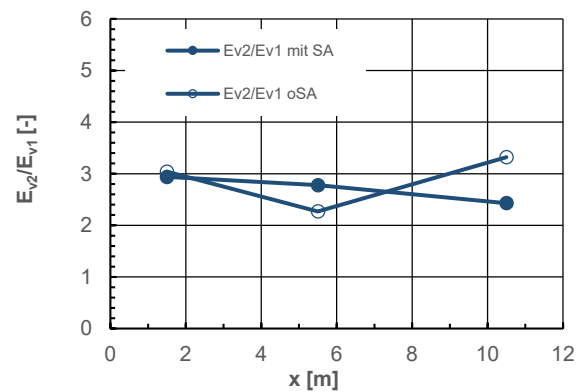


Bild 91: E_{v2} / E_{v1} - Feld 2

In [Bild 92](#) werden die mit dem dynamischen Plattendruckversuch ermittelten E_{vd} - Werte vergleichend dargestellt. Es ist auch hier zu erkennen, dass die oberflächliche Störung und Herstellung einer Sandausgleichsschicht (SA) einen systematischen Einfluss auf die erreichten Verformungsmoduln hat. Das Verfahren mit Sandausgleichsschicht liefert im Vergleich zur Versuchsdurchführung auf der ungestörten Oberfläche niedrigere Steifigkeiten.

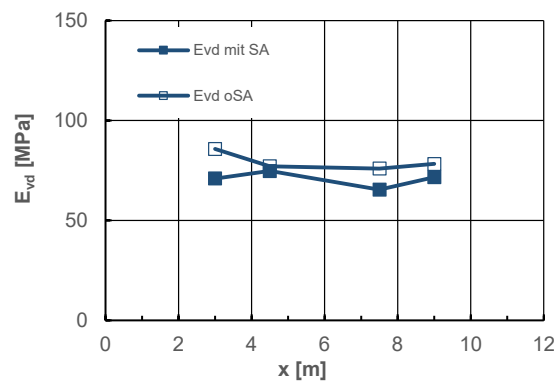


Bild 92: Verformungsmodul E_{vd} - Feld 2

7.4 Interpretation und Diskussion

7.4.1 Allgemeines

Die durchgeführten Untersuchungen dienen zur Beantwortung der unter Pkt. 2.1 formulierten Forschungsfrage E).

E) Wie kann die Tragfähigkeit von Banketten im Feld experimentell bestimmt werden? Welchen Einfluss hat die Querneigung des Banketts (6 % bzw. 12 %) auf die Durchführung und die Ergebnisse von statischen und dynamischen Plattendruckversuchen?

7.4.2 Interpretation und Diskussion

Die Untersuchungen zeigen für die verschiedenen Möglichkeiten des Nachweises des Verformungsmoduls mittels Plattendruckversuchen auf geneigten Oberflächen qualitativ die zu erwartenden Einflüsse auf die

Versuchsergebnisse auf. Darauf aufbauend kann Forschungsfrage E) beantwortet werden: Die Bestimmung des Verformungsmoduls auf geneigten Oberflächen ist mit unterschiedlichen Verfahren möglich. Dafür können die Versuche a) auf der geneigten ungestörten Oberfläche, b) auf einem Sandkeil und c) auf ebener Oberfläche mithilfe einer Sandausgleichsschicht durchgeführt werden. Je nach gewählter Versuchsdurchführung ergeben sich unterschiedliche Einflüsse auf die Versuchsergebnisse:

a) Versuche auf geneigten, ungestörten Oberflächen

Für die Durchführung von statischen Plattendruckversuchen ist bei der Versuchsdurchführung die Lastrichtung der Neigung des Bankettes anzupassen (Bild 93). Zu dem Verfahren wurden keine Untersuchungen durchgeführt, da davon ausgegangen werden kann, dass das Verfahren für praktische Belange als äquivalent zur Durchführung auf einer horizontalen Fläche angesehen werden kann, da wie beim Versuch auf horizontaler Fläche über die Lastplatte im Wesentlichen nur Normalspannungen auf den Untergrund aufgebracht werden. Theoretisch ergeben sich bei der Versuchsdurchführung auf geneigter Oberfläche Einflüsse auf das Versuchsergebnis aus der nicht konstanten Schichtdicke der geprüften Schicht und aus der zur Lastrichtung geneigten Erdbeschleunigung (Neigung des Gradienten der Eigengewichtsspannungen zur Lastrichtung). Der Einfluss aus der Schichtdicke kann aufgrund der vergleichsweise geringen Lastneigung vernachlässigt werden, der Einfluss der auf die Lastplatte wirkenden Erdbeschleunigung ist unter Beachtung der im Versuch auf die Lastplatte aufgetragenen Normalspannungen nicht relevant.

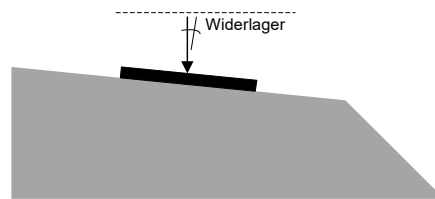


Bild 93: Schemaskizze zur Durchführung des statischen Lastplattendruckversuchs auf geneigter Oberfläche mit angepasster Lastrichtung

Die Durchführung der dynamischen Plattendruckversuche auf der ungestörten, geneigten Oberfläche (Bild 94) führt vor allem bei Neigungen von mehr als 6 % zu Problemen bei der Versuchsdurchführung: Die vertikale Ausrichtung der Führungsstange für das Fallgewicht ist bei Neigungen $> 6\%$ nicht mehr möglich und ein freies Fallen des Fallgewichtes ist dadurch behindert (es gleitet an der Führungsstange entlang). Der standardisierte Kraftimpuls wird aus diesem Grund wohl nicht erreicht. Gleichzeitig gleitet die Lastplatte durch den Aufprall des Fallgewichtes auf der zu prüfenden Oberfläche ab. Die quantitativen Unterschiede in den gemessenen Werten bei der Messung auf der 6 % und 12 % geneigten Oberfläche sind im vorliegenden Fall (siehe Bild 86), und vor allem im Vergleich zu den alternativen Verfahren, zwar nicht besonders groß, allerdings sollten aufgrund der nichtkontrollierten Versuchsbedingungen die Untersuchungen auf das in TP BF-StB Teil B 8.3 vorgesehene Maß (max. 6 % Neigung) beschränkt bleiben.

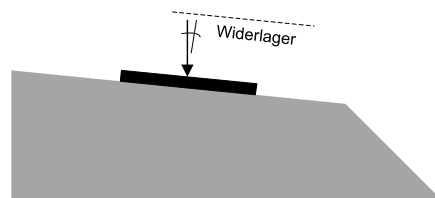


Bild 94: Schemaskizze zu den dynamischen Plattendruckversuchen auf geneigter, ungestörter Oberfläche

b) Versuche auf geneigten, ungestörten Oberflächen mit Sandkeil

Die Versuchsdurchführung auf einem Sandkeil (Bild 95) ist für die statischen und dynamischen Plattendruckversuche grundsätzlich sehr interessant, da schnell und unkompliziert herstellbar. Gleichzeitig verbleiben keine Schäden an der fertigen Bankettoberfläche, wie sie durch Abgrabungen zur Herstellung einer horizontalen Prüfoberfläche bedingt wären. Die Auswertungen in Bild 83 und Bild 86 weisen darauf hin, dass die Stärke des Sandkeils (also die Neigung der geprüften Oberfläche) einen Einfluss auf die E_{V1} oder E_{V2} – Werte bzw. E_{Vd} – Werte nimmt, und zwar in Form kleiner Werte bei größerer Neigung (aus Sicht des nachzuweisenden Verformungsmoduls auf der sicheren Seite liegend).

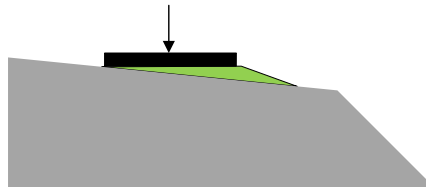


Bild 95: Schemaskizze zur Durchführung des Lastplattendruckversuchs auf geneigter Oberfläche mit Sandkeil

Es ist zu erwarten, dass sich der Sandkeil in Abhängigkeit der Steifigkeit der zu prüfenden Schicht und der Steifigkeit des Sandkeils grundsätzlich folgendermaßen auswirken kann:

- Messung von zu großen E_{V1} oder E_{V2} – Werten bzw. E_{Vd} – Werten: Wenn die Steifigkeit des Sandkeils größer ist als die Steifigkeit der zu prüfenden Schicht.
- Messung von zu kleinen E_{V1} oder E_{V2} – Werten bzw. E_{Vd} – Werten: Wenn die Steifigkeit des Sandkeils kleiner ist als die Steifigkeit der zu prüfenden Schicht.

Basierend auf dem Konzept nach Ohde und den empirischen Parametern nach Von SOOS & ENGEL (2017) lassen sich für die Bodengruppen GU (typischer Bankettbaustoff) und SE (typischer Sand für die Ausgleichsschicht unter der Lastplatte) für jeweils die Erstbelastung die Steifigkeit für den im Plattendruckversuch relevanten Spannungsbereich berechnen (die Umrechnung von oedometrischer Steifigkeit in einen Plattendruckmodul ist im Rahmen der Elastizitätstheorie in Abhängigkeit von der Poissonzahl in DYSLI et al., 2013 beschrieben). Siehe hierzu Bild 96. Nimmt man nun an, dass sich die Verhältnisse beim Wiederbelastungsmodul (E_{V2}) – Modul zumindest qualitativ ähnlich darstellen, so kann davon ausgegangen werden, dass bei der Prüfung von Bankettmaterialien aus Material der Bodengruppe GU und bei Anwendung eines Sandkeils aus Material der Bodengruppe SE in der Regel kleinere Tragfähigkeiten gemessen werden, als tatsächlich vorhanden sind (siehe oben: die Steifigkeit des Sandkeils ist kleiner als die Steifigkeit der zu prüfenden Schicht). Unter diesen Voraussetzungen ist davon auszugehen, dass die Prüfung unter Verwendung eines Sandkeils im Sinne des Tragfähigkeitsnachweises konservative Werte (sprichwörtlich: „auf der sicheren Seite“) liefert.

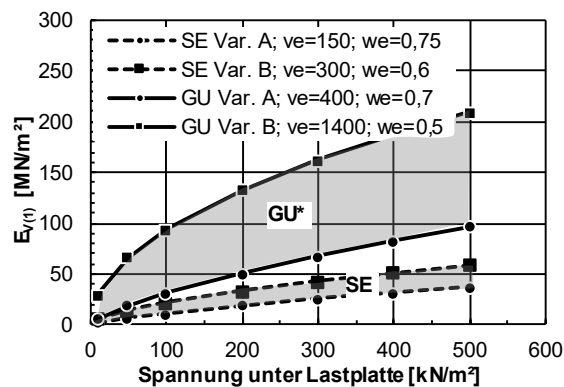


Bild 96: Steifigkeiten erstbelasteter (!) Böden nach von SOOS & ENGEL (2017) und Umrechnung in Plattendruckmodule $E_{v(1)}$ nach DYSLI et al. (2013)³⁷

c) Versuche auf ebener Oberfläche mithilfe einer Sandausgleichsschicht

Die Herstellung einer ebenen Prüfoberfläche (Bild 97) wäre die regelwerkskonforme Lösung zur Prüfung der Bankette. Allerdings ist bei den gemischtkörnigen Böden der Bodengruppe GU davon auszugehen, dass die verdichtete Schicht durch eine Abgrabung zumindestens oberflächlich in unbestimmtem Maße gestört wird. Außerdem müssen die durch die Aufgrabung entstandenen, oberflächlichen Unebenheiten vor der Prüfung mit dem Plattendruckversuch noch mit einer Sandschicht ausgeglichen werden. Die Stärke dieser notwendigen Sandschicht orientiert sich an der Dimension der Unebenheiten und kann bei Körnungen der Gruppe 0/32 mm, wie für Bankette vorgesehen, mehrere Zentimeter ausmachen. Dementsprechend zeigen auch die Vergleichsversuche in Feld 2 (Bild 90, Bild 92) diesen negativen Einfluss auf die Versuchswerte. Aus den Ergebnissen von Feld 1 (Bild 83, Bild 86) lässt sich ableiten, dass dieses Verfahren wohl ähnliche Werte liefert wie das Verfahren mit Herstellung eines Sandkeils auf 12 % geneigter Prüfoberfläche. Ein Vorteil des Verfahrens mit Abgrabung gegenüber dem Verfahren mit Herstellung eines Sandkeils ist also nicht nur aus Sicht der einfachen, zerstörungsfreien Durchführung der Plattendruckversuche, sondern auf Basis der vorliegenden Daten auch in Bezug auf die Versuchsergebnisse nicht eindeutig erkennbar.

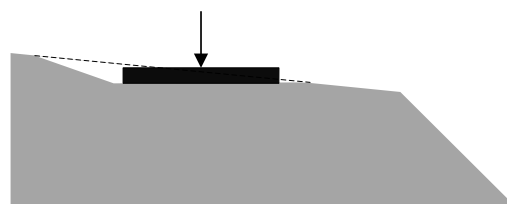


Bild 97: Schemaskizze zur Durchführung des Lastplattendruckversuchs auf einer vorbereiteten, ebenen Oberfläche mit Sandausgleichsschicht (SA)

7.5 Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen erlauben die Beantwortung der unter Pkt. 2.1 formulierten Forschungsfrage F).

³⁷ Für die Umrechnung wurde die Poissonzahl nach Kany berechnet (GU* - typ. $\varphi' = 35^\circ$; $\nu = 0,3$; SE - typ. $\varphi' = 32^\circ$; $\nu = 0,32$).

F) Wie kann die Tragfähigkeit von Banketten im Feld experimentell bestimmt werden? Welchen Einfluss hat die Querneigung des Banketts (6 % bzw. 12 %) auf die Durchführung und die Ergebnisse von statischen und dynamischen Plattendruckversuchen?

Die Bestimmung des Verformungsmoduls auf geneigten Oberflächen ist grundsätzlich mit unterschiedlichen Verfahren möglich. Dafür können die Versuche a) auf der geneigten, ungestörten Oberfläche, b) auf einem Sandkeil und c) auf ebener Oberfläche mithilfe einer Sandausgleichsschicht durchgeführt werden. Aus technischer Sicht liefert a) uneingeschränkt gültige Werte für die Verformungsmoduln (kann aber bei dynamischen Plattendruckversuchen nur bis max. 6 % Neigung angewendet werden) und b) und c) liefern bei der Untersuchung von Bankettmaterialien nach den ZTV E-StB 17 zu niedrige Werte im Vergleich zu den tatsächlichen Steifigkeiten. Einschränkungen ergeben sich für die Verfahren a) und c) aus der potentiell aufwändigen Durchführung (Anpassung Lastwiederlager für den statischen Plattendruckversuch und Abgrabung für den dynamischen Plattendruckversuch) und im Fall von c) aus der punktuellen Zerstörung der Bankettoberfläche durch die Abgrabung.

8 Folgerungen aus den Ergebnissen und Empfehlungen

8.1 Folgerungen aus den Ergebnissen der Untersuchungen

8.2 Labor- und Feldversuche zur dauerhaften Tragfähigkeit

Die Laboruntersuchungen zur dauerhaften Tragfähigkeit (Nass-Trocken-Wechsel und Frost-Tau-Wechsel) und Durchlässigkeit von sandreichen Bankettbaustoffen nach ZTV E-StB 17 haben die im Regelwerk definierten Anforderungen an Baustoffe und den Verdichtungsgrad vollinhaltlich bestätigt. Aus derzeitiger Sicht sind keine zusätzlichen Anforderungen erforderlich. In Bild 98 sind die im Rahmen von FE 05.0177/2012/MRB (KOUKOULIDOU et al., 2017) und jene im Rahmen dieser Forschung untersuchten Materialien, sowie die vorgegebenen Grenzen für Baustoffgemische für Deckschichten 0/32 (BG 0/32 für DS) nach TL SoB-StB 07 dargestellt. In Anlehnung an die Vorgaben von Hessen Mobil (KUHL, 2014; siehe Pkt. 3.2.4) und in Übereinstimmung mit den Vorgaben der ZTV E-StB 17 ist in Bild 98 außerdem ein Vorschlag für die obere Grenze des Sieblinienbandes für Bankettbaustoffe enthalten. Es wird außerdem in Übereinstimmung mit den Angaben von Hessen Mobil (KUHL, 2014) vorgeschlagen, die untere Grenze nach TL SoB-StB 07 ungeändert zu übernehmen.

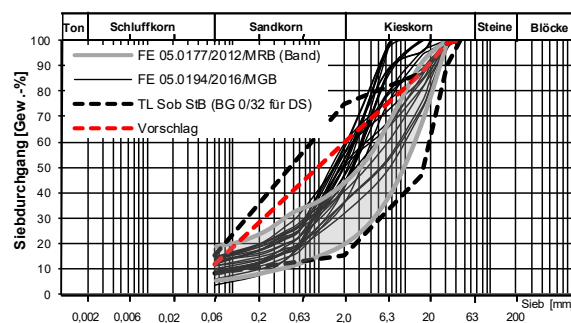


Bild 98: Untersuchte Materialien im Vergleich zu den Vorgaben der TL SoB-StB 07 für Baustoffgemische 0/32 für Deckschichten

Die Felduntersuchungen zur dauerhaften Tragfähigkeit von Bankettbaustoffen nach den ZTV E-StB 17 haben bestätigt, dass der im Regelwerk formulierte Anforderungswert von $E_{V2} \geq 80$ MPa eingehalten werden kann. Allerdings weisen die Ergebnisse auch darauf hin, dass der Anforderungswert $E_{Vd} \geq 40$ MPa überprüft werden sollte (für Böden und Baustoffe der Bodengruppe GU/GT ist der verwendete Verhältnisswert $E_{V2}/E_{Vd} \approx 2$ fraglich, bzw. weisen die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen auf höhere Verhältnisswerte und Unterschiede zwischen natürlichen und rezyklierten Materialien hin). Es sollte auch geprüft werden, ob gesonderte Regelungen für Bankette geringer Stärke³⁸ und bei Tragfähigkeiten des Planums an der Untergrenze der zulässigen Werte³⁹ sinnvoll sind, da in solchen Fällen die Steifigkeit des unterliegenden Materials die versuchstechnisch ermittelbare Steifigkeit an der Bankettoberfläche maßgeblich beeinflusst. Solche Regelungen könnten Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes umfassen. Im Übrigen wurde in den Felduntersuchungen festgestellt, dass die direkt an die Verdichtung anschließend ermittelten Verformungsmoduln E_{V2} und E_{Vd} bei den verwendeten Bankettmaterialien dauerhaft erhalten blieben, bei rezyklierten Materialien aus Bauschutt sogar anstiegen und witterungsbedingte Auflockerungen nur oberflächlich auftraten. Solche Auflockerungen können grundsätzlich durch Dichteuntersuchungen nachgewiesen werden und schlagen sich außerdem im E_{V1} - Wert nieder. Die Auflockerungen sind für die Beurteilung einer Spurrillenbildung aufgrund des Abkommens eines Fahrzeugs von der Fahrbahn wohl von Relevanz. Sollten langfristig zu erreichende Tragfähigkeiten/Verformungsmoduln festgelegt werden, sollte die Verwendung des Erstbelastungsmoduls (E_{V1}) geprüft werden.

8.3 Feldversuche zum Nachweis der Tragfähigkeit im Feld

Zur Fragestellung der Bestimmung des Verformungsmoduls auf den planmäßig geneigten Bankettoberflächen wurden ebenfalls Untersuchungen im Feld durchgeführt. Die Beurteilung der Untersuchungsergebnisse bezüglich der Durchführung von statischen Plattendruckversuchen erfolgt zusammenfassend in Tab. 26 und die Beurteilung der Untersuchungsergebnisse bezüglich der Durchführung von dynamischen Plattendruckversuchen in Tab. 27.

Statischer Plattendruckversuch	Neigung 6 %		Neigung 12 %	
	aus techn. Sicht	Einschränkungen?	aus techn. Sicht	Einschränkungen?
a) Durchführung auf geneigter Oberfläche mit Anpassung des Lastwiderlagers (Lasteinleitung normal zur Oberfläche)	●	□	●	□
b) Durchführung auf horizontaler Oberfläche nach Herstellung eines Sandkeils (SK) (Lasteinleitung in vertikaler Richtung)	○	■	○	■
c) Durchführung auf horizontaler Oberfläche nach oberflächlicher Abgrabung und Herstellung einer Sandausgleichsschicht (SA) (Lasteinleitung in vertikaler Richtung)	○	□	○	□
Anmerkungen: ● aus technischer Sicht <u>uneingeschränkt möglich</u> ○ aus technischer Sicht <u>möglich</u> (unter Inkaufnahme von Werten, die bei Bankettbaustoffen nach ZTV E-StB 17 voraussichtlich unter den tatsächlichen Werten liegen) X aus technischer Sicht <u>nicht möglich</u> ■ Versuch ohne erhöhten Aufwand durchführbar □ Versuch unter Umständen kompliziert / erhöhter Aufwand / ggf. Zerstörung der geprüften Oberfläche				

Tab. 26: Beurteilung der Verfahren zur Bestimmung des Verformungsmoduls mit dem statischen Plattendruckgerät (E_{V2}) auf geneigten Oberflächen

³⁸ Die Höhe des Bankettes orientiert sich an der Höhe des Straßenoberbaus. Nach RStO (2012) ist in den Belastungsklassen Bk 3,2, 1,8, 1,0 und 0,3 eine Dicke des frostsicheren Oberbaus von 45 bis 35 cm unter Umständen möglich.

³⁹ Gemäß den Vorgaben der ZTV E-StB hat das Planum, auf dem der frostsichere Oberbau nach RStO (2012) aufgebaut wird, mindestens ein Verformungsmodul $E_{V2} \geq 45$ MPa aufzuweisen.

Dynamischer Plattendruckversuch	Neigung 6 %		Neigung 12 %	
	aus techn. Sicht	Einschränkungen?	aus techn. Sicht	Einschränkungen?
a) Durchführung auf geneigter Oberfläche mit Anpassung des Lastwiderlagers (Lasteinleitung in vertikaler Richtung)	●	■	n.A.	
b) Durchführung auf horizontaler Oberfläche nach Herstellung eines Sandkeils (SK) (Lasteinleitung in vertikaler Richtung)	○	■	○	■
c) Durchführung auf horizontaler Oberfläche nach oberflächlicher Abgrabung und Herstellung einer Sandausgleichsschicht (SA) (Lasteinleitung in vertikaler Richtung)	○	□	○	□
Anmerkungen: <ul style="list-style-type: none"> ● aus technischer Sicht <u>uneingeschränkt möglich</u> ○ aus technischer Sicht <u>möglich</u> (unter Inkaufnahme von Werten, die bei Bankettbaustoffen nach ZTV E-StB 17 voraussichtlich unter den tatsächlichen Werten liegen) X aus technischer Sicht <u>nicht möglich</u> ■ Versuch ohne erhöhten Aufwand durchführbar □ Versuch unter Umständen kompliziert / erhöhter Aufwand / ggf. Zerstörung der geprüften Oberfläche n.A....nicht Anwendbar 				

Tab. 27: Beurteilung der Verfahren zur Bestimmung des Verformungsmoduls mit dem dynamischen Plattendruckgerät (E_{vd}) auf geneigten Oberflächen

8.4 Empfehlungen

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse und der unter Pkt. 8.1 dargestellten Folgerungen können folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Es besteht kein Anlass zu Änderungen oder Ergänzungen im straßenbautechnischen Regelwerk (ZTV E-StB 17) bezüglich Material und Verdichtungsgrad für Bankette. Die Vorgaben wurden uneingeschränkt bestätigt.
- Es besteht kein Anlass zu Änderungen im straßenbautechnischen Regelwerk (ZTV E-StB 17) bezüglich der Vorgaben zum Verformungsmodul $E_{v2} \geq 80$ MPa direkt nach Verdichtung. Als Ergänzung könnten Vorgaben für Bankette geringer Stärke und bei Tragfähigkeiten des Planums an der Untergrenze der zulässigen Werte sinnvoll sein, da in solchen Fällen die Steifigkeit des unterliegenden Materials die versuchstechnisch ermittelbare Steifigkeit an der Bankettoberfläche beeinflusst. Solche Regelungen könnten Maßnahmen zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes umfassen.
- Es besteht unter Umständen Änderungsbedarf im straßenbautechnischen Regelwerk (ZTV E-StB 17) bezüglich der Vorgaben zum Verformungsmodul $E_{vd} \geq 40$ MPa. Da der üblicherweise verwendete Verhältnisswert von $E_{v2}/E_{vd} \approx 2$ für Böden der Bodengruppen GU/GT auf Basis der eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden konnte, würde diese Vorgabe eine Benachteiligung bei der Verwendung des dynamischen Plattendruckversuchs zum Nachweis der Tragfähigkeit von Banketten bedeuten.
- In den Untersuchungen wurde gezeigt, dass die direkt nach Verdichtung dokumentierten Verformungsmoduln E_{v2} auch bei Bewitterung erhalten blieben (oder anstiegen). Dabei sind oberflächliche Auflockerungen aufgrund von Bewitterung durchaus wahrscheinlich und spiegeln sich vor allem im E_{v1} – Wert wieder. Diese Auflockerungen sind für die Beurteilung einer Spurrillenbildung aufgrund des Abkommens eines Fahrzeugs von der Fahrbahn wohl von Relevanz.
- Bezüglich des Nachweises des geforderten Plattendruckmoduls auf den geneigten Bankettoberflächen kann Folgendes empfohlen werden: Die Prüfung auf der geneigten Oberfläche ist vorzuziehen. Dies ist beim dynamischen Plattendruckversuch nur bis zu einer Neigung von 6 % und beim statischen Plattendruckversuch nur bei Anpassung des Lastwiderlagers an die Bankettneigung möglich. Die beiden Ersatzverfahren, die Herstellung einer ebenen Prüfoberfläche durch Aufbringung eines Sandkeils bzw. durch Abgrabung und Aufbringung einer Sandausgleichsschicht, sind nur unter bestimmten Bedingungen sinnvoll (die erreichbaren Werte liegen im Allgemeinen unter den tatsächlichen). Von den beiden Verfahren ist aus derzeitiger Sicht wohl das erste (Sandkeil) insgesamt mit weniger Nachteilen verbunden.

9 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse umfangreicher Labor- und Feldversuche zum kurz- und langfristigen erdbautechnischen Verhalten von Bankettmaterialien nach den ZTV E-StB 17 zusammengefasst. Im Rahmen von Laborversuchen wurden typische Bankettmaterialien der Bodengruppen GU und GT (Feinkornanteile vorrangig 8 bis 12 M.-%) in Bezug auf ihre Verdichtungseigenschaften, ihre Tragfähigkeit (CBR) und ihre Durchlässigkeit im Verdichtungsoptimum untersucht. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf sandreiche Mischungen gelegt. Im Anschluss wurde die Tragfähigkeit (CBR) von verdichteten Proben (optimaler Wassergehalt) nach mehreren Nass-Trocken-Wechseln (bzw. Nasslagerung) und Frost-Tau-Wechseln bestimmt. Die Untersuchungen ergaben, dass die in den ZTV E-StB 17 geforderte schwache Durchlässigkeit von Bankettbaustoffen bei den angegebenen Feinkornanteilen, je nach tatsächlicher Zusammensetzung der Bankettbaustoffe, grundsätzlich eingehalten werden kann. Des Weiteren wurde gezeigt, dass in der geforderten Materialzusammensetzung (Materialien der Bodengruppen GU oder GT, mit 8 bis 12 M.-% Feinkornanteil) kein ausgeprägter Zusammenhang zwischen der Bodengruppe bzw. dem Feinkornanteil oder dem Sandanteil eines Bankettbaustoffes und der Durchlässigkeit, aber auch der dauerhaften Tragfähigkeit (CBR) besteht. In Bezug auf die Vorgaben zur Zusammensetzung von Bankettbaustoffen wurden die Vorgaben des geltenden Regelwerks damit bestätigt. Aus derzeitiger Sicht sind keine Änderungen oder Ergänzungen erforderlich.

In einem Feldversuch wurden 4 Bankettmaterialien die den Vorgaben der ZTV E-StB 17 entsprechen über den Winter 2017/2018 versuchstechnisch begleitet. Während dieses Zeitraums erfolgte zu vier Zeitpunkten die Beprobung der Felder in Form von Dichtebestimmungen, statischen und dynamischen Plattendruckversuchen und statischen sowie dynamischen CBR-Versuchen. Die Ergebnisse zeigen zusammenfassend, dass bei den untersuchten Materialien der bei Verdichtung erreichte E_{V2} – Wert auch langfristig gehalten werden kann. Bei Bankettbaustoffen aus rezykliertem Bauschutt konnten sogar deutliche Steifigkeitszuwächse dokumentiert werden. Witterungsbedingte Auflockerungen wurden nur in den obersten Bereichen der verdichteten Bankettmaterialien dokumentiert, schlagen sich vor allem in den E_{V1} – Werten nieder und sind für die Beurteilung einer Spurrillenbildung aufgrund von der Fahrbahn abkommender Fahrzeuge wohl von Relevanz. Die Ergebnisse weisen auch darauf hin, dass der Nachweis des Verformungsmoduls $E_{V2} \geq 80$ MPa bei kleiner Bankettstärke und Tragfähigkeiten des Planums an der Untergrenze der zulässigen Werte zu Problemen führen könnte. Die Ergebnisse lassen weiterhin vermuten, dass das Nachweisformat für den Verdichtungsgrad mit dem dynamischen Plattendruckversuch bei den bestehenden Vorgabewerten ($E_{Vd} \geq 40$ MPa) schlechter gestellt ist als das Nachweisformat mit dem statischen Plattendruckversuch ($E_{V2} \geq 80$ MPa), da in Bezug auf die vorliegenden Versuchsergebnisse wohl davon ausgegangen werden muss, dass der Verhältniswert E_{V2}/E_{Vd} für Böden der Bodengruppen GU/GT größer als 2 ist.

In Bezug auf die durch die planmäßige Neigung von Straßenbanketten bedingten Schwierigkeiten beim Nachweis der Verdichtung und Tragfähigkeit im Feld wurden im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik der TUM statische und dynamische Plattendruckversuche an unterschiedlich stark geneigten Banketten durchgeführt. Auf Basis der Versuchsergebnisse wurden Empfehlungen für die praktische Durchführung entwickelt. Demnach ist die Prüfung der geneigten Oberfläche vorzuziehen, was im Rahmen der Regelwerke beim dynamischen Plattendruckversuch nur bis zu einer Neigung von 6 % und beim statischen Plattendruckversuch nur bei Anpassung des Lastwiderlagers an die Bankettneigung möglich ist. Die beiden pragmatischen Ersatzverfahren, die Herstellung einer ebenen Prüfoberfläche durch Aufbringung eines Sandkeils bzw. durch Abgrabung und Aufbringung einer Sandausgleichsschicht, sind nur unter bestimmten Bedingungen sinnvoll, da die erreichbaren Werte im Allgemeinen unter den tatsächlichen liegen, wobei das Verfahren mit dem Sandkeil mit weniger Nachteilen verbunden ist.

Referenzen

Literatur

- Arm M (2001):** Self-cementing properties of crushed demolished concrete in unbound layers: results from triaxial tests and field tests. In: Waste Management 21 (3): 235-239.
- Arulrajah A, Piratheepan J, Aatheesan T., Bo MW (2011):** Geotechnical Properties of Recycled Crushed Brick in Pavement Applications. Journal of Materials in Civil Engineering 23(10), pp. 1444-1451.
- Arulrajah A, Piratheepan J, Ali MMY., Bo MW (2012a):** Geotechnical Properties of Recycled Concrete Aggregate in Pavement Sub-Base Applications. Geotechnical Testing Journal 35(5), pp. 743-751.
- Arulrajah A, Piratheepan J, Bo MW, Sivakugan N (2012b):** Geotechnical characteristics of recycled crushed brick blends for pavement sub-base applications. Canadian Geotechnical Journal 49(7): pp. 796-811.
- Blight GE (2013):** Unsaturated Soil Mechanics in Geotechnical Practice. London: Taylor & Francis Group.
- Cardoso R, Silva RV, de Brito J, Dhir R (2016)** Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. Waste Management 49: pp. 131–145.
- Del Rey I, Ayuso J, Galvín AP, Jiménez JR, Barbudo A (2016):** Feasibility of Using Unbound Mixed Recycled Aggregates from CDW over Expansive Clay Subgrade in Unpaved Rural Roads. Materials 9 (11): 931ff.
- Dysli M, Steiner W, Fontana A (2013):** Correlations in Soil Mechanics. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR).
- Floss R (1971):** Über den Zusammenhang zwischen der Verdichtung und dem Verformungsmodul von Böden. Straße und Autobahn 22(10): 433-439.
- Floss R (1973):** Bodenmechanische Gesichtspunkte bei der Auswahl und Dimensionierung von Straßenbefestigungen. Straße und Autobahn 24(1): 17-26.
- Floss R (1997):** Kommentar mit Kompendium Erd- und Felsbau zur ZTV E-StB 94. Bonn: Kirschbaum Verlag.
- Garach L, López M, Agrela F, Ordóñez J, Alegre J, Moya JA (2015):** Improvement of bearing capacity in recycled aggregates suitable for use as unbound road sub-base. Materials 8(12), pp. 8804-8816

- Gómez AMJ, Farias MM, Cordão-Neto MP, Souza MVR, Otálvaro IF (2013)** Water retention properties of a demolition waste. In: *Advances in Unsaturated Soils* (Caicedo B, Murillo C, Hoyos L, Colmenares JE and Berdugo IR (eds.)) Boca Raton, FL, USA: CRC Press, pp 237–241.
- Grégoire C, Correia AG, De Bel R, Dethy B (2011)**: Mechanical Behavior of Natural and Recycled Granular Materials for Roads, *Journal of Testing and Evaluation* 39(5), pp. 792-802.
- Grégoire C, Dethy B, Theys F, Correia AG (2015)**: Assessment of the mechanical performance of recycled unbound materials for pavement subbase layers. In *Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development: Conference Proceedings of the XVI ECSMGE*, Edinburgh, UK (Winter MG, Smith DM, Eldred PJL and Toll DG (eds)). London, UK: Thomas Telford, pp. 271–276.
- Henzinger C, Barka E, Birle E, Heyer D (2015)**: Belastbarkeit von eingeführten Volumen-Prozent- oder Massen-Prozentgrenzen bei Böden und Baustoffen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 1134. Bremen: Fachverlag NW in der Karl Ed. Schünemann KG.
- Henzinger C, Koukoulidou A, Huber S, Kupka A, Schönfelder I, Wolter S, Vogt S, Birle E, Papakyriakopoulos O, Bagherpour I, Heyer D (2016)**: Ressourcenschonung – Bedingungen für die Verwendung organogener und weicher Böden sowie von Sekundärbaustoffen als Massenbaustoffe im Erdbau. Forschungsbericht zu FE 05.0166/2011/ERB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. Derzeit unveröffentlicht.
- Holtz RD, Kovacs WD, Sheahan TC (2011)**: *An Introduction To Geotechnical Engineering*. London: Pearson Education.
- Huber J, Becker A, Lothschütz S (2009)**: CBR-Versuche an Recycling-Baustoffen. *Straße und Autobahn* 11(2009), S.735-739.
- Iwata S, Tabuchi T, Warkentin BP (1988)**: *Soil-Water Interactions*. New York/Basel: Marcel Dekker, Inc.
- Jumikis AR (1966)**: *Thermal Soil Mechanics*. New Brunswick/New Jersey: Rutgers University Press.
- Kellner, C (2008)**: Frosthebungsverhalten von Böden infolge tiefliegender Vereisungskörper. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München. Online abrufbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/633018/633018.pdf>
- Klepsch S (2014)**: Anwendung unterschiedlicher Prüfverfahren für die Bestimmung des Verdichtungsgrades und der Tragfähigkeit von Bankettmaterialien im Langzeit-Feldversuch. Masterarbeit am Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der TU München, unveröffentlicht.
- Knaupe, W (1974)**: *Erdbau*. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen.
- Koukoulidou A, Birle E, Heyer D (2017)**: Baustoffe für standfeste Bankette. Forschungsbericht zu FE 05.0177/2012/MRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau Heft S 107*. Online abrufbar unter: <https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/docId/1762>

- Kuhl O (2014):** Ausführung von Banketten nach ZTV E-StB, Umsetzung bei Hessen Mobil - Schulungsveranstaltung: Neuerungen und Fortschreibungen im technischen Regelwerk (Vortrag am 25. September 2014).
- Kutzner C (1996):** Erd- und Steinschüttdämme für Stauanlagen. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
- Krass K, Kollar J (2004):** Eignung von ziegelreichen Recycling-Baustoffen für Tragschichten ohne Bindemittel. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 884. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Bonn.
- Leite FC, Motta RS, Vasconcelos KL, Bernucci L (2011):** Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials* 25(6), pp. 2972-2979.
- Livneh M, Greenstein J (1979):** A Modified California Bearing Ratio Test for Granular Materials. *Geotechnical Testing Journal* 1(3), pp. 141-147.
- Lu N, Likos WJ (2004):** Unsaturated Soil Mechanics. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Miyazaki T (2006):** Water Flow in Soils. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Morgan JR (1972):** Laboratory Tests on fine crushed rock. In Sixth Australian Road Research Board (ARRB) Conference held at Canberra, Australia in 1972. Victoria: Australian Road Research Board.
- Oberhauser M (2018):** Verdichtungsverhalten und witterungsbedingte Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Bankettmaterialien. Masterarbeit am Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der TU München, unveröffentlicht.
- Poon C-S, Qiao XC, Chan D (2006):** The cause and influence of self-cementing properties of fine recycled concrete aggregates on the properties of unbound sub-base. *Waste Management* 26(10):1166-1172.
- Reed MA, Lovell CW, Altschaeffl AG, Wood LE (1979):** Frost-heaving rate predicted from pore-size distribution. *Canadian Geotechnical Journal* 16 (3): 463-472
- Riedelsheimer J (2016):** Vergleichsuntersuchungen zur Durchlässigkeit von rezykliertem Betonbruch bei unterschiedlichen Einbaubedingungen. Bachelorarbeit am Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau der TU München, unveröffentlicht.
- Schanz T (ohne Datum):** Grundlagen der Umweltgeotechnik – Asphaltabdichtung, Kapillarsperre. Präsentation zur Lehrveranstaltung. Ruhr Universität Bochum, Lehrstuhl für Grundbau, Boden- und Felsmechanik. Abrufbar unter <http://www.ruhr-uni-bochum.de/gbf/lehre/VorlesungAsphaltabdichtungKapillarsperrefolie.pdf>
- Shui Z, Xuan D, Wan H, Cao B (2008):** Rehydration reactivity of recycled mortar from concrete waste experienced to thermal treatment. *Construction and Building Materials* 22 (8): 1723-1729.
- Shukla SK, Sivakugan N (2011):** Site Investigation and In Situ Tests. In *Geotechnical Engineering Handbook* (Das BM ed.). Fort Lauderdale: J. Ross Publishing..

Striegler W (1998): Dammbau. Berlin: Verlag für Bauwesen.

Suda H, Sato K, Yoshida T (1971): The Relations between Field and Laboratory CBR-Values of Sandy Soils. Report of the Port and Harbour Research Institute 10(3) - Synopsis.

Taherkhani H (2015): Evaluation of the Physical Properties of Unbound Base Layer Containing Recycled Aggregates. International Journal of Environmental Science and Development 6(4), pp. 279-285.

U.S. Department of the Army (1984): Engineering and Design – Pavement Criteria for Seasonal Frost Conditions – Mobilization Construction, Engineer Manual EM 1110-3-138.

Vegas I, Ibañez JA, Lisbona A, Sáez de Cortazar A, Frías M (2011): Pre-normative research on the use of mixed recycled aggregates in unbound road sections. Construction and Building Materials 25(5), pp. 2674-2682.

von Soos P, Engel J (2017): Eigenschaften von Boden und Fels – ihre Ermittlung im Labor. In: Grundbau-Taschenbuch: Teil 1 – Geotechnische Grundlagen (Hrsg. Witt KJ). Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

Voß R, Floss R, Brüggemann K (1986): Die Bodenverdichtung im Verkehrswege-, Grund- und Dammbau. Düsseldorf: Werner Verlag.

Werkenthin, M, Wessolek, G, Kluge, B (2014): Untersuchungen zur Optimierung von Schadstoffrückhalt und Standfestigkeit von Banketten. Unveröffentlichter Forschungsbericht zu FE 05.160/2010/MGB, Technische Universität Berlin – FG Standortkunde Bodenschutz, Berlin.

White D, Mekkawy M, Jahren C, Smith, Suleiman M (2007): Effective Shoulder Design and Maintenance. Tech transfer summary for Report No. IHRB Project TR-531 on behalf of the Iowa Highway Research Board, Iowa Department of Transportation. Online abrufbar unter: https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=intrans_techtransfer

Yong RN, Warkentin BP (1975): Soil Properties and Behaviour. Amsterdam/New York: Elsevier Scientific Publishing Company.

Yuan H, Shen L (2011) Trend of the research on construction and demolition waste management. Waste Management 31(4): 30–33.

Nationale und Internationale Normen

ASTM D4429-09a – Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils in Place. ASTM International, Ausgabe 2009.

DIN 932-2 – Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 1999.

- DIN 1054** – Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 2010.
- DIN 18121-1** – Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Wassergehalt – Teil 1: Bestimmung durch Ofentrocknung. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 1998.
- DIN 18123** – Baugrund, Untersuchung von - Bestimmung der Korngrößenverteilung, Ausgabe 2011.
- DIN 18124** – Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korndichte - Kapillarpyknometer, Weithalspyknometer, Gaspyknometer, Ausgabe 2011.
- DIN 18125-2** – Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte des Bodens – Teil 2: Feldversuche. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 2011.
- DIN 18127** – Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Proctorversuch. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 2012.
- DIN 18130-1** – Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes – Teil 1: Laborversuche. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 1998.
- DIN 18134** – Baugrund - Versuche und Versuchsgeräte - Plattendruckversuch. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 2012.
- DIN 18196** – Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 2011.
- DIN EN 1097-6** – Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 2013.
- DIN EN 13286-47** – Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes. Deutsches Institut für Normung e.V., Ausgabe 2012.

Straßenbautechnisches Regelwerk (Deutschland und Österreich)

- Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes und Unterbaues im Straßenbau.** Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2003.
- RAL** – Richtlinien für die Anlage von Landstraßen. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2012.
- RAS-Ew** – Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Entwässerung (RAS-Ew). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2005.
- RStO 12** – Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2012.

STLK LB 112 – Standardleistungskatalog für den Straßen- und Brückenbau – Leistungsbereich 112: Schichten ohne Bindemittel. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2014.

TL Gestein-StB 04 – Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2004/Fassung 2007.

TL SoB-StB 04 – Technischen Lieferbedingungen für Baustoffgemische für Böden für die Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2004.

TP BF-StB Teil B 3.3 – Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Teil B 3.3: Bestimmung der Korndichte mit dem Luftpyknometer. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1988.

TP BF-StB Teil B 7.1 – Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2012.

TP BF-StB Teil B 8.3 – Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Teil B 8.3: Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgesetz. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2012.

TP BF-StB Teil B 11.1 – Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau, Teil B 11.1: Eignungsprüfungen für Bodenverfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2012.

TP Gestein-StB Teil 5.6 – Bestimmung der Festigkeit – Dynamischer CBR-Versuch. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2008.

ZTV E-StB 09 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2009.

ZTV E-StB 17 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2017.

ZTV SoB-StB 04 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2004.

Gesetze, Verordnungen und Länderspezifische Regelungen

Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg (2012): ME 1.2 Querschnittsgestaltung – Standfester Bankettstreifen. Merkblätter für die Straßenplanung (Straßenentwurf, Querschnittsgestaltung, Standfester Bankettstreifen), Fassung 06/2012.

Ministerium für Landesentwicklung und Verkehr (2014): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Straßenbauarbeiten für den Geschäftsbereich der Landesstraßenbaubehörde Sachsen-Anhalt (**ZTV-StB LSBB 13/14**). Abrufbar unter: <https://lsbb.sachsen-anhalt.de>, abgerufen am 28.9.2017.

Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg und Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (2014): Brandenburgische Technische Richtlinien für Recycling-Baustoffe im Straßenbau (**BTR RC-StB 14**). Abrufbar unter: <http://www.lsb.brandenburg.de>, abgerufen am 28.9.2017.

Ministry of Rural Development, Government of India (2007): Quality Assurance Handbook for Rural Roads, Volume-I: Quality Management System and Quality Control Requirements. National Rural Roads Development Agency.

Thüringer Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr (2010): Erlass zur Einführung von Richtlinien für Straßen im Geschäftsbereich des Thüringer Ministeriums für Bau, Landesentwicklung und Verkehr.

Internet

Agrarmeteorologie Bayern - Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Weblink: www.wetter-by.de.

Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2011): *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2008 - Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2008*. Weblink: <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-07.pdf>, abgerufen am 4.10.2017.

Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2013): *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2010 - Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2010*. Weblink: <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-08.pdf>, abgerufen am 4.10.2017.

Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2015): *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2012 - Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2012*. Weblink: <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-09.pdf>, abgerufen am 4.10.2017.

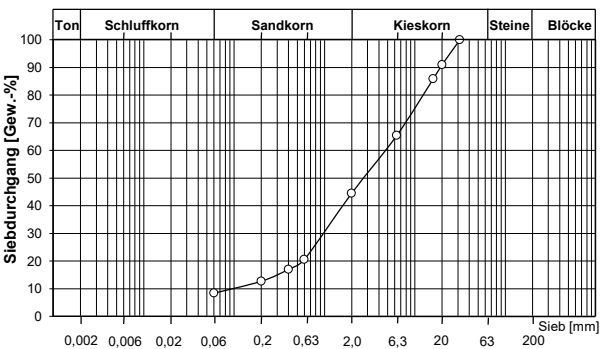
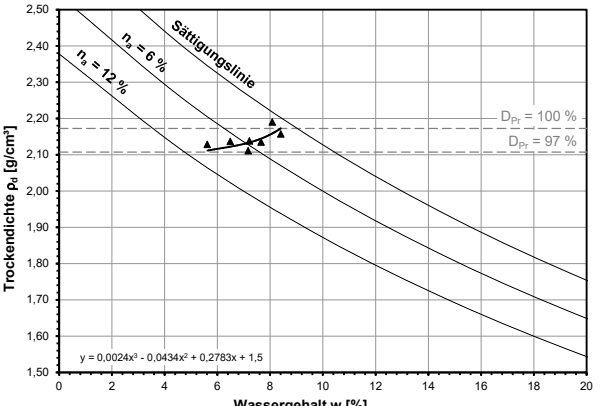
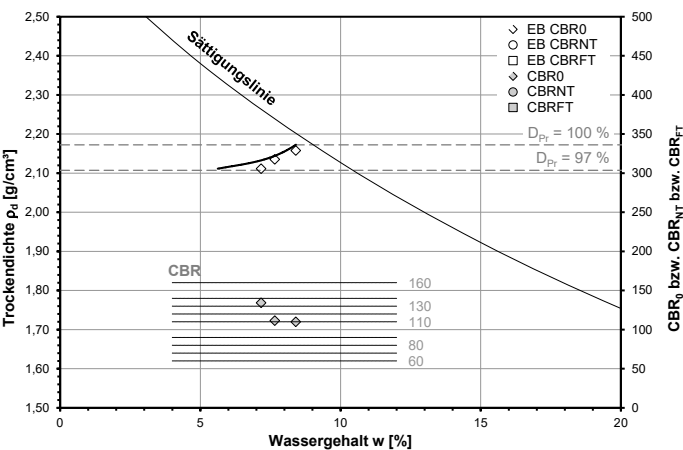
Kreislaufwirtschaft Bau c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V. (2017): *Mineralische Bauabfälle Monitoring 2014 - Bericht zum Aufkommen und Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2014*. Weblink: <http://www.kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-10.pdf>, abgerufen am 4.10.2017.

Anhang - Zusammenstellung der Einzelergebnisse

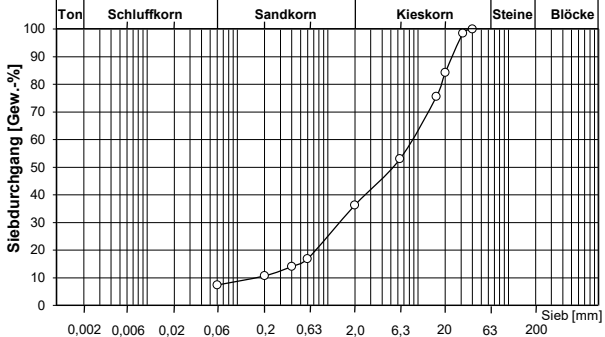
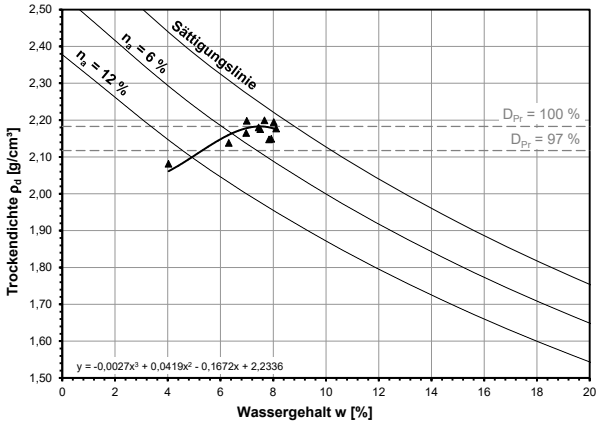
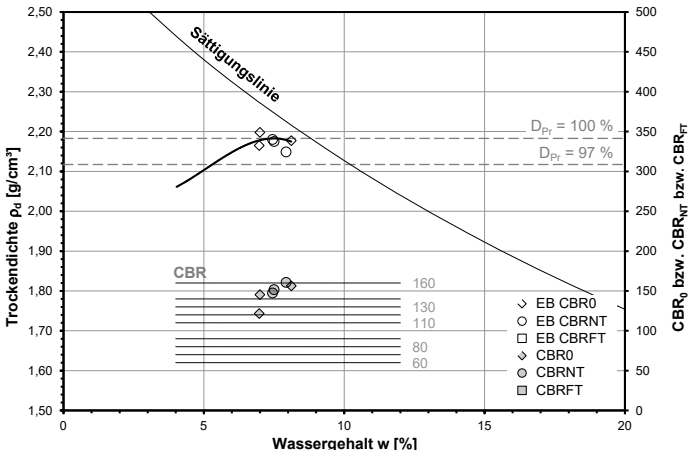
Kapitel: Laborversuche zu sandreichen Bankettbaustoffen

Mischungen Kalksteinbruch mit Schluff (Bk.Si)

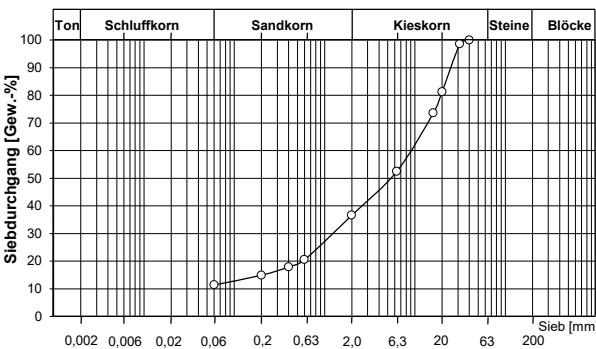
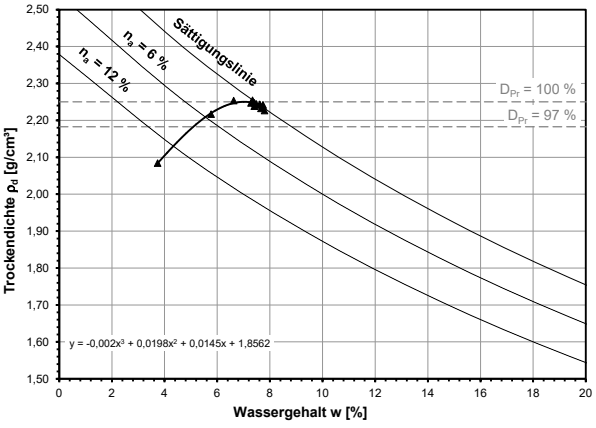
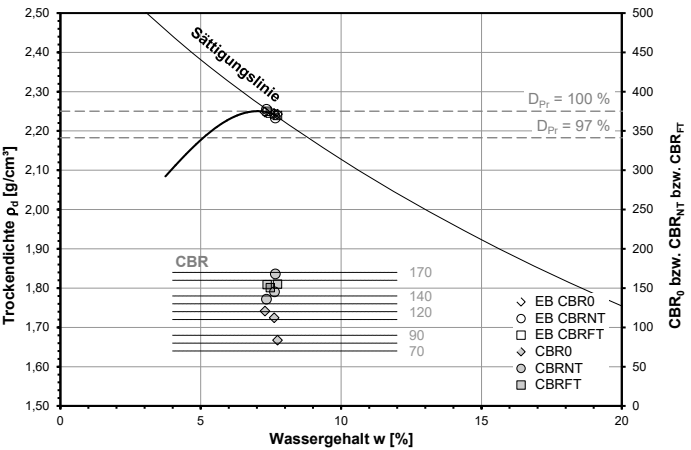
Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.08F.45<2, GK 32 mm (82863-2)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>8 %</td> <td>45 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	8 %	45 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
8 %	45 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,702 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 8,4 \%$ $\rho_d = 2,17 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,62</td><td>2,128</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>6,49</td><td>2,136</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>7,22</td><td>2,138</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>8,09</td><td>2,190</td></tr> <tr><td>5</td><td>CBR₀</td><td>8,41</td><td>2,157</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>7,66</td><td>2,135</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>7,17</td><td>2,111</td></tr> <tr><td>8</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>9</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>11</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>12</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>13</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>14</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>15</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,62	2,128	2	Proctor	6,49	2,136	3	Proctor	7,22	2,138	4	Proctor	8,09	2,190	5	CBR ₀	8,41	2,157	6	CBR ₀	7,66	2,135	7	CBR ₀	7,17	2,111	8	-	-	-	9	-	-	-	10	-	-	-	11	-	-	-	12	-	-	-	13	-	-	-	14	-	-	-	15	-	-	-																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,62	2,128																																																																														
2	Proctor	6,49	2,136																																																																														
3	Proctor	7,22	2,138																																																																														
4	Proctor	8,09	2,190																																																																														
5	CBR ₀	8,41	2,157																																																																														
6	CBR ₀	7,66	2,135																																																																														
7	CBR ₀	7,17	2,111																																																																														
8	-	-	-																																																																														
9	-	-	-																																																																														
10	-	-	-																																																																														
11	-	-	-																																																																														
12	-	-	-																																																																														
13	-	-	-																																																																														
14	-	-	-																																																																														
15	-	-	-																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>CBR₀</td><td>0,0</td><td>99,3</td><td>109,7</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,7</td><td>98,3</td><td>111,1</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-1,2</td><td>97,2</td><td>133,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>118,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>11,1</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{NT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{NT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{NT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>-</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{FT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{FT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{FT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>-</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	5	CBR ₀	0,0	99,3	109,7	6	CBR ₀	-0,7	98,3	111,1	7	CBR ₀	-1,2	97,2	133,9	MW				118,3	Standardabweichung				11,1		CBR _{NT}	-	-	-		CBR _{NT}	-	-	-		CBR _{NT}	-	-	-	MW				-	Standardabweichung				-		CBR _{FT}	-	-	-		CBR _{FT}	-	-	-		CBR _{FT}	-	-	-	MW				-	Standardabweichung				-
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
5	CBR ₀	0,0	99,3	109,7																																																																													
6	CBR ₀	-0,7	98,3	111,1																																																																													
7	CBR ₀	-1,2	97,2	133,9																																																																													
MW				118,3																																																																													
Standardabweichung				11,1																																																																													
	CBR _{NT}	-	-	-																																																																													
	CBR _{NT}	-	-	-																																																																													
	CBR _{NT}	-	-	-																																																																													
MW				-																																																																													
Standardabweichung				-																																																																													
	CBR _{FT}	-	-	-																																																																													
	CBR _{FT}	-	-	-																																																																													
	CBR _{FT}	-	-	-																																																																													
MW				-																																																																													
Standardabweichung				-																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>k</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]		k	---																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
	k	---																																																																															

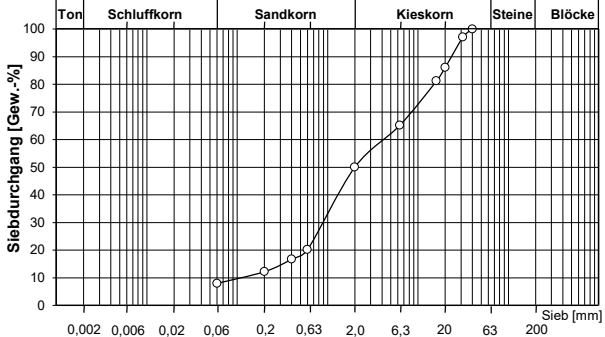
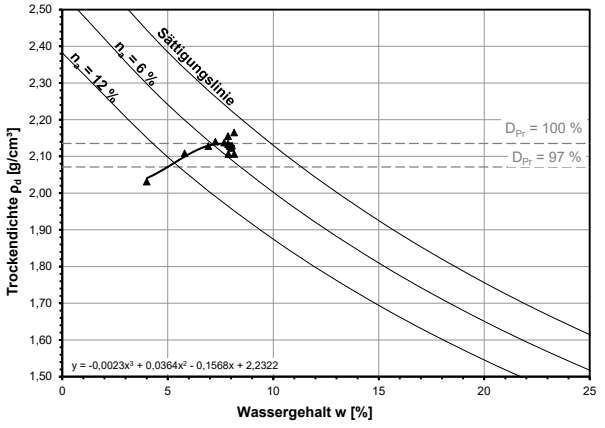
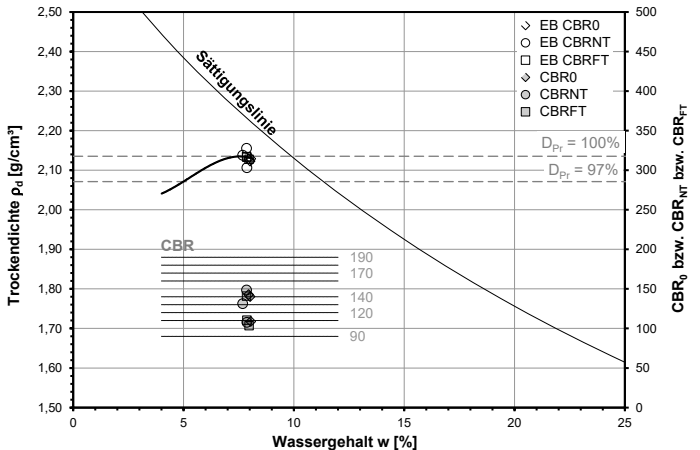
Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.07F.36<2, GK 32 mm (82863-3)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>7 %</td> <td>36 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GU</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	7 %	36 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GU																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
7 %	36 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GU																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,702 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 7,5 \%$ $\rho_d = 2,18 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>4,03</td><td>2,081</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,67</td><td>2,199</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>6,32</td><td>2,138</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>8,02</td><td>2,195</td></tr> <tr><td>5</td><td>CBR₀</td><td>8,12</td><td>2,177</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>6,98</td><td>2,165</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>7,00</td><td>2,198</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,93</td><td>2,149</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,51</td><td>2,175</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,45</td><td>2,180</td></tr> <tr><td>11</td><td>k</td><td>7,84</td><td>2,147</td></tr> <tr><td>12</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>13</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>14</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>15</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm³]	1	Proctor	4,03	2,081	2	Proctor	7,67	2,199	3	Proctor	6,32	2,138	4	Proctor	8,02	2,195	5	CBR ₀	8,12	2,177	6	CBR ₀	6,98	2,165	7	CBR ₀	7,00	2,198	8	CBR _{NT}	7,93	2,149	9	CBR _{NT}	7,51	2,175	10	CBR _{NT}	7,45	2,180	11	k	7,84	2,147	12	-	-	-	13	-	-	-	14	-	-	-	15	-	-	-																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm³]																																																																														
1	Proctor	4,03	2,081																																																																														
2	Proctor	7,67	2,199																																																																														
3	Proctor	6,32	2,138																																																																														
4	Proctor	8,02	2,195																																																																														
5	CBR ₀	8,12	2,177																																																																														
6	CBR ₀	6,98	2,165																																																																														
7	CBR ₀	7,00	2,198																																																																														
8	CBR _{NT}	7,93	2,149																																																																														
9	CBR _{NT}	7,51	2,175																																																																														
10	CBR _{NT}	7,45	2,180																																																																														
11	k	7,84	2,147																																																																														
12	-	-	-																																																																														
13	-	-	-																																																																														
14	-	-	-																																																																														
15	-	-	-																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>CBR₀</td><td>0,6</td><td>99,7</td><td>156,3</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,5</td><td>99,2</td><td>121,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-0,5</td><td>100,7</td><td>145,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>141,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>14,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>98,4</td><td>160,7</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,0</td><td>99,6</td><td>151,6</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,0</td><td>99,9</td><td>147,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>153,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>5,6</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{FT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{FT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td>CBR_{FT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>-</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	5	CBR ₀	0,6	99,7	156,3	6	CBR ₀	-0,5	99,2	121,5	7	CBR ₀	-0,5	100,7	145,3	MW				141,0	Standardabweichung				14,5	8	CBR _{NT}	0,4	98,4	160,7	9	CBR _{NT}	0,0	99,6	151,6	10	CBR _{NT}	0,0	99,9	147,3	MW				153,2	Standardabweichung				5,6		CBR _{FT}	-	-	-		CBR _{FT}	-	-	-		CBR _{FT}	-	-	-	MW				-	Standardabweichung				-
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
5	CBR ₀	0,6	99,7	156,3																																																																													
6	CBR ₀	-0,5	99,2	121,5																																																																													
7	CBR ₀	-0,5	100,7	145,3																																																																													
MW				141,0																																																																													
Standardabweichung				14,5																																																																													
8	CBR _{NT}	0,4	98,4	160,7																																																																													
9	CBR _{NT}	0,0	99,6	151,6																																																																													
10	CBR _{NT}	0,0	99,9	147,3																																																																													
MW				153,2																																																																													
Standardabweichung				5,6																																																																													
	CBR _{FT}	-	-	-																																																																													
	CBR _{FT}	-	-	-																																																																													
	CBR _{FT}	-	-	-																																																																													
MW				-																																																																													
Standardabweichung				-																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>11</td> <td>k</td> <td>$8,86 \cdot 10^{-6}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	11	k	$8,86 \cdot 10^{-6}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
11	k	$8,86 \cdot 10^{-6}$																																																																															

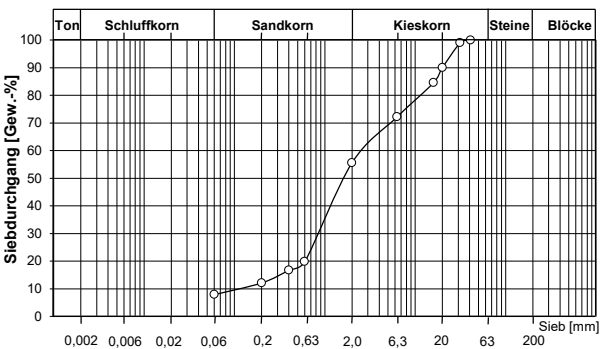
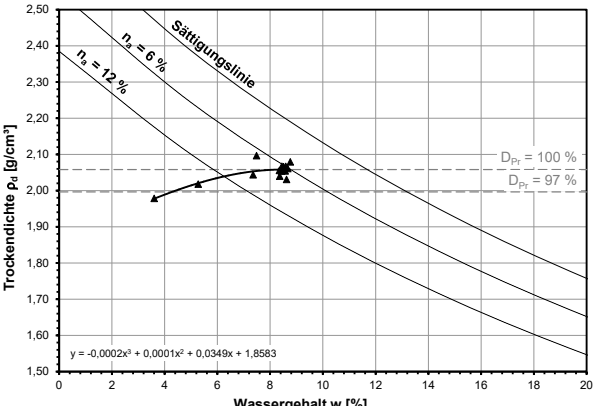
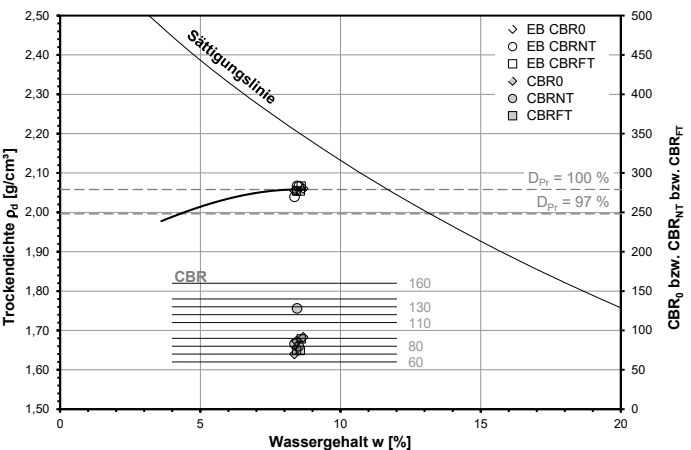
Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.11F.37<2, GK 32 mm (82864-2)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>11 %</td> <td>37 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	11 %	37 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
11 %	37 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,703 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 7,0 \%$ $\rho_d = 2,25 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,77</td><td>2,217</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,41</td><td>2,239</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>3,74</td><td>2,084</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>7,42</td><td>2,248</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>6,63</td><td>2,254</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>7,74</td><td>2,242</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>7,62</td><td>2,244</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>7,29</td><td>2,247</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,35</td><td>2,255</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,63</td><td>2,242</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,66</td><td>2,233</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,48</td><td>2,245</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,37</td><td>2,250</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,74</td><td>2,239</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>7,80</td><td>2,227</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,77	2,217	2	Proctor	7,41	2,239	3	Proctor	3,74	2,084	4	Proctor	7,42	2,248	5	Proctor	6,63	2,254	6	CBR ₀	7,74	2,242	7	CBR ₀	7,62	2,244	8	CBR ₀	7,29	2,247	9	CBR _{NT}	7,35	2,255	10	CBR _{NT}	7,63	2,242	11	CBR _{NT}	7,66	2,233	12	CBR _{FT}	7,48	2,245	13	CBR _{FT}	7,37	2,250	14	CBR _{FT}	7,74	2,239	15	k	7,80	2,227																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,77	2,217																																																																														
2	Proctor	7,41	2,239																																																																														
3	Proctor	3,74	2,084																																																																														
4	Proctor	7,42	2,248																																																																														
5	Proctor	6,63	2,254																																																																														
6	CBR ₀	7,74	2,242																																																																														
7	CBR ₀	7,62	2,244																																																																														
8	CBR ₀	7,29	2,247																																																																														
9	CBR _{NT}	7,35	2,255																																																																														
10	CBR _{NT}	7,63	2,242																																																																														
11	CBR _{NT}	7,66	2,233																																																																														
12	CBR _{FT}	7,48	2,245																																																																														
13	CBR _{FT}	7,37	2,250																																																																														
14	CBR _{FT}	7,74	2,239																																																																														
15	k	7,80	2,227																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,8</td><td>99,6</td><td>83,3</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,6</td><td>99,7</td><td>111,9</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,3</td><td>99,9</td><td>120,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>105,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>15,9</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>100,2</td><td>135,8</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,7</td><td>99,6</td><td>145,2</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,7</td><td>99,2</td><td>168,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>149,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>13,5</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,5</td><td>99,8</td><td>150,5</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>100,0</td><td>154,3</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,8</td><td>99,5</td><td>154,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>153,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,0</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,8	99,6	83,3	7	CBR ₀	0,6	99,7	111,9	8	CBR ₀	0,3	99,9	120,5	MW				105,2	Standardabweichung				15,9	9	CBR _{NT}	0,4	100,2	135,8	10	CBR _{NT}	0,7	99,6	145,2	11	CBR _{NT}	0,7	99,2	168,0	MW				149,7	Standardabweichung				13,5	12	CBR _{FT}	0,5	99,8	150,5	13	CBR _{FT}	0,4	100,0	154,3	14	CBR _{FT}	0,8	99,5	154,9	MW				153,2	Standardabweichung				2,0
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,8	99,6	83,3																																																																													
7	CBR ₀	0,6	99,7	111,9																																																																													
8	CBR ₀	0,3	99,9	120,5																																																																													
MW				105,2																																																																													
Standardabweichung				15,9																																																																													
9	CBR _{NT}	0,4	100,2	135,8																																																																													
10	CBR _{NT}	0,7	99,6	145,2																																																																													
11	CBR _{NT}	0,7	99,2	168,0																																																																													
MW				149,7																																																																													
Standardabweichung				13,5																																																																													
12	CBR _{FT}	0,5	99,8	150,5																																																																													
13	CBR _{FT}	0,4	100,0	154,3																																																																													
14	CBR _{FT}	0,8	99,5	154,9																																																																													
MW				153,2																																																																													
Standardabweichung				2,0																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$3,67 \cdot 10^{-8}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$3,67 \cdot 10^{-8}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$3,67 \cdot 10^{-8}$																																																																															

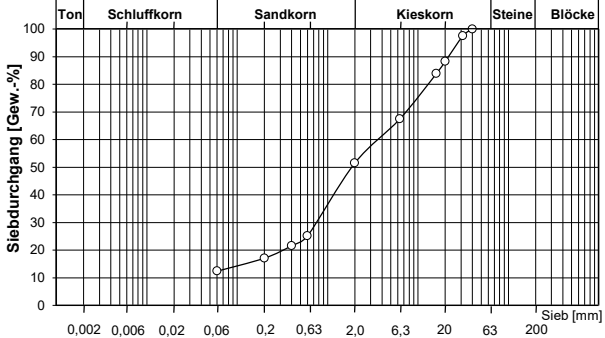
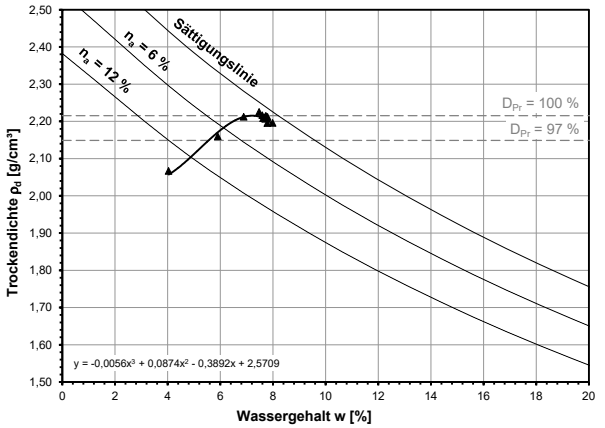
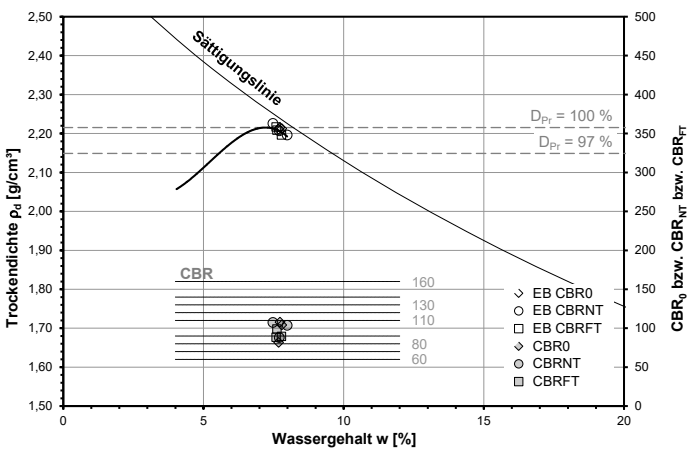
Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.08F.50<2, GK 32 mm (82865-1)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>8 %</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GU</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	8 %	50 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GU																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
8 %	50 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GU																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,707 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 8,2 \%$ $\rho_d = 2,14 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,80</td><td>2,108</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,26</td><td>2,140</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>4,01</td><td>2,031</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>8,15</td><td>2,165</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>6,93</td><td>2,128</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>8,02</td><td>2,123</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>8,05</td><td>2,129</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>7,95</td><td>2,128</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,68</td><td>2,138</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,88</td><td>2,106</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,86</td><td>2,155</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,86</td><td>2,134</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,97</td><td>2,127</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,88</td><td>2,132</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>8,15</td><td>2,106</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,80	2,108	2	Proctor	7,26	2,140	3	Proctor	4,01	2,031	4	Proctor	8,15	2,165	5	Proctor	6,93	2,128	6	CBR ₀	8,02	2,123	7	CBR ₀	8,05	2,129	8	CBR ₀	7,95	2,128	9	CBR _{NT}	7,68	2,138	10	CBR _{NT}	7,88	2,106	11	CBR _{NT}	7,86	2,155	12	CBR _{FT}	7,86	2,134	13	CBR _{FT}	7,97	2,127	14	CBR _{FT}	7,88	2,132	15	k	8,15	2,106																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,80	2,108																																																																														
2	Proctor	7,26	2,140																																																																														
3	Proctor	4,01	2,031																																																																														
4	Proctor	8,15	2,165																																																																														
5	Proctor	6,93	2,128																																																																														
6	CBR ₀	8,02	2,123																																																																														
7	CBR ₀	8,05	2,129																																																																														
8	CBR ₀	7,95	2,128																																																																														
9	CBR _{NT}	7,68	2,138																																																																														
10	CBR _{NT}	7,88	2,106																																																																														
11	CBR _{NT}	7,86	2,155																																																																														
12	CBR _{FT}	7,86	2,134																																																																														
13	CBR _{FT}	7,97	2,127																																																																														
14	CBR _{FT}	7,88	2,132																																																																														
15	k	8,15	2,106																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,2</td><td>99,4</td><td>140,2</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-0,1</td><td>99,7</td><td>108,7</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,2</td><td>99,7</td><td>142,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>130,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>15,5</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,5</td><td>100,1</td><td>131,3</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,3</td><td>98,6</td><td>107,6</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,3</td><td>100,9</td><td>148,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>129,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>16,7</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,3</td><td>100,0</td><td>140,9</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,2</td><td>99,6</td><td>103,4</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,3</td><td>99,9</td><td>110,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>118,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>16,3</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-0,2	99,4	140,2	7	CBR ₀	-0,1	99,7	108,7	8	CBR ₀	-0,2	99,7	142,8	MW				130,5	Standardabweichung				15,5	9	CBR _{NT}	-0,5	100,1	131,3	10	CBR _{NT}	-0,3	98,6	107,6	11	CBR _{NT}	-0,3	100,9	148,4	MW				129,1	Standardabweichung				16,7	12	CBR _{FT}	-0,3	100,0	140,9	13	CBR _{FT}	-0,2	99,6	103,4	14	CBR _{FT}	-0,3	99,9	110,5	MW				118,3	Standardabweichung				16,3
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-0,2	99,4	140,2																																																																													
7	CBR ₀	-0,1	99,7	108,7																																																																													
8	CBR ₀	-0,2	99,7	142,8																																																																													
MW				130,5																																																																													
Standardabweichung				15,5																																																																													
9	CBR _{NT}	-0,5	100,1	131,3																																																																													
10	CBR _{NT}	-0,3	98,6	107,6																																																																													
11	CBR _{NT}	-0,3	100,9	148,4																																																																													
MW				129,1																																																																													
Standardabweichung				16,7																																																																													
12	CBR _{FT}	-0,3	100,0	140,9																																																																													
13	CBR _{FT}	-0,2	99,6	103,4																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,3	99,9	110,5																																																																													
MW				118,3																																																																													
Standardabweichung				16,3																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$5,35 \cdot 10^{-6}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$5,35 \cdot 10^{-6}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$5,35 \cdot 10^{-6}$																																																																															

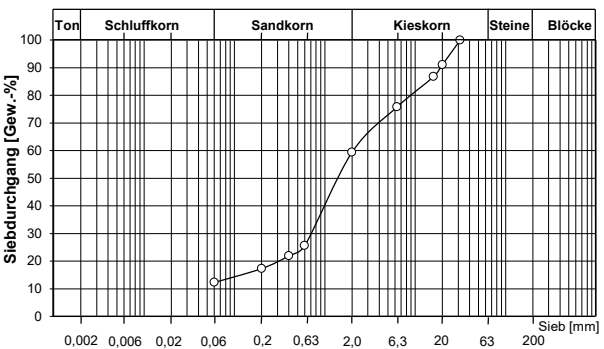
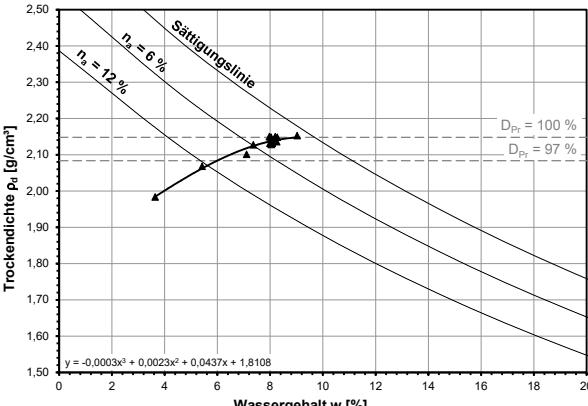
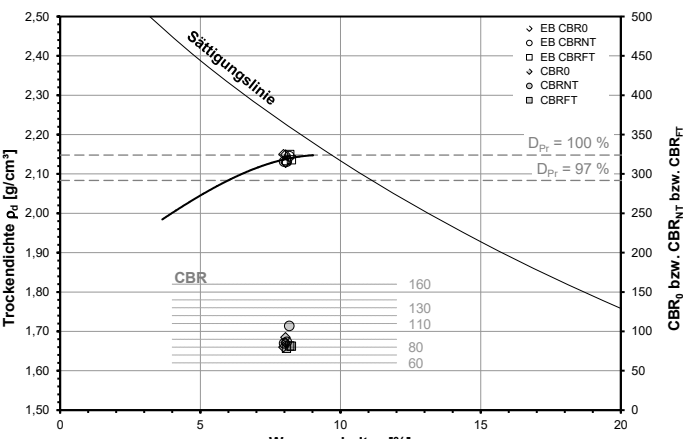
Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.08F.56<2, GK 32 mm (82865-2)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>8 %</td> <td>56 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	8 %	56 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
8 %	56 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,710 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 8,5 \%$ $\rho_d = 2,06 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,28</td><td>2,018</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,36</td><td>2,044</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>3,61</td><td>1,978</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>8,77</td><td>2,079</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>7,49</td><td>2,096</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>8,67</td><td>2,060</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>8,44</td><td>2,055</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>8,36</td><td>2,055</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>8,45</td><td>2,067</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>8,37</td><td>2,039</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>8,51</td><td>2,066</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>8,57</td><td>2,054</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>8,60</td><td>2,067</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>8,44</td><td>2,054</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>8,62</td><td>2,031</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,28	2,018	2	Proctor	7,36	2,044	3	Proctor	3,61	1,978	4	Proctor	8,77	2,079	5	Proctor	7,49	2,096	6	CBR ₀	8,67	2,060	7	CBR ₀	8,44	2,055	8	CBR ₀	8,36	2,055	9	CBR _{NT}	8,45	2,067	10	CBR _{NT}	8,37	2,039	11	CBR _{NT}	8,51	2,066	12	CBR _{FT}	8,57	2,054	13	CBR _{FT}	8,60	2,067	14	CBR _{FT}	8,44	2,054	15	k	8,62	2,031																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,28	2,018																																																																														
2	Proctor	7,36	2,044																																																																														
3	Proctor	3,61	1,978																																																																														
4	Proctor	8,77	2,079																																																																														
5	Proctor	7,49	2,096																																																																														
6	CBR ₀	8,67	2,060																																																																														
7	CBR ₀	8,44	2,055																																																																														
8	CBR ₀	8,36	2,055																																																																														
9	CBR _{NT}	8,45	2,067																																																																														
10	CBR _{NT}	8,37	2,039																																																																														
11	CBR _{NT}	8,51	2,066																																																																														
12	CBR _{FT}	8,57	2,054																																																																														
13	CBR _{FT}	8,60	2,067																																																																														
14	CBR _{FT}	8,44	2,054																																																																														
15	k	8,62	2,031																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,2</td><td>100,1</td><td>91,2</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-0,1</td><td>99,8</td><td>86,2</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,1</td><td>99,9</td><td>70,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>82,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>9,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,0</td><td>100,4</td><td>128,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,1</td><td>99,1</td><td>82,9</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,0</td><td>100,4</td><td>80,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>96,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>22,0</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,1</td><td>99,8</td><td>74,4</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,1</td><td>100,4</td><td>89,2</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,1</td><td>99,8</td><td>74,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>79,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>7,0</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,2	100,1	91,2	7	CBR ₀	-0,1	99,8	86,2	8	CBR ₀	-0,1	99,9	70,1	MW				82,5	Standardabweichung				9,0	9	CBR _{NT}	0,0	100,4	128,0	10	CBR _{NT}	-0,1	99,1	82,9	11	CBR _{NT}	0,0	100,4	80,0	MW				96,9	Standardabweichung				22,0	12	CBR _{FT}	0,1	99,8	74,4	13	CBR _{FT}	0,1	100,4	89,2	14	CBR _{FT}	-0,1	99,8	74,4	MW				79,3	Standardabweichung				7,0
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,2	100,1	91,2																																																																													
7	CBR ₀	-0,1	99,8	86,2																																																																													
8	CBR ₀	-0,1	99,9	70,1																																																																													
MW				82,5																																																																													
Standardabweichung				9,0																																																																													
9	CBR _{NT}	0,0	100,4	128,0																																																																													
10	CBR _{NT}	-0,1	99,1	82,9																																																																													
11	CBR _{NT}	0,0	100,4	80,0																																																																													
MW				96,9																																																																													
Standardabweichung				22,0																																																																													
12	CBR _{FT}	0,1	99,8	74,4																																																																													
13	CBR _{FT}	0,1	100,4	89,2																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,1	99,8	74,4																																																																													
MW				79,3																																																																													
Standardabweichung				7,0																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>ohne gültigen Wert</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	ohne gültigen Wert																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	ohne gültigen Wert																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.12F.52<2, GK 32 mm (82866-1)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>12 %</td> <td>52 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GU</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	12 %	52 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GU																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
12 %	52 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GU																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,707 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 7,2 \%$ $\rho_d = 2,22 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,91</td><td>2,160</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>7,68</td><td>2,210</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>4,04</td><td>2,067</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>6,90</td><td>2,213</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>7,68</td><td>2,211</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>7,73</td><td>2,215</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>7,80</td><td>2,212</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,48</td><td>2,226</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,99</td><td>2,196</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,71</td><td>2,207</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,60</td><td>2,217</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,79</td><td>2,196</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>7,62</td><td>2,209</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>7,76</td><td>2,212</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,91	2,160	2	Proctor	-	-	3	Proctor	7,68	2,210	4	Proctor	4,04	2,067	5	Proctor	6,90	2,213	6	CBR ₀	7,68	2,211	7	CBR ₀	7,73	2,215	8	CBR ₀	7,80	2,212	9	CBR _{NT}	7,48	2,226	10	CBR _{NT}	7,99	2,196	11	CBR _{NT}	7,71	2,207	12	CBR _{FT}	7,60	2,217	13	CBR _{FT}	7,79	2,196	14	CBR _{FT}	7,62	2,209	15	k	7,76	2,212																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,91	2,160																																																																														
2	Proctor	-	-																																																																														
3	Proctor	7,68	2,210																																																																														
4	Proctor	4,04	2,067																																																																														
5	Proctor	6,90	2,213																																																																														
6	CBR ₀	7,68	2,211																																																																														
7	CBR ₀	7,73	2,215																																																																														
8	CBR ₀	7,80	2,212																																																																														
9	CBR _{NT}	7,48	2,226																																																																														
10	CBR _{NT}	7,99	2,196																																																																														
11	CBR _{NT}	7,71	2,207																																																																														
12	CBR _{FT}	7,60	2,217																																																																														
13	CBR _{FT}	7,79	2,196																																																																														
14	CBR _{FT}	7,62	2,209																																																																														
15	k	7,76	2,212																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,5</td><td>99,8</td><td>81,7</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,5</td><td>100,0</td><td>107,7</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,6</td><td>99,9</td><td>104,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>97,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>11,5</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,3</td><td>100,5</td><td>107,2</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,8</td><td>99,1</td><td>103,6</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,5</td><td>99,6</td><td>88,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>99,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>8,3</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>100,1</td><td>88,3</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,6</td><td>99,1</td><td>89,5</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>99,7</td><td>99,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>92,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>4,8</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,5	99,8	81,7	7	CBR ₀	0,5	100,0	107,7	8	CBR ₀	0,6	99,9	104,2	MW				97,9	Standardabweichung				11,5	9	CBR _{NT}	0,3	100,5	107,2	10	CBR _{NT}	0,8	99,1	103,6	11	CBR _{NT}	0,5	99,6	88,0	MW				99,6	Standardabweichung				8,3	12	CBR _{FT}	0,4	100,1	88,3	13	CBR _{FT}	0,6	99,1	89,5	14	CBR _{FT}	0,4	99,7	99,0	MW				92,2	Standardabweichung				4,8
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,5	99,8	81,7																																																																													
7	CBR ₀	0,5	100,0	107,7																																																																													
8	CBR ₀	0,6	99,9	104,2																																																																													
MW				97,9																																																																													
Standardabweichung				11,5																																																																													
9	CBR _{NT}	0,3	100,5	107,2																																																																													
10	CBR _{NT}	0,8	99,1	103,6																																																																													
11	CBR _{NT}	0,5	99,6	88,0																																																																													
MW				99,6																																																																													
Standardabweichung				8,3																																																																													
12	CBR _{FT}	0,4	100,1	88,3																																																																													
13	CBR _{FT}	0,6	99,1	89,5																																																																													
14	CBR _{FT}	0,4	99,7	99,0																																																																													
MW				92,2																																																																													
Standardabweichung				4,8																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$2,77 \cdot 10^{-8}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$2,77 \cdot 10^{-8}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$2,77 \cdot 10^{-8}$																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.12F.59<2, GK 32 mm (82866-2)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>12 %</td> <td>59 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	12 %	59 %																																																																																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																																																																																
12 %	59 %																																																																																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,712 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 9,3 \%$ $\rho_d = 2,15 \text{ g/cm}^3$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,42</td><td>2,068</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,36</td><td>2,127</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>3,64</td><td>1,983</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>9,03</td><td>2,152</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>7,11</td><td>2,101</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>8,04</td><td>2,128</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>8,04</td><td>2,149</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>7,97</td><td>2,150</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>8,08</td><td>2,131</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>8,17</td><td>2,145</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>7,99</td><td>2,131</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>8,25</td><td>2,136</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>8,20</td><td>2,149</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>8,08</td><td>2,134</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>8,27</td><td>2,148</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,42	2,068	2	Proctor	7,36	2,127	3	Proctor	3,64	1,983	4	Proctor	9,03	2,152	5	Proctor	7,11	2,101	6	CBR ₀	8,04	2,128	7	CBR ₀	8,04	2,149	8	CBR ₀	7,97	2,150	9	CBR _{NT}	8,08	2,131	10	CBR _{NT}	8,17	2,145	11	CBR _{NT}	7,99	2,131	12	CBR _{FT}	8,25	2,136	13	CBR _{FT}	8,20	2,149	14	CBR _{FT}	8,08	2,134	15	k	8,27	2,148	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>99,1</td><td>85,6</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>100,0</td><td>92,3</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>100,1</td><td>79,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>85,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>5,1</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,2</td><td>99,2</td><td>86,7</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,1</td><td>99,9</td><td>106,9</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,3</td><td>99,2</td><td>84,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>92,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>10,0</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,0</td><td>99,4</td><td>81,1</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,1</td><td>100,1</td><td>81,3</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,2</td><td>99,3</td><td>78,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>80,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,4</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-1,3	99,1	85,6	7	CBR ₀	-1,3	100,0	92,3	8	CBR ₀	-1,3	100,1	79,9	MW				85,9	Standardabweichung				5,1	9	CBR _{NT}	-1,2	99,2	86,7	10	CBR _{NT}	-1,1	99,9	106,9	11	CBR _{NT}	-1,3	99,2	84,7	MW				92,8	Standardabweichung				10,0	12	CBR _{FT}	-1,0	99,4	81,1	13	CBR _{FT}	-1,1	100,1	81,3	14	CBR _{FT}	-1,2	99,3	78,3	MW				80,3	Standardabweichung				1,4
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																																																																																														
1	Proctor	5,42	2,068																																																																																																																																														
2	Proctor	7,36	2,127																																																																																																																																														
3	Proctor	3,64	1,983																																																																																																																																														
4	Proctor	9,03	2,152																																																																																																																																														
5	Proctor	7,11	2,101																																																																																																																																														
6	CBR ₀	8,04	2,128																																																																																																																																														
7	CBR ₀	8,04	2,149																																																																																																																																														
8	CBR ₀	7,97	2,150																																																																																																																																														
9	CBR _{NT}	8,08	2,131																																																																																																																																														
10	CBR _{NT}	8,17	2,145																																																																																																																																														
11	CBR _{NT}	7,99	2,131																																																																																																																																														
12	CBR _{FT}	8,25	2,136																																																																																																																																														
13	CBR _{FT}	8,20	2,149																																																																																																																																														
14	CBR _{FT}	8,08	2,134																																																																																																																																														
15	k	8,27	2,148																																																																																																																																														
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																																																																																													
6	CBR ₀	-1,3	99,1	85,6																																																																																																																																													
7	CBR ₀	-1,3	100,0	92,3																																																																																																																																													
8	CBR ₀	-1,3	100,1	79,9																																																																																																																																													
MW				85,9																																																																																																																																													
Standardabweichung				5,1																																																																																																																																													
9	CBR _{NT}	-1,2	99,2	86,7																																																																																																																																													
10	CBR _{NT}	-1,1	99,9	106,9																																																																																																																																													
11	CBR _{NT}	-1,3	99,2	84,7																																																																																																																																													
MW				92,8																																																																																																																																													
Standardabweichung				10,0																																																																																																																																													
12	CBR _{FT}	-1,0	99,4	81,1																																																																																																																																													
13	CBR _{FT}	-1,1	100,1	81,3																																																																																																																																													
14	CBR _{FT}	-1,2	99,3	78,3																																																																																																																																													
MW				80,3																																																																																																																																													
Standardabweichung				1,4																																																																																																																																													
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>99,1</td><td>85,6</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>100,0</td><td>92,3</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>100,1</td><td>79,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>85,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>5,1</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,2</td><td>99,2</td><td>86,7</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,1</td><td>99,9</td><td>106,9</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,3</td><td>99,2</td><td>84,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>92,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>10,0</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,0</td><td>99,4</td><td>81,1</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,1</td><td>100,1</td><td>81,3</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,2</td><td>99,3</td><td>78,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>80,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,4</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-1,3	99,1	85,6	7	CBR ₀	-1,3	100,0	92,3	8	CBR ₀	-1,3	100,1	79,9	MW				85,9	Standardabweichung				5,1	9	CBR _{NT}	-1,2	99,2	86,7	10	CBR _{NT}	-1,1	99,9	106,9	11	CBR _{NT}	-1,3	99,2	84,7	MW				92,8	Standardabweichung				10,0	12	CBR _{FT}	-1,0	99,4	81,1	13	CBR _{FT}	-1,1	100,1	81,3	14	CBR _{FT}	-1,2	99,3	78,3	MW				80,3	Standardabweichung				1,4																																																																
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																																																																																													
6	CBR ₀	-1,3	99,1	85,6																																																																																																																																													
7	CBR ₀	-1,3	100,0	92,3																																																																																																																																													
8	CBR ₀	-1,3	100,1	79,9																																																																																																																																													
MW				85,9																																																																																																																																													
Standardabweichung				5,1																																																																																																																																													
9	CBR _{NT}	-1,2	99,2	86,7																																																																																																																																													
10	CBR _{NT}	-1,1	99,9	106,9																																																																																																																																													
11	CBR _{NT}	-1,3	99,2	84,7																																																																																																																																													
MW				92,8																																																																																																																																													
Standardabweichung				10,0																																																																																																																																													
12	CBR _{FT}	-1,0	99,4	81,1																																																																																																																																													
13	CBR _{FT}	-1,1	100,1	81,3																																																																																																																																													
14	CBR _{FT}	-1,2	99,3	78,3																																																																																																																																													
MW				80,3																																																																																																																																													
Standardabweichung				1,4																																																																																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$1,98 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$1,98 \cdot 10^{-7}$																																																																																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																																																																																															
15	k	$1,98 \cdot 10^{-7}$																																																																																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.14F.58<2, GK 8 mm (82866-3)

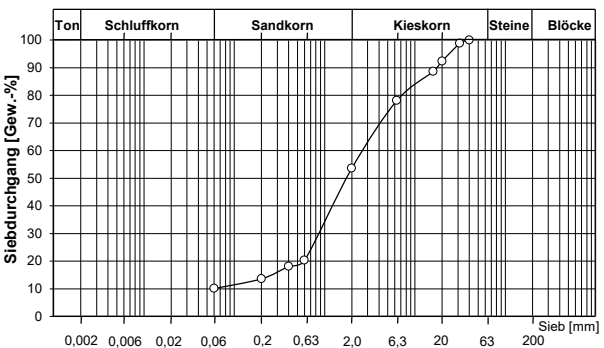
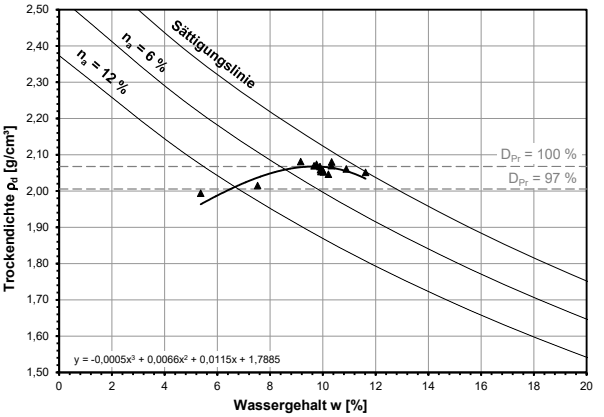
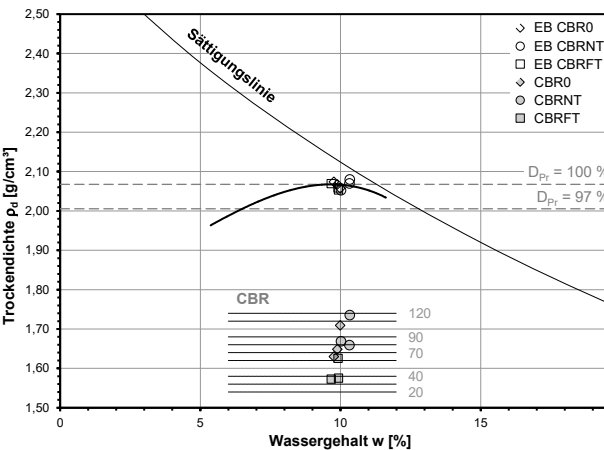
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p>	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>14 %</td> <td>58 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GU</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	14 %	58 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GU																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
14 %	58 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GU																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,713 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p> <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 9,9 \%$ $\rho_d = 2,07 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,93</td><td>1,950</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,77</td><td>2,027</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>9,54</td><td>2,065</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>10,89</td><td>2,074</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>8,70</td><td>2,047</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>9,39</td><td>2,072</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>9,39</td><td>2,064</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>9,47</td><td>2,073</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,65</td><td>2,063</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>9,52</td><td>2,068</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>9,61</td><td>2,067</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{NT}</td><td>8,82</td><td>2,080</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>8,98</td><td>2,079</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,10</td><td>2,083</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>9,78</td><td>2,040</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,93	1,950	2	Proctor	7,77	2,027	3	Proctor	9,54	2,065	4	Proctor	10,89	2,074	5	Proctor	8,70	2,047	6	CBR ₀	9,39	2,072	7	CBR ₀	9,39	2,064	8	CBR ₀	9,47	2,073	9	CBR _{FT}	9,65	2,063	10	CBR _{NT}	9,52	2,068	11	CBR _{NT}	9,61	2,067	12	CBR _{NT}	8,82	2,080	13	CBR _{FT}	8,98	2,079	14	CBR _{FT}	9,10	2,083	15	k	9,78	2,040																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,93	1,950																																																																														
2	Proctor	7,77	2,027																																																																														
3	Proctor	9,54	2,065																																																																														
4	Proctor	10,89	2,074																																																																														
5	Proctor	8,70	2,047																																																																														
6	CBR ₀	9,39	2,072																																																																														
7	CBR ₀	9,39	2,064																																																																														
8	CBR ₀	9,47	2,073																																																																														
9	CBR _{FT}	9,65	2,063																																																																														
10	CBR _{NT}	9,52	2,068																																																																														
11	CBR _{NT}	9,61	2,067																																																																														
12	CBR _{NT}	8,82	2,080																																																																														
13	CBR _{FT}	8,98	2,079																																																																														
14	CBR _{FT}	9,10	2,083																																																																														
15	k	9,78	2,040																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,5</td><td>99,9</td><td>60,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-0,5</td><td>99,5</td><td>58,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,4</td><td>99,9</td><td>51,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>56,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>3,9</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,2</td><td>99,5</td><td>56,2</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,4</td><td>99,7</td><td>61,0</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,3</td><td>99,7</td><td>56,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>57,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,1</td><td>100,3</td><td>56,7</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,9</td><td>100,2</td><td>58,2</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,8</td><td>100,4</td><td>57,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>57,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,0</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-0,5	99,9	60,0	7	CBR ₀	-0,5	99,5	58,5	8	CBR ₀	-0,4	99,9	51,0	MW				56,5	Standardabweichung				3,9	9	CBR _{NT}	-0,2	99,5	56,2	10	CBR _{NT}	-0,4	99,7	61,0	11	CBR _{NT}	-0,3	99,7	56,3	MW				57,8	Standardabweichung				2,2	12	CBR _{FT}	-1,1	100,3	56,7	13	CBR _{FT}	-0,9	100,2	58,2	14	CBR _{FT}	-0,8	100,4	57,7	MW				57,5	Standardabweichung				1,0
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-0,5	99,9	60,0																																																																													
7	CBR ₀	-0,5	99,5	58,5																																																																													
8	CBR ₀	-0,4	99,9	51,0																																																																													
MW				56,5																																																																													
Standardabweichung				3,9																																																																													
9	CBR _{NT}	-0,2	99,5	56,2																																																																													
10	CBR _{NT}	-0,4	99,7	61,0																																																																													
11	CBR _{NT}	-0,3	99,7	56,3																																																																													
MW				57,8																																																																													
Standardabweichung				2,2																																																																													
12	CBR _{FT}	-1,1	100,3	56,7																																																																													
13	CBR _{FT}	-0,9	100,2	58,2																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,8	100,4	57,7																																																																													
MW				57,5																																																																													
Standardabweichung				1,0																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$9,74 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$9,74 \cdot 10^{-7}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$9,74 \cdot 10^{-7}$																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.15F.59<2, GK 8 mm (82865-3)

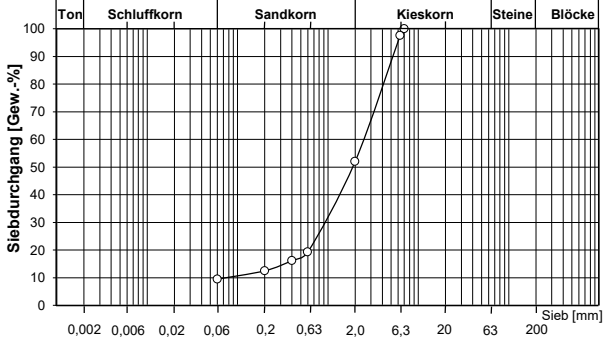
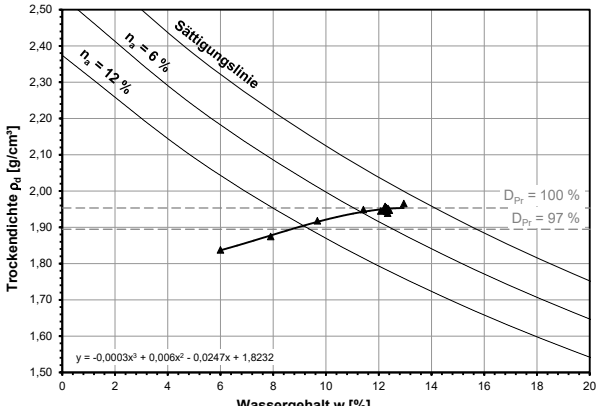
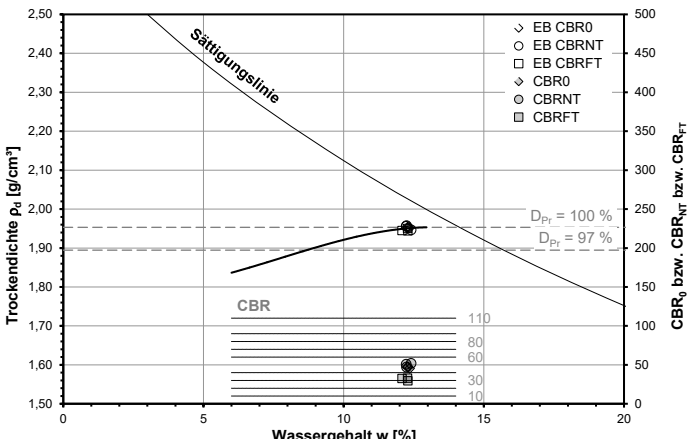
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> <p>Anteil < 0,06 mm: 15 % Anteil < 2 mm: 59 %</p> <p>Klassifizierung gem. DIN 18196 GU</p>																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,713 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127] Siehe Mischung Bk.Si.14F.58<2</p> <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 9,9 \%$ $\rho_d = 2,07 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>9,29</td><td>2,085</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>9,40</td><td>2,096</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>9,31</td><td>2,085</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>9,31</td><td>2,087</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>9,29</td><td>2,092</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>9,30</td><td>2,092</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,26</td><td>2,085</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,32</td><td>2,100</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,32</td><td>2,102</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	-	-	2	Proctor	-	-	3	Proctor	-	-	4	Proctor	-	-	5	Proctor	-	-	6	CBR ₀	9,29	2,085	7	CBR ₀	9,40	2,096	8	CBR ₀	9,31	2,085	9	CBR _{NT}	9,31	2,087	10	CBR _{NT}	9,29	2,092	11	CBR _{NT}	9,30	2,092	12	CBR _{FT}	9,26	2,085	13	CBR _{FT}	9,32	2,100	14	CBR _{FT}	9,32	2,102	15	k	-	-																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	-	-																																																																														
2	Proctor	-	-																																																																														
3	Proctor	-	-																																																																														
4	Proctor	-	-																																																																														
5	Proctor	-	-																																																																														
6	CBR ₀	9,29	2,085																																																																														
7	CBR ₀	9,40	2,096																																																																														
8	CBR ₀	9,31	2,085																																																																														
9	CBR _{NT}	9,31	2,087																																																																														
10	CBR _{NT}	9,29	2,092																																																																														
11	CBR _{NT}	9,30	2,092																																																																														
12	CBR _{FT}	9,26	2,085																																																																														
13	CBR _{FT}	9,32	2,100																																																																														
14	CBR _{FT}	9,32	2,102																																																																														
15	k	-	-																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,6</td><td>100,6</td><td>65,8</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-0,6</td><td>101,3</td><td>63,9</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,6</td><td>101,4</td><td>58,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>62,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,6</td><td>100,6</td><td>60,6</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,6</td><td>100,9</td><td>62,2</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,6</td><td>100,9</td><td>62,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>61,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,6</td><td>100,6</td><td>59,7</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,5</td><td>101,1</td><td>56,2</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,6</td><td>100,6</td><td>60,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>58,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,8</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-0,6	100,6	65,8	7	CBR ₀	-0,6	101,3	63,9	8	CBR ₀	-0,6	101,4	58,6	MW				62,8	Standardabweichung				3,0	9	CBR _{NT}	-0,6	100,6	60,6	10	CBR _{NT}	-0,6	100,9	62,2	11	CBR _{NT}	-0,6	100,9	62,4	MW				61,7	Standardabweichung				0,8	12	CBR _{FT}	-0,6	100,6	59,7	13	CBR _{FT}	-0,5	101,1	56,2	14	CBR _{FT}	-0,6	100,6	60,4	MW				58,8	Standardabweichung				1,8
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-0,6	100,6	65,8																																																																													
7	CBR ₀	-0,6	101,3	63,9																																																																													
8	CBR ₀	-0,6	101,4	58,6																																																																													
MW				62,8																																																																													
Standardabweichung				3,0																																																																													
9	CBR _{NT}	-0,6	100,6	60,6																																																																													
10	CBR _{NT}	-0,6	100,9	62,2																																																																													
11	CBR _{NT}	-0,6	100,9	62,4																																																																													
MW				61,7																																																																													
Standardabweichung				0,8																																																																													
12	CBR _{FT}	-0,6	100,6	59,7																																																																													
13	CBR _{FT}	-0,5	101,1	56,2																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,6	100,6	60,4																																																																													
MW				58,8																																																																													
Standardabweichung				1,8																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	---																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	---																																																																															

Mischungen Kalksteinbruch mit Ton (Bk.CI)

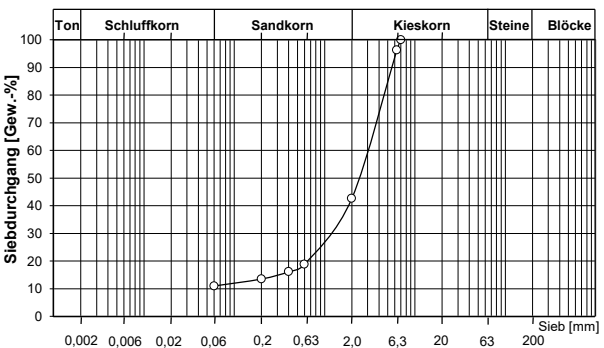
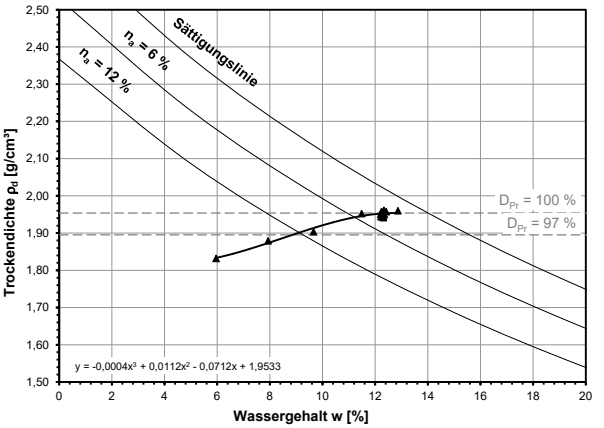
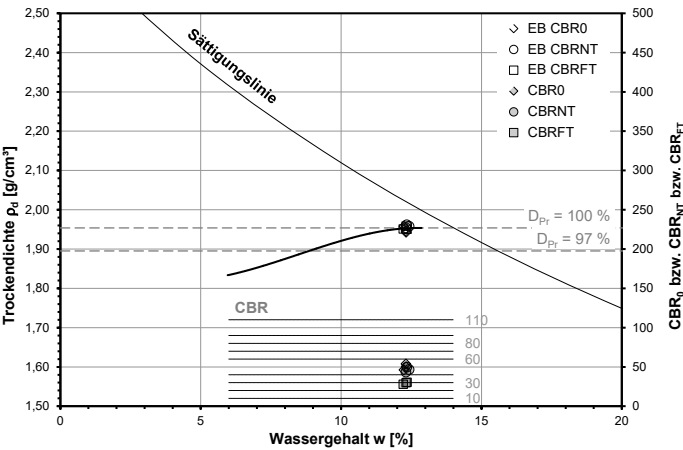
Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Cl.10F.54<2, GK 32 mm (82867-1)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>10 %</td> <td>54 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	10 %	54 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
10 %	54 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,697 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 9,7 \%$ $\rho_d = 2,07 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,37</td><td>1,994</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,53</td><td>2,014</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>9,16</td><td>2,081</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>10,89</td><td>2,061</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>11,62</td><td>2,051</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>9,99</td><td>2,057</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>9,77</td><td>2,074</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>9,89</td><td>2,067</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>10,33</td><td>2,080</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>10,02</td><td>2,052</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>10,32</td><td>2,070</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,67</td><td>2,069</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,91</td><td>2,058</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,93</td><td>2,053</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>10,21</td><td>2,046</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,37	1,994	2	Proctor	7,53	2,014	3	Proctor	9,16	2,081	4	Proctor	10,89	2,061	5	Proctor	11,62	2,051	6	CBR ₀	9,99	2,057	7	CBR ₀	9,77	2,074	8	CBR ₀	9,89	2,067	9	CBR _{NT}	10,33	2,080	10	CBR _{NT}	10,02	2,052	11	CBR _{NT}	10,32	2,070	12	CBR _{FT}	9,67	2,069	13	CBR _{FT}	9,91	2,058	14	CBR _{FT}	9,93	2,053	15	k	10,21	2,046																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,37	1,994																																																																														
2	Proctor	7,53	2,014																																																																														
3	Proctor	9,16	2,081																																																																														
4	Proctor	10,89	2,061																																																																														
5	Proctor	11,62	2,051																																																																														
6	CBR ₀	9,99	2,057																																																																														
7	CBR ₀	9,77	2,074																																																																														
8	CBR ₀	9,89	2,067																																																																														
9	CBR _{NT}	10,33	2,080																																																																														
10	CBR _{NT}	10,02	2,052																																																																														
11	CBR _{NT}	10,32	2,070																																																																														
12	CBR _{FT}	9,67	2,069																																																																														
13	CBR _{FT}	9,91	2,058																																																																														
14	CBR _{FT}	9,93	2,053																																																																														
15	k	10,21	2,046																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,3</td><td>99,5</td><td>104,6</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,1</td><td>100,3</td><td>64,9</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,2</td><td>100,0</td><td>74,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>81,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>16,9</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,6</td><td>100,6</td><td>117,6</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,3</td><td>99,3</td><td>84,3</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,6</td><td>100,1</td><td>79,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>93,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>16,9</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,0</td><td>100,1</td><td>36,3</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,2</td><td>99,6</td><td>62,6</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,2</td><td>99,3</td><td>37,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>45,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>12,1</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,3	99,5	104,6	7	CBR ₀	0,1	100,3	64,9	8	CBR ₀	0,2	100,0	74,3	MW				81,2	Standardabweichung				16,9	9	CBR _{NT}	0,6	100,6	117,6	10	CBR _{NT}	0,3	99,3	84,3	11	CBR _{NT}	0,6	100,1	79,5	MW				93,8	Standardabweichung				16,9	12	CBR _{FT}	0,0	100,1	36,3	13	CBR _{FT}	0,2	99,6	62,6	14	CBR _{FT}	0,2	99,3	37,5	MW				45,5	Standardabweichung				12,1
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,3	99,5	104,6																																																																													
7	CBR ₀	0,1	100,3	64,9																																																																													
8	CBR ₀	0,2	100,0	74,3																																																																													
MW				81,2																																																																													
Standardabweichung				16,9																																																																													
9	CBR _{NT}	0,6	100,6	117,6																																																																													
10	CBR _{NT}	0,3	99,3	84,3																																																																													
11	CBR _{NT}	0,6	100,1	79,5																																																																													
MW				93,8																																																																													
Standardabweichung				16,9																																																																													
12	CBR _{FT}	0,0	100,1	36,3																																																																													
13	CBR _{FT}	0,2	99,6	62,6																																																																													
14	CBR _{FT}	0,2	99,3	37,5																																																																													
MW				45,5																																																																													
Standardabweichung				12,1																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$5,39 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$5,39 \cdot 10^{-7}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$5,39 \cdot 10^{-7}$																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Cl.10F.52<2, GK 8 mm (82867-2)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>10 %</td> <td>52 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GT</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	10 %	52 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GT																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
10 %	52 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GT																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,698 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 13,0 \%$ $\rho_d = 1,95 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>6,00</td><td>1,838</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,91</td><td>1,875</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>9,68</td><td>1,918</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>11,42</td><td>1,949</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>12,95</td><td>1,965</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>12,29</td><td>1,951</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>12,29</td><td>1,954</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>12,35</td><td>1,952</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>12,41</td><td>1,947</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>12,25</td><td>1,957</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>12,23</td><td>1,955</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,08</td><td>1,945</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,29</td><td>1,944</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,28</td><td>1,950</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>12,34</td><td>1,939</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	6,00	1,838	2	Proctor	7,91	1,875	3	Proctor	9,68	1,918	4	Proctor	11,42	1,949	5	Proctor	12,95	1,965	6	CBR ₀	12,29	1,951	7	CBR ₀	12,29	1,954	8	CBR ₀	12,35	1,952	9	CBR _{NT}	12,41	1,947	10	CBR _{NT}	12,25	1,957	11	CBR _{NT}	12,23	1,955	12	CBR _{FT}	12,08	1,945	13	CBR _{FT}	12,29	1,944	14	CBR _{FT}	12,28	1,950	15	k	12,34	1,939																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	6,00	1,838																																																																														
2	Proctor	7,91	1,875																																																																														
3	Proctor	9,68	1,918																																																																														
4	Proctor	11,42	1,949																																																																														
5	Proctor	12,95	1,965																																																																														
6	CBR ₀	12,29	1,951																																																																														
7	CBR ₀	12,29	1,954																																																																														
8	CBR ₀	12,35	1,952																																																																														
9	CBR _{NT}	12,41	1,947																																																																														
10	CBR _{NT}	12,25	1,957																																																																														
11	CBR _{NT}	12,23	1,955																																																																														
12	CBR _{FT}	12,08	1,945																																																																														
13	CBR _{FT}	12,29	1,944																																																																														
14	CBR _{FT}	12,28	1,950																																																																														
15	k	12,34	1,939																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,7</td><td>99,9</td><td>46,8</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-0,7</td><td>100,0</td><td>47,7</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,6</td><td>99,9</td><td>45,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>46,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,5</td><td>99,7</td><td>51,9</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,7</td><td>100,2</td><td>47,1</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,7</td><td>100,1</td><td>50,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>49,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,0</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,9</td><td>99,6</td><td>32,6</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,7</td><td>99,5</td><td>29,4</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,7</td><td>99,8</td><td>33,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>31,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,6</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-0,7	99,9	46,8	7	CBR ₀	-0,7	100,0	47,7	8	CBR ₀	-0,6	99,9	45,3	MW				46,6	Standardabweichung				1,0	9	CBR _{NT}	-0,5	99,7	51,9	10	CBR _{NT}	-0,7	100,2	47,1	11	CBR _{NT}	-0,7	100,1	50,7	MW				49,9	Standardabweichung				2,0	12	CBR _{FT}	-0,9	99,6	32,6	13	CBR _{FT}	-0,7	99,5	29,4	14	CBR _{FT}	-0,7	99,8	33,0	MW				31,6	Standardabweichung				1,6
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-0,7	99,9	46,8																																																																													
7	CBR ₀	-0,7	100,0	47,7																																																																													
8	CBR ₀	-0,6	99,9	45,3																																																																													
MW				46,6																																																																													
Standardabweichung				1,0																																																																													
9	CBR _{NT}	-0,5	99,7	51,9																																																																													
10	CBR _{NT}	-0,7	100,2	47,1																																																																													
11	CBR _{NT}	-0,7	100,1	50,7																																																																													
MW				49,9																																																																													
Standardabweichung				2,0																																																																													
12	CBR _{FT}	-0,9	99,6	32,6																																																																													
13	CBR _{FT}	-0,7	99,5	29,4																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,7	99,8	33,0																																																																													
MW				31,6																																																																													
Standardabweichung				1,6																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$2,23 \cdot 10^{-8}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$2,23 \cdot 10^{-8}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$2,23 \cdot 10^{-8}$																																																																															

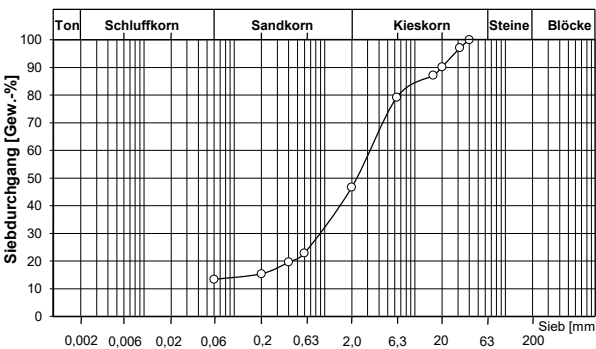
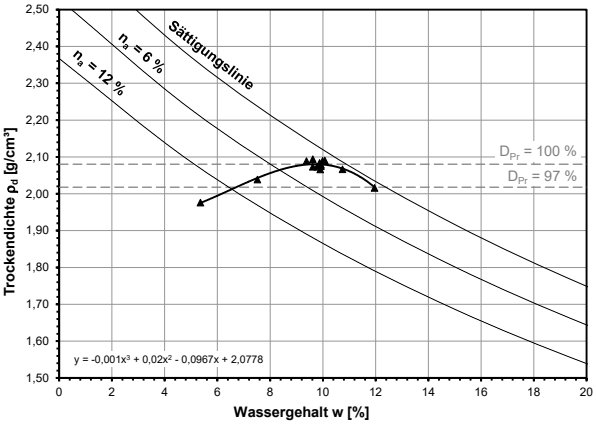
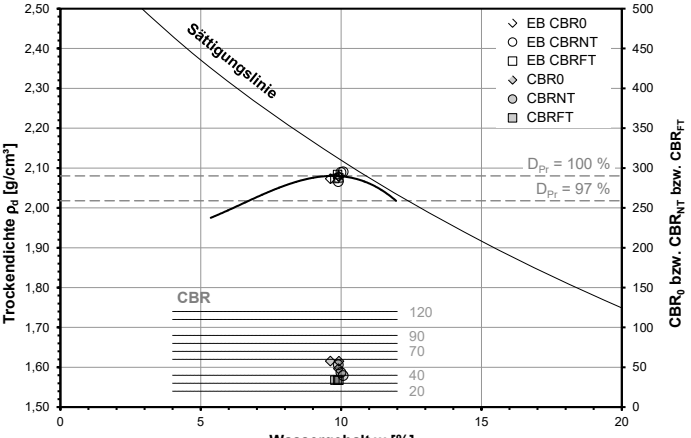
Einzelergebnisse zur Mischung Bk.CI.11F.43<2, GK 8 mm (82868-1)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>11 %</td> <td>43 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	11 %	43 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
11 %	43 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,690 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 12,8 \%$ $\rho_d = 1,95 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,96</td><td>1,832</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,93</td><td>1,879</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>9,66</td><td>1,904</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>11,49</td><td>1,953</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>12,87</td><td>1,960</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>12,24</td><td>1,957</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>12,31</td><td>1,942</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>12,31</td><td>1,946</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>12,34</td><td>1,962</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>12,31</td><td>1,954</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>12,42</td><td>1,958</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,35</td><td>1,950</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,21</td><td>1,951</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,32</td><td>1,958</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>12,22</td><td>1,944</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,96	1,832	2	Proctor	7,93	1,879	3	Proctor	9,66	1,904	4	Proctor	11,49	1,953	5	Proctor	12,87	1,960	6	CBR ₀	12,24	1,957	7	CBR ₀	12,31	1,942	8	CBR ₀	12,31	1,946	9	CBR _{NT}	12,34	1,962	10	CBR _{NT}	12,31	1,954	11	CBR _{NT}	12,42	1,958	12	CBR _{FT}	12,35	1,950	13	CBR _{FT}	12,21	1,951	14	CBR _{FT}	12,32	1,958	15	k	12,22	1,944																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,96	1,832																																																																														
2	Proctor	7,93	1,879																																																																														
3	Proctor	9,66	1,904																																																																														
4	Proctor	11,49	1,953																																																																														
5	Proctor	12,87	1,960																																																																														
6	CBR ₀	12,24	1,957																																																																														
7	CBR ₀	12,31	1,942																																																																														
8	CBR ₀	12,31	1,946																																																																														
9	CBR _{NT}	12,34	1,962																																																																														
10	CBR _{NT}	12,31	1,954																																																																														
11	CBR _{NT}	12,42	1,958																																																																														
12	CBR _{FT}	12,35	1,950																																																																														
13	CBR _{FT}	12,21	1,951																																																																														
14	CBR _{FT}	12,32	1,958																																																																														
15	k	12,22	1,944																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,5</td><td>100,2</td><td>45,9</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-0,4</td><td>99,4</td><td>50,1</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,4</td><td>99,6</td><td>53,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>49,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,4</td><td>100,4</td><td>49,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,4</td><td>100,0</td><td>43,4</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,3</td><td>100,2</td><td>46,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>46,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,4</td><td>99,8</td><td>30,5</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,5</td><td>99,8</td><td>27,8</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,4</td><td>100,2</td><td>29,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>29,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,1</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-0,5	100,2	45,9	7	CBR ₀	-0,4	99,4	50,1	8	CBR ₀	-0,4	99,6	53,7	MW				49,9	Standardabweichung				3,2	9	CBR _{NT}	-0,4	100,4	49,5	10	CBR _{NT}	-0,4	100,0	43,4	11	CBR _{NT}	-0,3	100,2	46,5	MW				46,5	Standardabweichung				2,5	12	CBR _{FT}	-0,4	99,8	30,5	13	CBR _{FT}	-0,5	99,8	27,8	14	CBR _{FT}	-0,4	100,2	29,9	MW				29,4	Standardabweichung				1,1
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-0,5	100,2	45,9																																																																													
7	CBR ₀	-0,4	99,4	50,1																																																																													
8	CBR ₀	-0,4	99,6	53,7																																																																													
MW				49,9																																																																													
Standardabweichung				3,2																																																																													
9	CBR _{NT}	-0,4	100,4	49,5																																																																													
10	CBR _{NT}	-0,4	100,0	43,4																																																																													
11	CBR _{NT}	-0,3	100,2	46,5																																																																													
MW				46,5																																																																													
Standardabweichung				2,5																																																																													
12	CBR _{FT}	-0,4	99,8	30,5																																																																													
13	CBR _{FT}	-0,5	99,8	27,8																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,4	100,2	29,9																																																																													
MW				29,4																																																																													
Standardabweichung				1,1																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>ohne gültigen Wert</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	ohne gültigen Wert																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	ohne gültigen Wert																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Cl.14F.51<2, GK 8 mm (82868-2)

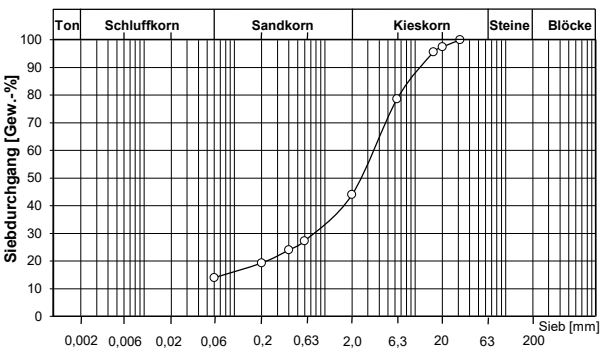
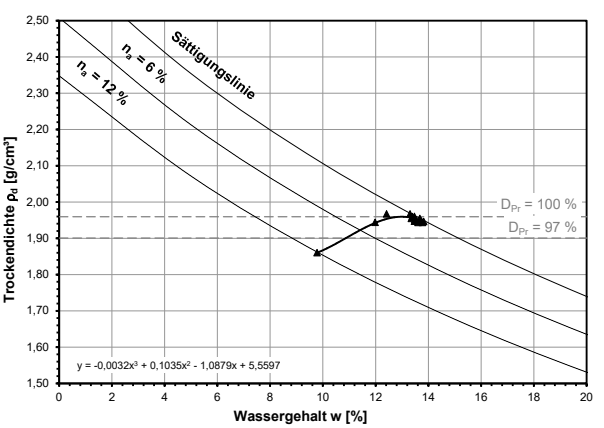
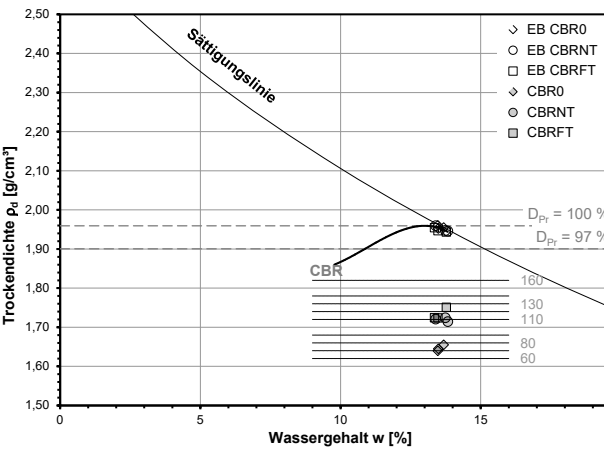
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p>	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>14 %</td> <td>51 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GT</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	14 %	51 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GT																																																																															
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																						
14 %	51 %																																																																																						
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																							
GT																																																																																							
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,690 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																						
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p> <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 11,4 \%$ $\rho_d = 1,99 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,86</td><td>1,849</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,87</td><td>1,925</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>9,82</td><td>1,974</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>11,45</td><td>2,003</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>12,94</td><td>1,978</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>11,75</td><td>2,000</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>11,64</td><td>1,991</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>11,71</td><td>1,990</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>11,78</td><td>1,968</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>11,76</td><td>1,982</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>11,77</td><td>1,982</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>11,73</td><td>1,989</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>11,65</td><td>1,999</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>11,71</td><td>1,989</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>11,70</td><td>1,997</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,86	1,849	2	Proctor	7,87	1,925	3	Proctor	9,82	1,974	4	Proctor	11,45	2,003	5	Proctor	12,94	1,978	6	CBR ₀	11,75	2,000	7	CBR ₀	11,64	1,991	8	CBR ₀	11,71	1,990	9	CBR _{NT}	11,78	1,968	10	CBR _{NT}	11,76	1,982	11	CBR _{NT}	11,77	1,982	12	CBR _{FT}	11,73	1,989	13	CBR _{FT}	11,65	1,999	14	CBR _{FT}	11,71	1,989	15	k	11,70	1,997																						
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																																				
1	Proctor	5,86	1,849																																																																																				
2	Proctor	7,87	1,925																																																																																				
3	Proctor	9,82	1,974																																																																																				
4	Proctor	11,45	2,003																																																																																				
5	Proctor	12,94	1,978																																																																																				
6	CBR ₀	11,75	2,000																																																																																				
7	CBR ₀	11,64	1,991																																																																																				
8	CBR ₀	11,71	1,990																																																																																				
9	CBR _{NT}	11,78	1,968																																																																																				
10	CBR _{NT}	11,76	1,982																																																																																				
11	CBR _{NT}	11,77	1,982																																																																																				
12	CBR _{FT}	11,73	1,989																																																																																				
13	CBR _{FT}	11,65	1,999																																																																																				
14	CBR _{FT}	11,71	1,989																																																																																				
15	k	11,70	1,997																																																																																				
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,4</td><td>100,5</td><td>34,3</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,3</td><td>100,1</td><td>37,3</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,3</td><td>100,0</td><td>41,8</td></tr> <tr><td colspan="4"></td><td>MW</td><td>37,8</td></tr> <tr><td colspan="4"></td><td>Standardabweichung</td><td>3,1</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>98,9</td><td>48,8</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>99,6</td><td>37,6</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>99,6</td><td>42,1</td></tr> <tr><td colspan="4"></td><td>MW</td><td>42,8</td></tr> <tr><td colspan="4"></td><td>Standardabweichung</td><td>4,6</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>100,0</td><td>27,3</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,3</td><td>100,5</td><td>27,4</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,3</td><td>100,0</td><td>29,6</td></tr> <tr><td colspan="4"></td><td>MW</td><td>28,1</td></tr> <tr><td colspan="4"></td><td>Standardabweichung</td><td>1,0</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,4	100,5	34,3	7	CBR ₀	0,3	100,1	37,3	8	CBR ₀	0,3	100,0	41,8					MW	37,8					Standardabweichung	3,1	9	CBR _{NT}	0,4	98,9	48,8	10	CBR _{NT}	0,4	99,6	37,6	11	CBR _{NT}	0,4	99,6	42,1					MW	42,8					Standardabweichung	4,6	12	CBR _{FT}	0,4	100,0	27,3	13	CBR _{FT}	0,3	100,5	27,4	14	CBR _{FT}	0,3	100,0	29,6					MW	28,1					Standardabweichung	1,0
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																																			
6	CBR ₀	0,4	100,5	34,3																																																																																			
7	CBR ₀	0,3	100,1	37,3																																																																																			
8	CBR ₀	0,3	100,0	41,8																																																																																			
				MW	37,8																																																																																		
				Standardabweichung	3,1																																																																																		
9	CBR _{NT}	0,4	98,9	48,8																																																																																			
10	CBR _{NT}	0,4	99,6	37,6																																																																																			
11	CBR _{NT}	0,4	99,6	42,1																																																																																			
				MW	42,8																																																																																		
				Standardabweichung	4,6																																																																																		
12	CBR _{FT}	0,4	100,0	27,3																																																																																			
13	CBR _{FT}	0,3	100,5	27,4																																																																																			
14	CBR _{FT}	0,3	100,0	29,6																																																																																			
				MW	28,1																																																																																		
				Standardabweichung	1,0																																																																																		
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$3,27 \cdot 10^{-6}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$3,27 \cdot 10^{-6}$																																																																																
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																																					
15	k	$3,27 \cdot 10^{-6}$																																																																																					

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.CI.13F.47<2, GK 32 mm (82868-3)

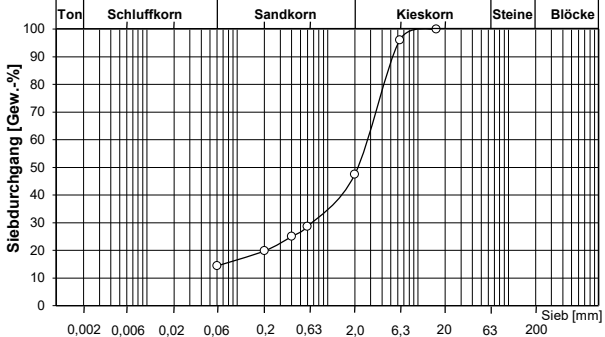
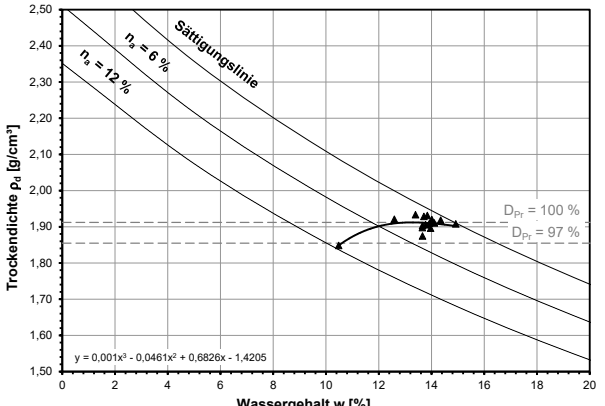
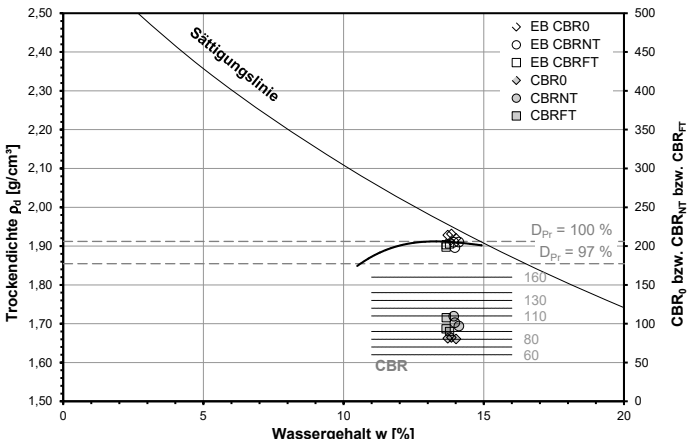
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>13 %</td> <td>47 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	13 %	47 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
13 %	47 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,690 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 9,8 \%$ $\rho_d = 2,08 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>5,36</td><td>1,976</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>7,52</td><td>2,039</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>9,38</td><td>2,088</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>10,75</td><td>2,066</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>11,96</td><td>2,016</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>9,93</td><td>2,079</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>9,91</td><td>2,080</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>9,62</td><td>2,073</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,91</td><td>2,066</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>10,00</td><td>2,089</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>10,08</td><td>2,090</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,93</td><td>2,075</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,88</td><td>2,083</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>9,79</td><td>2,073</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>9,62</td><td>2,094</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	5,36	1,976	2	Proctor	7,52	2,039	3	Proctor	9,38	2,088	4	Proctor	10,75	2,066	5	Proctor	11,96	2,016	6	CBR ₀	9,93	2,079	7	CBR ₀	9,91	2,080	8	CBR ₀	9,62	2,073	9	CBR _{FT}	9,91	2,066	10	CBR _{FT}	10,00	2,089	11	CBR _{FT}	10,08	2,090	12	CBR _{FT}	9,93	2,075	13	CBR _{FT}	9,88	2,083	14	CBR _{FT}	9,79	2,073	15	k	9,62	2,094																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	5,36	1,976																																																																														
2	Proctor	7,52	2,039																																																																														
3	Proctor	9,38	2,088																																																																														
4	Proctor	10,75	2,066																																																																														
5	Proctor	11,96	2,016																																																																														
6	CBR ₀	9,93	2,079																																																																														
7	CBR ₀	9,91	2,080																																																																														
8	CBR ₀	9,62	2,073																																																																														
9	CBR _{FT}	9,91	2,066																																																																														
10	CBR _{FT}	10,00	2,089																																																																														
11	CBR _{FT}	10,08	2,090																																																																														
12	CBR _{FT}	9,93	2,075																																																																														
13	CBR _{FT}	9,88	2,083																																																																														
14	CBR _{FT}	9,79	2,073																																																																														
15	k	9,62	2,094																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,2</td><td>99,9</td><td>57,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,2</td><td>100,0</td><td>48,1</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,1</td><td>99,7</td><td>57,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>54,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>4,5</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,2</td><td>99,3</td><td>53,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,2</td><td>100,4</td><td>43,4</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,3</td><td>100,5</td><td>39,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>45,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>5,7</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,2</td><td>99,7</td><td>33,7</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,1</td><td>100,1</td><td>33,9</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,0</td><td>99,7</td><td>33,7</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>33,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>0,1</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,2	99,9	57,5	7	CBR ₀	0,2	100,0	48,1	8	CBR ₀	-0,1	99,7	57,7	MW				54,4	Standardabweichung				4,5	9	CBR _{NT}	0,2	99,3	53,0	10	CBR _{NT}	0,2	100,4	43,4	11	CBR _{NT}	0,3	100,5	39,5	MW				45,3	Standardabweichung				5,7	12	CBR _{FT}	0,2	99,7	33,7	13	CBR _{FT}	0,1	100,1	33,9	14	CBR _{FT}	0,0	99,7	33,7	MW				33,8	Standardabweichung				0,1
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,2	99,9	57,5																																																																													
7	CBR ₀	0,2	100,0	48,1																																																																													
8	CBR ₀	-0,1	99,7	57,7																																																																													
MW				54,4																																																																													
Standardabweichung				4,5																																																																													
9	CBR _{NT}	0,2	99,3	53,0																																																																													
10	CBR _{NT}	0,2	100,4	43,4																																																																													
11	CBR _{NT}	0,3	100,5	39,5																																																																													
MW				45,3																																																																													
Standardabweichung				5,7																																																																													
12	CBR _{FT}	0,2	99,7	33,7																																																																													
13	CBR _{FT}	0,1	100,1	33,9																																																																													
14	CBR _{FT}	0,0	99,7	33,7																																																																													
MW				33,8																																																																													
Standardabweichung				0,1																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$3,34 \cdot 10^{-8}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$3,34 \cdot 10^{-8}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$3,34 \cdot 10^{-8}$																																																																															

Mischungen RC-Beton mit Schluff (RC.Si)

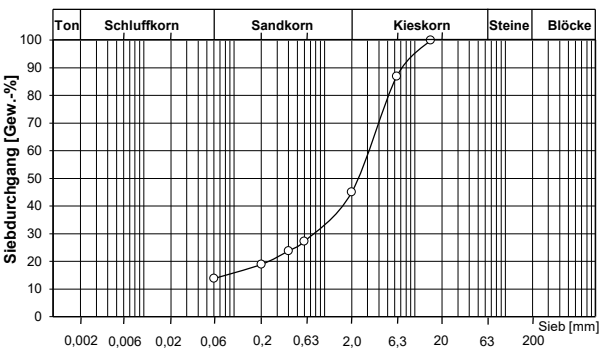
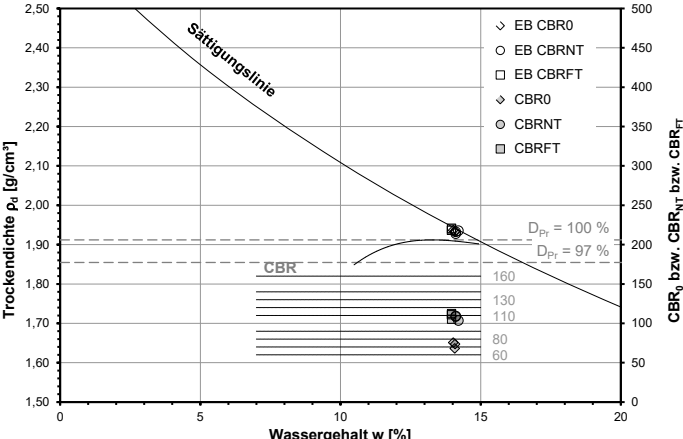
Einzelergebnisse zur Mischung RC.Si.14F.44<2, GK 32 mm (82869-1)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>14 %</td> <td>44 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	14 %	44 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
14 %	44 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,688 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 13,0 \%$ $\rho_d = 1,96 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>9,78</td><td>1,860</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>11,98</td><td>1,944</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>13,31</td><td>1,967</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>12,42</td><td>1,967</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>13,47</td><td>1,960</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>13,49</td><td>1,952</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>13,68</td><td>1,954</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,74</td><td>1,947</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,83</td><td>1,946</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,39</td><td>1,960</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,48</td><td>1,947</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,78</td><td>1,943</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,36</td><td>1,954</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>13,61</td><td>1,943</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	9,78	1,860	2	Proctor	11,98	1,944	3	Proctor	13,31	1,967	4	Proctor	-	-	5	Proctor	12,42	1,967	6	CBR ₀	13,47	1,960	7	CBR ₀	13,49	1,952	8	CBR ₀	13,68	1,954	9	CBR _{FT}	13,74	1,947	10	CBR _{FT}	13,83	1,946	11	CBR _{FT}	13,39	1,960	12	CBR _{FT}	13,48	1,947	13	CBR _{FT}	13,78	1,943	14	CBR _{FT}	13,36	1,954	15	k	13,61	1,943																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	9,78	1,860																																																																														
2	Proctor	11,98	1,944																																																																														
3	Proctor	13,31	1,967																																																																														
4	Proctor	-	-																																																																														
5	Proctor	12,42	1,967																																																																														
6	CBR ₀	13,47	1,960																																																																														
7	CBR ₀	13,49	1,952																																																																														
8	CBR ₀	13,68	1,954																																																																														
9	CBR _{FT}	13,74	1,947																																																																														
10	CBR _{FT}	13,83	1,946																																																																														
11	CBR _{FT}	13,39	1,960																																																																														
12	CBR _{FT}	13,48	1,947																																																																														
13	CBR _{FT}	13,78	1,943																																																																														
14	CBR _{FT}	13,36	1,954																																																																														
15	k	13,61	1,943																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,5</td><td>100,0</td><td>69,7</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,5</td><td>99,6</td><td>72,1</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,7</td><td>99,7</td><td>77,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>73,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,7</td><td>99,4</td><td>112,1</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,8</td><td>99,3</td><td>107,0</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>100,0</td><td>110,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>109,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,5</td><td>99,4</td><td>111,9</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,8</td><td>99,2</td><td>125,4</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,3</td><td>99,8</td><td>112,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>116,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>6,3</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,5	100,0	69,7	7	CBR ₀	0,5	99,6	72,1	8	CBR ₀	0,7	99,7	77,3	MW				73,0	Standardabweichung				3,2	9	CBR _{NT}	0,7	99,4	112,1	10	CBR _{NT}	0,8	99,3	107,0	11	CBR _{NT}	0,4	100,0	110,4	MW				109,9	Standardabweichung				2,1	12	CBR _{FT}	0,5	99,4	111,9	13	CBR _{FT}	0,8	99,2	125,4	14	CBR _{FT}	0,3	99,8	112,1	MW				116,5	Standardabweichung				6,3
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,5	100,0	69,7																																																																													
7	CBR ₀	0,5	99,6	72,1																																																																													
8	CBR ₀	0,7	99,7	77,3																																																																													
MW				73,0																																																																													
Standardabweichung				3,2																																																																													
9	CBR _{NT}	0,7	99,4	112,1																																																																													
10	CBR _{NT}	0,8	99,3	107,0																																																																													
11	CBR _{NT}	0,4	100,0	110,4																																																																													
MW				109,9																																																																													
Standardabweichung				2,1																																																																													
12	CBR _{FT}	0,5	99,4	111,9																																																																													
13	CBR _{FT}	0,8	99,2	125,4																																																																													
14	CBR _{FT}	0,3	99,8	112,1																																																																													
MW				116,5																																																																													
Standardabweichung				6,3																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$5,84 \cdot 10^{-8}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$5,84 \cdot 10^{-8}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$5,84 \cdot 10^{-8}$																																																																															

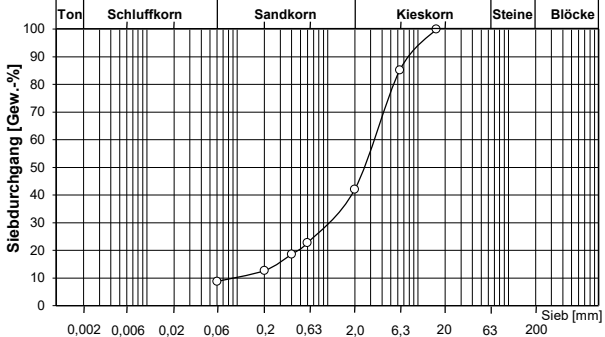
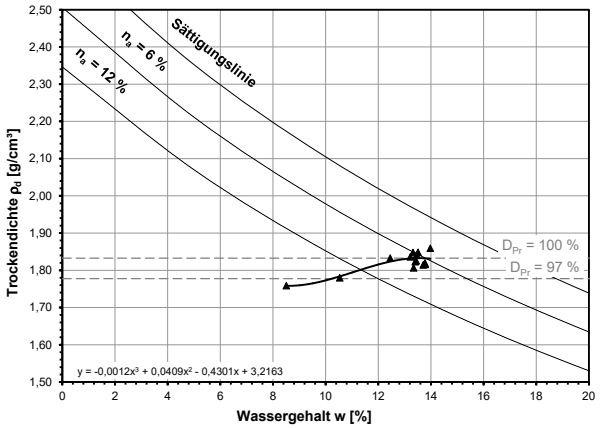
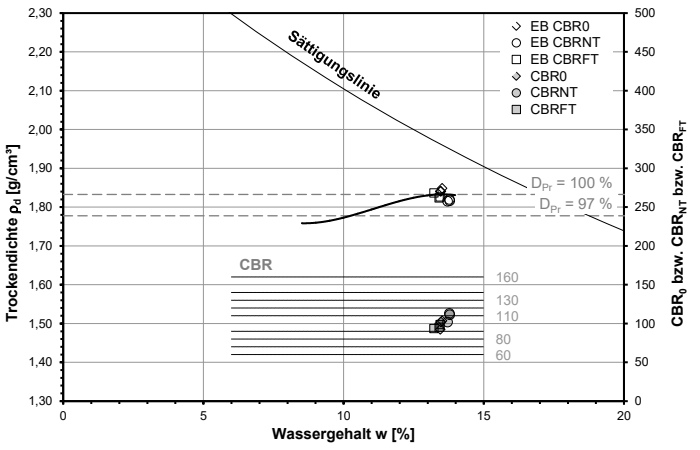
Einzelergebnisse zur Mischung RC.Si.14F.48<2, GK 8 mm (82869-2)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>14 %</td> <td>48 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GU</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	14 %	48 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GU																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
14 %	48 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GU																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,672 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 13,2 \%$ $\rho_d = 1,91 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>10,48</td><td>1,848</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>12,60</td><td>1,921</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>14,35</td><td>1,918</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>14,92</td><td>1,908</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>13,40</td><td>1,933</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>13,84</td><td>1,931</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>14,02</td><td>1,920</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>13,72</td><td>1,928</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,11</td><td>1,910</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,97</td><td>1,896</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,93</td><td>1,910</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,78</td><td>1,905</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,66</td><td>1,897</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,66</td><td>1,903</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>13,66</td><td>1,874</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	10,48	1,848	2	Proctor	12,60	1,921	3	Proctor	14,35	1,918	4	Proctor	14,92	1,908	5	Proctor	13,40	1,933	6	CBR ₀	13,84	1,931	7	CBR ₀	14,02	1,920	8	CBR ₀	13,72	1,928	9	CBR _{FT}	14,11	1,910	10	CBR _{FT}	13,97	1,896	11	CBR _{FT}	13,93	1,910	12	CBR _{FT}	13,78	1,905	13	CBR _{FT}	13,66	1,897	14	CBR _{FT}	13,66	1,903	15	k	13,66	1,874																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	10,48	1,848																																																																														
2	Proctor	12,60	1,921																																																																														
3	Proctor	14,35	1,918																																																																														
4	Proctor	14,92	1,908																																																																														
5	Proctor	13,40	1,933																																																																														
6	CBR ₀	13,84	1,931																																																																														
7	CBR ₀	14,02	1,920																																																																														
8	CBR ₀	13,72	1,928																																																																														
9	CBR _{FT}	14,11	1,910																																																																														
10	CBR _{FT}	13,97	1,896																																																																														
11	CBR _{FT}	13,93	1,910																																																																														
12	CBR _{FT}	13,78	1,905																																																																														
13	CBR _{FT}	13,66	1,897																																																																														
14	CBR _{FT}	13,66	1,903																																																																														
15	k	13,66	1,874																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,6</td><td>101,0</td><td>82,2</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,8</td><td>100,4</td><td>80,1</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,5</td><td>100,9</td><td>81,2</td></tr> <tr><td colspan="4">MW</td><td>81,2</td></tr> <tr><td colspan="4">Standardabweichung</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,9</td><td>99,9</td><td>96,9</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,7</td><td>99,2</td><td>101,2</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,7</td><td>99,9</td><td>109,6</td></tr> <tr><td colspan="4">MW</td><td>102,6</td></tr> <tr><td colspan="4">Standardabweichung</td><td>5,3</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,5</td><td>99,7</td><td>89,9</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>99,2</td><td>93,2</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>99,5</td><td>107,7</td></tr> <tr><td colspan="4">MW</td><td>96,9</td></tr> <tr><td colspan="4">Standardabweichung</td><td>7,7</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,6	101,0	82,2	7	CBR ₀	0,8	100,4	80,1	8	CBR ₀	0,5	100,9	81,2	MW				81,2	Standardabweichung				0,8	9	CBR _{NT}	0,9	99,9	96,9	10	CBR _{NT}	0,7	99,2	101,2	11	CBR _{NT}	0,7	99,9	109,6	MW				102,6	Standardabweichung				5,3	12	CBR _{FT}	0,5	99,7	89,9	13	CBR _{FT}	0,4	99,2	93,2	14	CBR _{FT}	0,4	99,5	107,7	MW				96,9	Standardabweichung				7,7
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,6	101,0	82,2																																																																													
7	CBR ₀	0,8	100,4	80,1																																																																													
8	CBR ₀	0,5	100,9	81,2																																																																													
MW				81,2																																																																													
Standardabweichung				0,8																																																																													
9	CBR _{NT}	0,9	99,9	96,9																																																																													
10	CBR _{NT}	0,7	99,2	101,2																																																																													
11	CBR _{NT}	0,7	99,9	109,6																																																																													
MW				102,6																																																																													
Standardabweichung				5,3																																																																													
12	CBR _{FT}	0,5	99,7	89,9																																																																													
13	CBR _{FT}	0,4	99,2	93,2																																																																													
14	CBR _{FT}	0,4	99,5	107,7																																																																													
MW				96,9																																																																													
Standardabweichung				7,7																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$6,12 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$6,12 \cdot 10^{-7}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$6,12 \cdot 10^{-7}$																																																																															

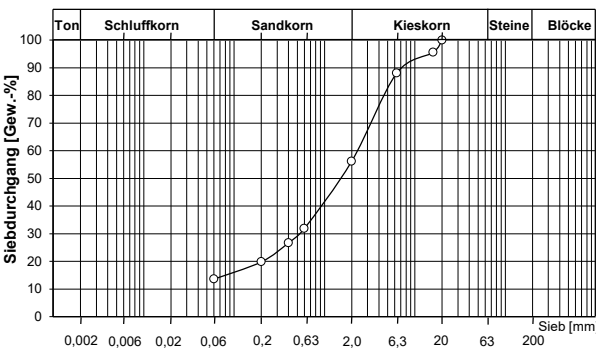
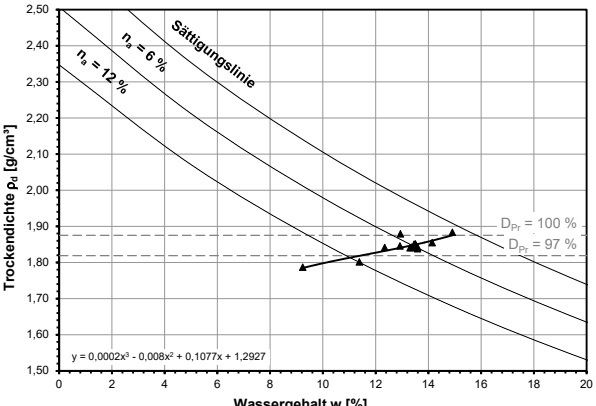
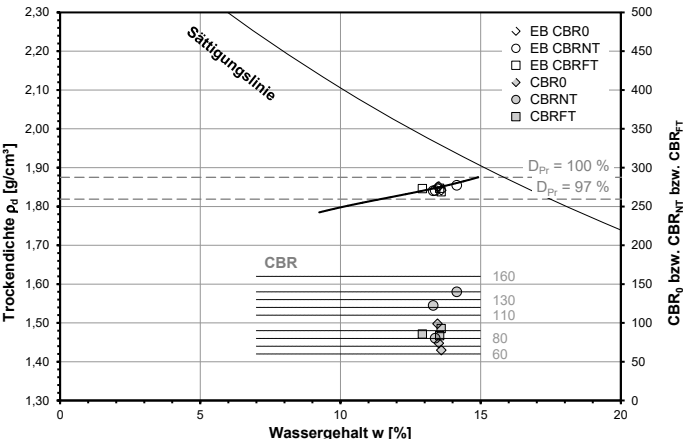
Einzelergebnisse zur Mischung RC.Si.14F.45<2, GK 8 mm (82870-3)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>14 %</td> <td>45 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	14 %	45 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
14 %	45 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,672 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127] Siehe Mischung RC.Si.14F.48<2</p> <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 13,2 \%$ $\rho_d = 1,91 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>13,96</td><td>1,940</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>13,96</td><td>1,942</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>13,96</td><td>1,936</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>14,20</td><td>1,935</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,11</td><td>1,928</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,11</td><td>1,932</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,09</td><td>1,932</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,08</td><td>1,934</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,02</td><td>1,937</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,96</td><td>1,940</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>-</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	-	-	2	Proctor	-	-	3	Proctor	-	-	4	Proctor	-	-	5	Proctor	13,96	1,940	6	CBR ₀	13,96	1,942	7	CBR ₀	13,96	1,936	8	CBR ₀	14,20	1,935	9	CBR _{FT}	14,11	1,928	10	CBR _{FT}	14,11	1,932	11	CBR _{FT}	14,09	1,932	12	CBR _{FT}	14,08	1,934	13	CBR _{FT}	14,02	1,937	14	CBR _{FT}	13,96	1,940	15	k	-	-																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	-	-																																																																														
2	Proctor	-	-																																																																														
3	Proctor	-	-																																																																														
4	Proctor	-	-																																																																														
5	Proctor	13,96	1,940																																																																														
6	CBR ₀	13,96	1,942																																																																														
7	CBR ₀	13,96	1,936																																																																														
8	CBR ₀	14,20	1,935																																																																														
9	CBR _{FT}	14,11	1,928																																																																														
10	CBR _{FT}	14,11	1,932																																																																														
11	CBR _{FT}	14,09	1,932																																																																														
12	CBR _{FT}	14,08	1,934																																																																														
13	CBR _{FT}	14,02	1,937																																																																														
14	CBR _{FT}	13,96	1,940																																																																														
15	k	-	-																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,8</td><td>101,1</td><td>73,6</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,8</td><td>101,1</td><td>68,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,8</td><td>101,3</td><td>75,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>72,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>3,1</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>1,0</td><td>101,2</td><td>103,4</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,9</td><td>100,8</td><td>109,1</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,9</td><td>101,1</td><td>108,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>107,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,6</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,7</td><td>101,4</td><td>112,4</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,7</td><td>101,5</td><td>105,1</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,7</td><td>101,2</td><td>110,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>109,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>3,1</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,8	101,1	73,6	7	CBR ₀	0,8	101,1	68,0	8	CBR ₀	0,8	101,3	75,4	MW				72,4	Standardabweichung				3,1	9	CBR _{NT}	1,0	101,2	103,4	10	CBR _{NT}	0,9	100,8	109,1	11	CBR _{NT}	0,9	101,1	108,5	MW				107,0	Standardabweichung				2,6	12	CBR _{FT}	0,7	101,4	112,4	13	CBR _{FT}	0,7	101,5	105,1	14	CBR _{FT}	0,7	101,2	110,9	MW				109,5	Standardabweichung				3,1
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,8	101,1	73,6																																																																													
7	CBR ₀	0,8	101,1	68,0																																																																													
8	CBR ₀	0,8	101,3	75,4																																																																													
MW				72,4																																																																													
Standardabweichung				3,1																																																																													
9	CBR _{NT}	1,0	101,2	103,4																																																																													
10	CBR _{NT}	0,9	100,8	109,1																																																																													
11	CBR _{NT}	0,9	101,1	108,5																																																																													
MW				107,0																																																																													
Standardabweichung				2,6																																																																													
12	CBR _{FT}	0,7	101,4	112,4																																																																													
13	CBR _{FT}	0,7	101,5	105,1																																																																													
14	CBR _{FT}	0,7	101,2	110,9																																																																													
MW				109,5																																																																													
Standardabweichung				3,1																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	---																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	---																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung Bk.Si.09F.42<2, GK 8 mm (82869-3)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>9 %</td> <td>42 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GU</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	9 %	42 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GU																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
9 %	42 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GU																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,666 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 13,4 \%$ $\rho_d = 1,83 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>10,54</td><td>1,780</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>12,46</td><td>1,833</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>13,98</td><td>1,860</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>13,32</td><td>1,848</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>8,51</td><td>1,759</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>13,45</td><td>1,840</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>13,52</td><td>1,848</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>13,47</td><td>1,841</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,71</td><td>1,815</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,78</td><td>1,820</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,79</td><td>1,816</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,41</td><td>1,823</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,45</td><td>1,826</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,22</td><td>1,836</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>13,35</td><td>1,807</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	10,54	1,780	2	Proctor	12,46	1,833	3	Proctor	13,98	1,860	4	Proctor	13,32	1,848	5	Proctor	8,51	1,759	6	CBR ₀	13,45	1,840	7	CBR ₀	13,52	1,848	8	CBR ₀	13,47	1,841	9	CBR _{FT}	13,71	1,815	10	CBR _{FT}	13,78	1,820	11	CBR _{FT}	13,79	1,816	12	CBR _{FT}	13,41	1,823	13	CBR _{FT}	13,45	1,826	14	CBR _{FT}	13,22	1,836	15	k	13,35	1,807																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	10,54	1,780																																																																														
2	Proctor	12,46	1,833																																																																														
3	Proctor	13,98	1,860																																																																														
4	Proctor	13,32	1,848																																																																														
5	Proctor	8,51	1,759																																																																														
6	CBR ₀	13,45	1,840																																																																														
7	CBR ₀	13,52	1,848																																																																														
8	CBR ₀	13,47	1,841																																																																														
9	CBR _{FT}	13,71	1,815																																																																														
10	CBR _{FT}	13,78	1,820																																																																														
11	CBR _{FT}	13,79	1,816																																																																														
12	CBR _{FT}	13,41	1,823																																																																														
13	CBR _{FT}	13,45	1,826																																																																														
14	CBR _{FT}	13,22	1,836																																																																														
15	k	13,35	1,807																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,0</td><td>100,4</td><td>92,4</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,1</td><td>100,9</td><td>103,4</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,0</td><td>100,4</td><td>101,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>99,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>4,9</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,3</td><td>99,0</td><td>101,8</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,3</td><td>99,3</td><td>112,8</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,3</td><td>99,1</td><td>111,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>108,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>4,9</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,0</td><td>99,5</td><td>95,2</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,0</td><td>99,6</td><td>98,7</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,2</td><td>100,2</td><td>93,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>95,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,2</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,0	100,4	92,4	7	CBR ₀	0,1	100,9	103,4	8	CBR ₀	0,0	100,4	101,8	MW				99,2	Standardabweichung				4,9	9	CBR _{NT}	0,3	99,0	101,8	10	CBR _{NT}	0,3	99,3	112,8	11	CBR _{NT}	0,3	99,1	111,2	MW				108,6	Standardabweichung				4,9	12	CBR _{FT}	0,0	99,5	95,2	13	CBR _{FT}	0,0	99,6	98,7	14	CBR _{FT}	-0,2	100,2	93,4	MW				95,8	Standardabweichung				2,2
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,0	100,4	92,4																																																																													
7	CBR ₀	0,1	100,9	103,4																																																																													
8	CBR ₀	0,0	100,4	101,8																																																																													
MW				99,2																																																																													
Standardabweichung				4,9																																																																													
9	CBR _{NT}	0,3	99,0	101,8																																																																													
10	CBR _{NT}	0,3	99,3	112,8																																																																													
11	CBR _{NT}	0,3	99,1	111,2																																																																													
MW				108,6																																																																													
Standardabweichung				4,9																																																																													
12	CBR _{FT}	0,0	99,5	95,2																																																																													
13	CBR _{FT}	0,0	99,6	98,7																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,2	100,2	93,4																																																																													
MW				95,8																																																																													
Standardabweichung				2,2																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$5,81 \cdot 10^{-6}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$5,81 \cdot 10^{-6}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$5,81 \cdot 10^{-6}$																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung RC.Si.14F.56<2, GK 32 mm (82870-1)

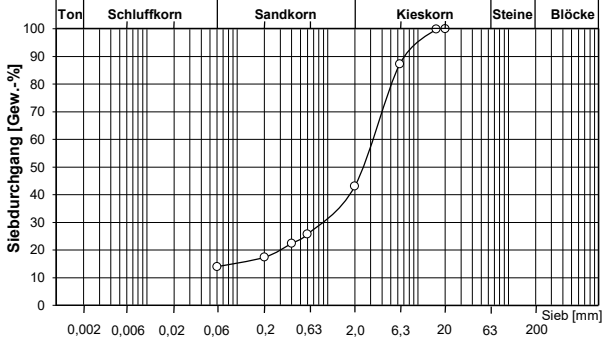
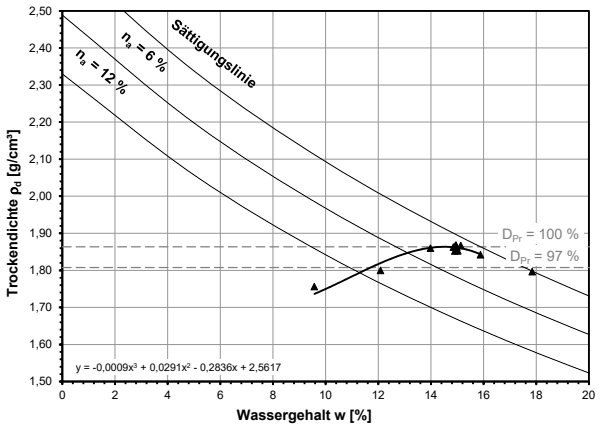
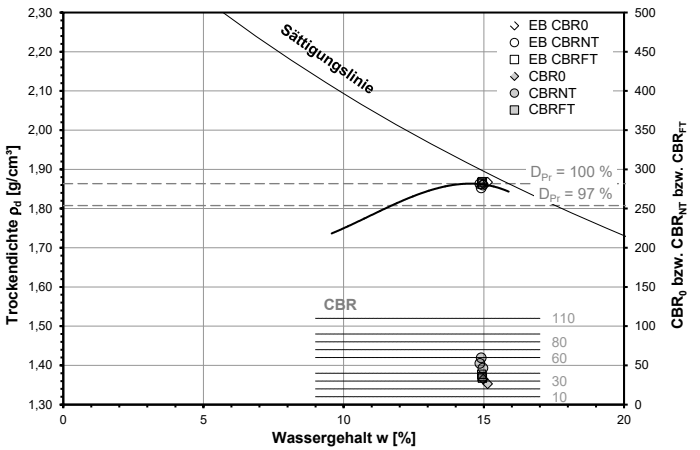
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>14 %</td> <td>56 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	14 %	56 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
14 %	56 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,667 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 14,9 \%$ $\rho_d = 1,88 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>9,24</td><td>1,787</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>11,39</td><td>1,801</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>12,94</td><td>1,879</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>14,91</td><td>1,883</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>12,35</td><td>1,841</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>13,60</td><td>1,842</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>13,51</td><td>1,851</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>13,46</td><td>1,850</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,38</td><td>1,841</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,31</td><td>1,840</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,15</td><td>1,854</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,54</td><td>1,847</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,59</td><td>1,838</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,93</td><td>1,846</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>13,37</td><td>1,842</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	9,24	1,787	2	Proctor	11,39	1,801	3	Proctor	12,94	1,879	4	Proctor	14,91	1,883	5	Proctor	12,35	1,841	6	CBR ₀	13,60	1,842	7	CBR ₀	13,51	1,851	8	CBR ₀	13,46	1,850	9	CBR _{FT}	13,38	1,841	10	CBR _{FT}	13,31	1,840	11	CBR _{FT}	14,15	1,854	12	CBR _{FT}	13,54	1,847	13	CBR _{FT}	13,59	1,838	14	CBR _{FT}	12,93	1,846	15	k	13,37	1,842																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	9,24	1,787																																																																														
2	Proctor	11,39	1,801																																																																														
3	Proctor	12,94	1,879																																																																														
4	Proctor	14,91	1,883																																																																														
5	Proctor	12,35	1,841																																																																														
6	CBR ₀	13,60	1,842																																																																														
7	CBR ₀	13,51	1,851																																																																														
8	CBR ₀	13,46	1,850																																																																														
9	CBR _{FT}	13,38	1,841																																																																														
10	CBR _{FT}	13,31	1,840																																																																														
11	CBR _{FT}	14,15	1,854																																																																														
12	CBR _{FT}	13,54	1,847																																																																														
13	CBR _{FT}	13,59	1,838																																																																														
14	CBR _{FT}	12,93	1,846																																																																														
15	k	13,37	1,842																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>98,2</td><td>64,9</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-1,4</td><td>98,7</td><td>73,7</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-1,4</td><td>98,7</td><td>98,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>79,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>14,4</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,5</td><td>98,2</td><td>80,2</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,6</td><td>98,1</td><td>122,5</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,8</td><td>98,9</td><td>139,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>114,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>25,1</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,4</td><td>98,5</td><td>83,5</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,3</td><td>98,0</td><td>92,6</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-2,0</td><td>98,4</td><td>85,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>87,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>3,9</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-1,3	98,2	64,9	7	CBR ₀	-1,4	98,7	73,7	8	CBR ₀	-1,4	98,7	98,9	MW				79,2	Standardabweichung				14,4	9	CBR _{NT}	-1,5	98,2	80,2	10	CBR _{NT}	-1,6	98,1	122,5	11	CBR _{NT}	-0,8	98,9	139,9	MW				114,2	Standardabweichung				25,1	12	CBR _{FT}	-1,4	98,5	83,5	13	CBR _{FT}	-1,3	98,0	92,6	14	CBR _{FT}	-2,0	98,4	85,6	MW				87,2	Standardabweichung				3,9
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-1,3	98,2	64,9																																																																													
7	CBR ₀	-1,4	98,7	73,7																																																																													
8	CBR ₀	-1,4	98,7	98,9																																																																													
MW				79,2																																																																													
Standardabweichung				14,4																																																																													
9	CBR _{NT}	-1,5	98,2	80,2																																																																													
10	CBR _{NT}	-1,6	98,1	122,5																																																																													
11	CBR _{NT}	-0,8	98,9	139,9																																																																													
MW				114,2																																																																													
Standardabweichung				25,1																																																																													
12	CBR _{FT}	-1,4	98,5	83,5																																																																													
13	CBR _{FT}	-1,3	98,0	92,6																																																																													
14	CBR _{FT}	-2,0	98,4	85,6																																																																													
MW				87,2																																																																													
Standardabweichung				3,9																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$7,15 \cdot 10^{-7}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$7,15 \cdot 10^{-7}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$7,15 \cdot 10^{-7}$																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung RC.Si.06F.53<2, GK 32 mm (82870-2)

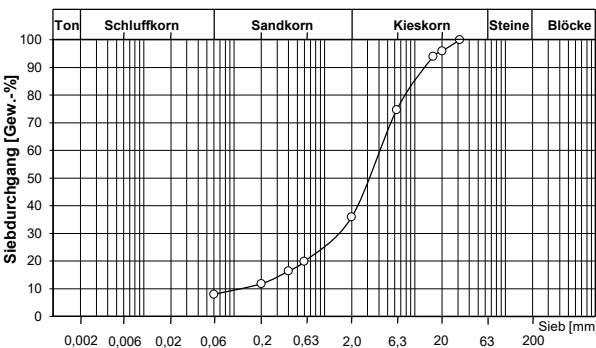
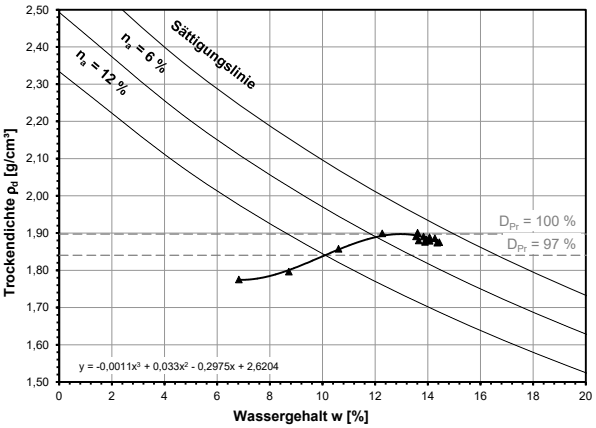
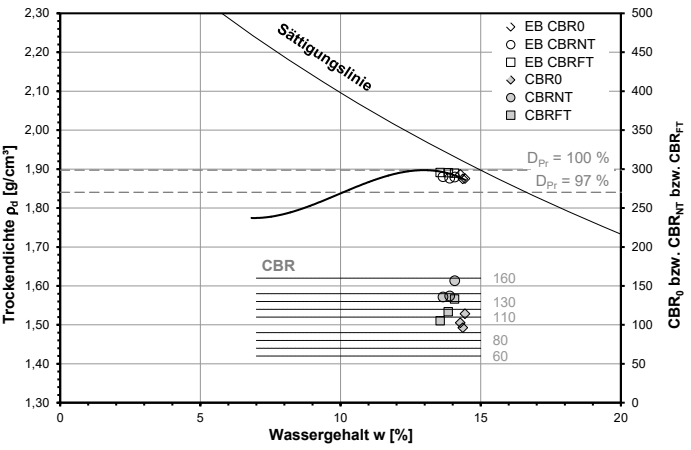
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p>	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>6 %</td> <td>53 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GU</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	6 %	53 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GU																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
6 %	53 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GU																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,663 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p> <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 15,7 \%$ $\rho_d = 1,81 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>10,19</td><td>1,785</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>12,44</td><td>1,801</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>14,29</td><td>1,823</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>15,69</td><td>1,811</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>13,11</td><td>1,826</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>13,70</td><td>1,793</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>13,22</td><td>1,793</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>13,03</td><td>1,803</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,25</td><td>1,805</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,55</td><td>1,802</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,12</td><td>1,802</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,27</td><td>1,799</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>12,98</td><td>1,812</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,34</td><td>1,797</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>13,22</td><td>1,782</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	10,19	1,785	2	Proctor	12,44	1,801	3	Proctor	14,29	1,823	4	Proctor	15,69	1,811	5	Proctor	13,11	1,826	6	CBR ₀	13,70	1,793	7	CBR ₀	13,22	1,793	8	CBR ₀	13,03	1,803	9	CBR _{FT}	13,25	1,805	10	CBR _{FT}	13,55	1,802	11	CBR _{FT}	13,12	1,802	12	CBR _{FT}	13,27	1,799	13	CBR _{FT}	12,98	1,812	14	CBR _{FT}	13,34	1,797	15	k	13,22	1,782																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	10,19	1,785																																																																														
2	Proctor	12,44	1,801																																																																														
3	Proctor	14,29	1,823																																																																														
4	Proctor	15,69	1,811																																																																														
5	Proctor	13,11	1,826																																																																														
6	CBR ₀	13,70	1,793																																																																														
7	CBR ₀	13,22	1,793																																																																														
8	CBR ₀	13,03	1,803																																																																														
9	CBR _{FT}	13,25	1,805																																																																														
10	CBR _{FT}	13,55	1,802																																																																														
11	CBR _{FT}	13,12	1,802																																																																														
12	CBR _{FT}	13,27	1,799																																																																														
13	CBR _{FT}	12,98	1,812																																																																														
14	CBR _{FT}	13,34	1,797																																																																														
15	k	13,22	1,782																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-2,0</td><td>98,9</td><td>93,3</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-2,5</td><td>98,9</td><td>79,3</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-2,7</td><td>99,4</td><td>94,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>89,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>7,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-2,4</td><td>99,6</td><td>127,3</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-2,1</td><td>99,4</td><td>122,0</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-2,6</td><td>99,4</td><td>110,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>119,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>7,1</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-2,4</td><td>99,2</td><td>95,5</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-2,7</td><td>99,9</td><td>94,8</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-2,4</td><td>99,1</td><td>98,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>96,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>1,4</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-2,0	98,9	93,3	7	CBR ₀	-2,5	98,9	79,3	8	CBR ₀	-2,7	99,4	94,9	MW				89,2	Standardabweichung				7,0	9	CBR _{NT}	-2,4	99,6	127,3	10	CBR _{NT}	-2,1	99,4	122,0	11	CBR _{NT}	-2,6	99,4	110,2	MW				119,8	Standardabweichung				7,1	12	CBR _{FT}	-2,4	99,2	95,5	13	CBR _{FT}	-2,7	99,9	94,8	14	CBR _{FT}	-2,4	99,1	98,0	MW				96,1	Standardabweichung				1,4
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-2,0	98,9	93,3																																																																													
7	CBR ₀	-2,5	98,9	79,3																																																																													
8	CBR ₀	-2,7	99,4	94,9																																																																													
MW				89,2																																																																													
Standardabweichung				7,0																																																																													
9	CBR _{NT}	-2,4	99,6	127,3																																																																													
10	CBR _{NT}	-2,1	99,4	122,0																																																																													
11	CBR _{NT}	-2,6	99,4	110,2																																																																													
MW				119,8																																																																													
Standardabweichung				7,1																																																																													
12	CBR _{FT}	-2,4	99,2	95,5																																																																													
13	CBR _{FT}	-2,7	99,9	94,8																																																																													
14	CBR _{FT}	-2,4	99,1	98,0																																																																													
MW				96,1																																																																													
Standardabweichung				1,4																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$5,12 \cdot 10^{-6}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$5,12 \cdot 10^{-6}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$5,12 \cdot 10^{-6}$																																																																															

Mischungen RC-Beton mit Ton (RC.CI)

Einzelergebnisse zur Mischung RC.Cl.14F.43<2, GK 8 mm (82873-1)

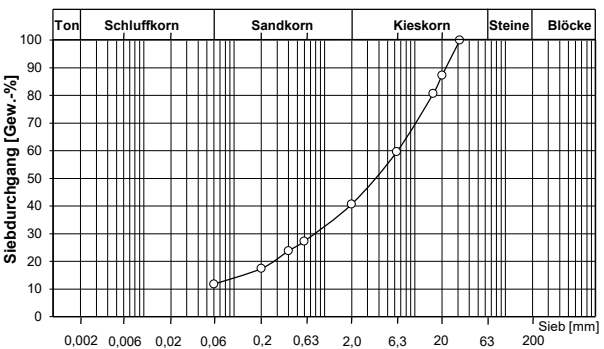
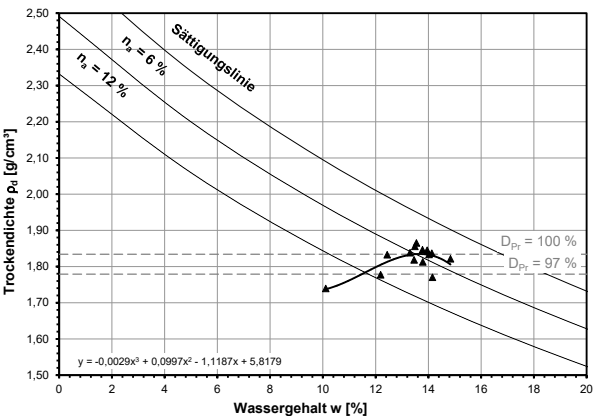
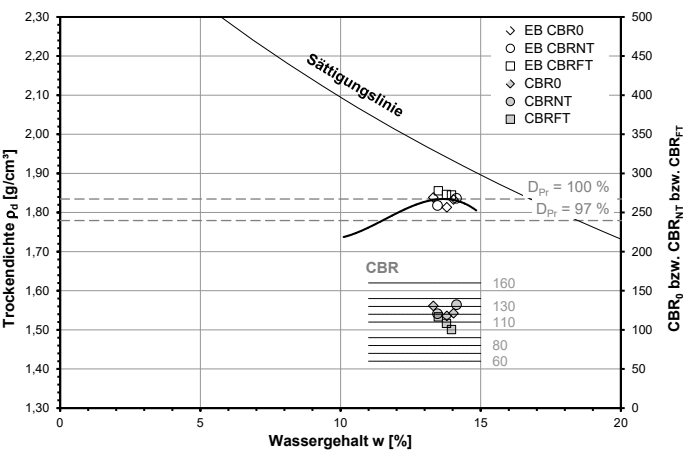
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>14 %</td> <td>43 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GT</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	14 %	43 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GT																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
14 %	43 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GT																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,647 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 14,5 \%$ $\rho_d = 1,86 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>9,58</td><td>1,757</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>12,09</td><td>1,800</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>13,99</td><td>1,860</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>15,89</td><td>1,842</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>17,85</td><td>1,797</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>15,14</td><td>1,867</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>14,98</td><td>1,863</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,91</td><td>1,852</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,97</td><td>1,860</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,86</td><td>1,863</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,93</td><td>1,866</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,94</td><td>1,862</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,95</td><td>1,868</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>15,03</td><td>1,853</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	9,58	1,757	2	Proctor	12,09	1,800	3	Proctor	13,99	1,860	4	Proctor	15,89	1,842	5	Proctor	17,85	1,797	6	CBR ₀	15,14	1,867	7	CBR ₀	-	-	8	CBR ₀	14,98	1,863	9	CBR _{FT}	14,91	1,852	10	CBR _{FT}	14,97	1,860	11	CBR _{FT}	14,86	1,863	12	CBR _{FT}	14,93	1,866	13	CBR _{FT}	14,94	1,862	14	CBR _{FT}	14,95	1,868	15	k	15,03	1,853																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	9,58	1,757																																																																														
2	Proctor	12,09	1,800																																																																														
3	Proctor	13,99	1,860																																																																														
4	Proctor	15,89	1,842																																																																														
5	Proctor	17,85	1,797																																																																														
6	CBR ₀	15,14	1,867																																																																														
7	CBR ₀	-	-																																																																														
8	CBR ₀	14,98	1,863																																																																														
9	CBR _{FT}	14,91	1,852																																																																														
10	CBR _{FT}	14,97	1,860																																																																														
11	CBR _{FT}	14,86	1,863																																																																														
12	CBR _{FT}	14,93	1,866																																																																														
13	CBR _{FT}	14,94	1,862																																																																														
14	CBR _{FT}	14,95	1,868																																																																														
15	k	15,03	1,853																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,6</td><td>100,2</td><td>26,3</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>0,4</td><td>100,0</td><td>32,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>24,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>7,2</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>99,4</td><td>59,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,4</td><td>99,8</td><td>46,5</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,3</td><td>100,0</td><td>52,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>52,8</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>5,3</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>100,1</td><td>38,6</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>99,9</td><td>35,6</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,4</td><td>100,3</td><td>33,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>35,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,0</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,6	100,2	26,3	7	CBR ₀	-	-	-	8	CBR ₀	0,4	100,0	32,3	MW				24,5	Standardabweichung				7,2	9	CBR _{NT}	0,4	99,4	59,5	10	CBR _{NT}	0,4	99,8	46,5	11	CBR _{NT}	0,3	100,0	52,4	MW				52,8	Standardabweichung				5,3	12	CBR _{FT}	0,4	100,1	38,6	13	CBR _{FT}	0,4	99,9	35,6	14	CBR _{FT}	0,4	100,3	33,6	MW				35,9	Standardabweichung				2,0
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,6	100,2	26,3																																																																													
7	CBR ₀	-	-	-																																																																													
8	CBR ₀	0,4	100,0	32,3																																																																													
MW				24,5																																																																													
Standardabweichung				7,2																																																																													
9	CBR _{NT}	0,4	99,4	59,5																																																																													
10	CBR _{NT}	0,4	99,8	46,5																																																																													
11	CBR _{NT}	0,3	100,0	52,4																																																																													
MW				52,8																																																																													
Standardabweichung				5,3																																																																													
12	CBR _{FT}	0,4	100,1	38,6																																																																													
13	CBR _{FT}	0,4	99,9	35,6																																																																													
14	CBR _{FT}	0,4	100,3	33,6																																																																													
MW				35,9																																																																													
Standardabweichung				2,0																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$6,18 \cdot 10^{-9}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$6,18 \cdot 10^{-9}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$6,18 \cdot 10^{-9}$																																																																															

Einzelergebnisse zur Mischung RC.Cl.08F.36<2, GK 32 mm (82873-2)

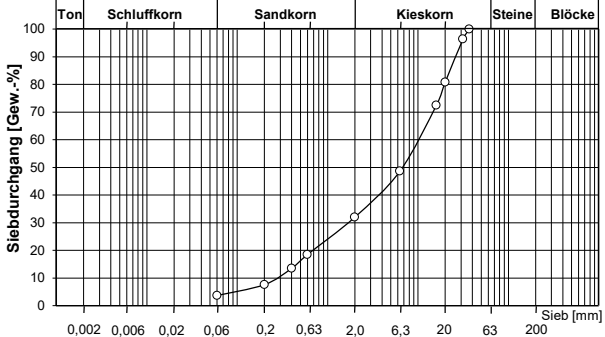
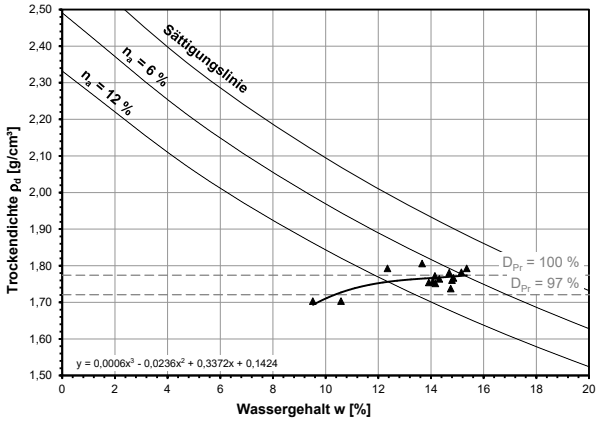
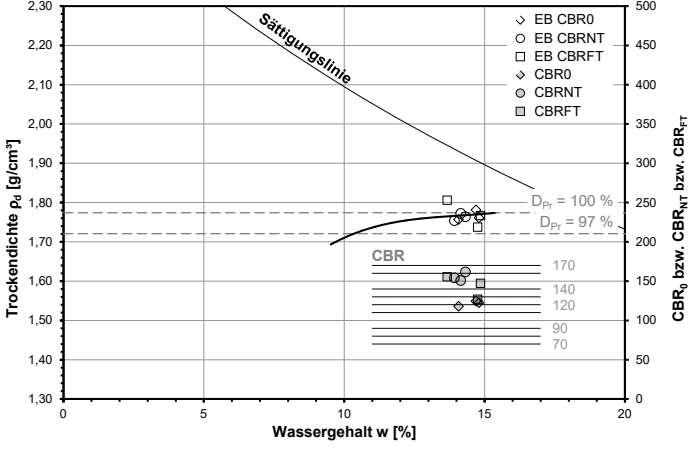
<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>8 %</td> <td>36 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	8 %	36 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
8 %	36 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>$\rho_s = 2,652 \text{ g/cm}^3$</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 13,0 \%$ $\rho_d = 1,90 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>8,72</td><td>1,797</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>10,61</td><td>1,858</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>12,27</td><td>1,899</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>13,62</td><td>1,901</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>6,82</td><td>1,776</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>14,27</td><td>1,886</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>14,36</td><td>1,875</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>14,44</td><td>1,876</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,89</td><td>1,876</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,66</td><td>1,880</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,07</td><td>1,879</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,84</td><td>1,891</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,07</td><td>1,889</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,55</td><td>1,891</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>13,94</td><td>1,884</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	8,72	1,797	2	Proctor	10,61	1,858	3	Proctor	12,27	1,899	4	Proctor	13,62	1,901	5	Proctor	6,82	1,776	6	CBR ₀	14,27	1,886	7	CBR ₀	14,36	1,875	8	CBR ₀	14,44	1,876	9	CBR _{FT}	13,89	1,876	10	CBR _{FT}	13,66	1,880	11	CBR _{FT}	14,07	1,879	12	CBR _{FT}	13,84	1,891	13	CBR _{FT}	14,07	1,889	14	CBR _{FT}	13,55	1,891	15	k	13,94	1,884																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	8,72	1,797																																																																														
2	Proctor	10,61	1,858																																																																														
3	Proctor	12,27	1,899																																																																														
4	Proctor	13,62	1,901																																																																														
5	Proctor	6,82	1,776																																																																														
6	CBR ₀	14,27	1,886																																																																														
7	CBR ₀	14,36	1,875																																																																														
8	CBR ₀	14,44	1,876																																																																														
9	CBR _{FT}	13,89	1,876																																																																														
10	CBR _{FT}	13,66	1,880																																																																														
11	CBR _{FT}	14,07	1,879																																																																														
12	CBR _{FT}	13,84	1,891																																																																														
13	CBR _{FT}	14,07	1,889																																																																														
14	CBR _{FT}	13,55	1,891																																																																														
15	k	13,94	1,884																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>1,3</td><td>99,4</td><td>102,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>1,4</td><td>98,8</td><td>96,3</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>1,5</td><td>98,9</td><td>114,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>104,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>7,5</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,9</td><td>98,9</td><td>137,1</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,7</td><td>99,1</td><td>135,8</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>1,1</td><td>99,1</td><td>156,6</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>143,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>9,5</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,9</td><td>99,7</td><td>116,9</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>1,1</td><td>99,6</td><td>133,1</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,6</td><td>99,7</td><td>105,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>118,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>11,4</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	1,3	99,4	102,5	7	CBR ₀	1,4	98,8	96,3	8	CBR ₀	1,5	98,9	114,3	MW				104,4	Standardabweichung				7,5	9	CBR _{NT}	0,9	98,9	137,1	10	CBR _{NT}	0,7	99,1	135,8	11	CBR _{NT}	1,1	99,1	156,6	MW				143,1	Standardabweichung				9,5	12	CBR _{FT}	0,9	99,7	116,9	13	CBR _{FT}	1,1	99,6	133,1	14	CBR _{FT}	0,6	99,7	105,2	MW				118,4	Standardabweichung				11,4
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	1,3	99,4	102,5																																																																													
7	CBR ₀	1,4	98,8	96,3																																																																													
8	CBR ₀	1,5	98,9	114,3																																																																													
MW				104,4																																																																													
Standardabweichung				7,5																																																																													
9	CBR _{NT}	0,9	98,9	137,1																																																																													
10	CBR _{NT}	0,7	99,1	135,8																																																																													
11	CBR _{NT}	1,1	99,1	156,6																																																																													
MW				143,1																																																																													
Standardabweichung				9,5																																																																													
12	CBR _{FT}	0,9	99,7	116,9																																																																													
13	CBR _{FT}	1,1	99,6	133,1																																																																													
14	CBR _{FT}	0,6	99,7	105,2																																																																													
MW				118,4																																																																													
Standardabweichung				11,4																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$1,79 \cdot 10^{-6}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$1,79 \cdot 10^{-6}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$1,79 \cdot 10^{-6}$																																																																															

Mischung RC-Mix mit Schluff (RCM.Si) und RC-Mix ohne Mischung (RCM)

Einzelergebnisse zur Mischung RCM.Si.12F.41<2, GK 32 mm (83247)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>12 %</td> <td>41 %</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	12 %	41 %																																																																												
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
12 %	41 %																																																																																
<p>Korndichte [DIN 18124]:</p>	<p>Klassifizierung gem. DIN 18196 GU</p> <p>--- (angenommen $\rho_s = 2,650 \text{ g/cm}^3$)</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 13,7 \%$ $\rho_d = 1,83 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>12,19</td><td>1,777</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>13,55</td><td>1,865</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>14,84</td><td>1,821</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>10,11</td><td>1,739</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>12,44</td><td>1,832</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>14,03</td><td>1,833</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>13,80</td><td>1,813</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>13,31</td><td>1,838</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,14</td><td>1,836</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,46</td><td>1,818</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,96</td><td>1,845</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,49</td><td>1,856</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,78</td><td>1,846</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>14,16</td><td>1,770</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	12,19	1,777	2	Proctor	13,55	1,865	3	Proctor	14,84	1,821	4	Proctor	10,11	1,739	5	Proctor	12,44	1,832	6	CBR ₀	14,03	1,833	7	CBR ₀	13,80	1,813	8	CBR ₀	13,31	1,838	9	CBR _{FT}	14,14	1,836	10	CBR _{FT}	13,46	1,818	11	CBR _{FT}	-	-	12	CBR _{FT}	13,96	1,845	13	CBR _{FT}	13,49	1,856	14	CBR _{FT}	13,78	1,846	15	k	14,16	1,770																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	12,19	1,777																																																																														
2	Proctor	13,55	1,865																																																																														
3	Proctor	14,84	1,821																																																																														
4	Proctor	10,11	1,739																																																																														
5	Proctor	12,44	1,832																																																																														
6	CBR ₀	14,03	1,833																																																																														
7	CBR ₀	13,80	1,813																																																																														
8	CBR ₀	13,31	1,838																																																																														
9	CBR _{FT}	14,14	1,836																																																																														
10	CBR _{FT}	13,46	1,818																																																																														
11	CBR _{FT}	-	-																																																																														
12	CBR _{FT}	13,96	1,845																																																																														
13	CBR _{FT}	13,49	1,856																																																																														
14	CBR _{FT}	13,78	1,846																																																																														
15	k	14,16	1,770																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>0,4</td><td>99,9</td><td>120,9</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>0,1</td><td>98,8</td><td>117,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,4</td><td>100,2</td><td>130,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>122,9</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>5,4</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>0,5</td><td>100,1</td><td>132,2</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-0,2</td><td>99,1</td><td>120,6</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>126,0</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>4,7</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,3</td><td>100,6</td><td>100,3</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,2</td><td>101,1</td><td>116,5</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>0,1</td><td>100,6</td><td>108,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>108,3</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>6,6</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	0,4	99,9	120,9	7	CBR ₀	0,1	98,8	117,5	8	CBR ₀	-0,4	100,2	130,4	MW				122,9	Standardabweichung				5,4	9	CBR _{NT}	0,5	100,1	132,2	10	CBR _{NT}	-0,2	99,1	120,6	11	CBR _{NT}	-	-	-	MW				126,0	Standardabweichung				4,7	12	CBR _{FT}	0,3	100,6	100,3	13	CBR _{FT}	-0,2	101,1	116,5	14	CBR _{FT}	0,1	100,6	108,1	MW				108,3	Standardabweichung				6,6
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	0,4	99,9	120,9																																																																													
7	CBR ₀	0,1	98,8	117,5																																																																													
8	CBR ₀	-0,4	100,2	130,4																																																																													
MW				122,9																																																																													
Standardabweichung				5,4																																																																													
9	CBR _{NT}	0,5	100,1	132,2																																																																													
10	CBR _{NT}	-0,2	99,1	120,6																																																																													
11	CBR _{NT}	-	-	-																																																																													
MW				126,0																																																																													
Standardabweichung				4,7																																																																													
12	CBR _{FT}	0,3	100,6	100,3																																																																													
13	CBR _{FT}	-0,2	101,1	116,5																																																																													
14	CBR _{FT}	0,1	100,6	108,1																																																																													
MW				108,3																																																																													
Standardabweichung				6,6																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15</td><td>k</td><td>$4,07 \cdot 10^{-7}$</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$4,07 \cdot 10^{-7}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$4,07 \cdot 10^{-7}$																																																																															

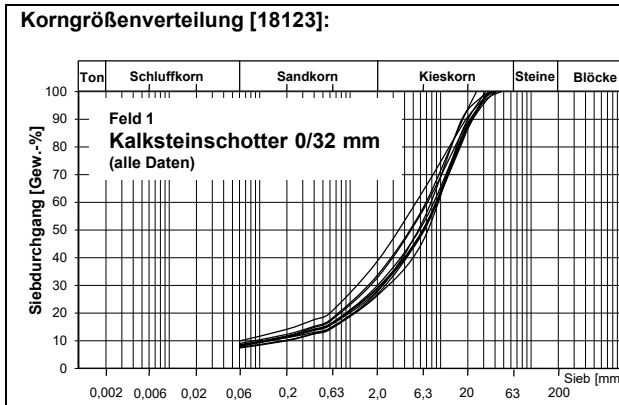
Einzelergebnisse zur Mischung RCM.4F.32<2, GK 32 mm (83319)

<p>Korngrößenverteilung [18123]:</p> 	<table border="1"> <tr> <td>Anteil < 0,06 mm</td> <td>Anteil < 2 mm</td> </tr> <tr> <td>4 %</td> <td>32 %</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Klassifizierung gem. DIN 18196</td> </tr> <tr> <td colspan="2">GI</td> </tr> </table>	Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm	4 %	32 %	Klassifizierung gem. DIN 18196		GI																																																																									
Anteil < 0,06 mm	Anteil < 2 mm																																																																																
4 %	32 %																																																																																
Klassifizierung gem. DIN 18196																																																																																	
GI																																																																																	
<p>Korndichte [DIN 18124]: (Rechn. ermittelt aus Korndichten der Ausgangsmaterialien und Mischungsverhältnis)</p>	<p>--- (angenommen $\rho_s = 2,650 \text{ g/cm}^3$)</p>																																																																																
<p>Verdichtung [DIN 18127]</p>  <p>Verdichtungsoptimum: $w_{Pr} = 15,4 \%$ $\rho_d = 1,77 \text{ g/cm}^3$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w [%]</th> <th>ρ_d [g/cm³]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Proctor</td><td>12,35</td><td>1,793</td></tr> <tr><td>2</td><td>Proctor</td><td>15,16</td><td>1,782</td></tr> <tr><td>3</td><td>Proctor</td><td>15,36</td><td>1,793</td></tr> <tr><td>4</td><td>Proctor</td><td>10,59</td><td>1,703</td></tr> <tr><td>5</td><td>Proctor</td><td>9,52</td><td>1,703</td></tr> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>14,70</td><td>1,781</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>14,08</td><td>1,757</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>14,80</td><td>1,761</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,92</td><td>1,754</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,15</td><td>1,772</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,32</td><td>1,764</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>13,67</td><td>1,806</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,76</td><td>1,737</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>14,86</td><td>1,767</td></tr> <tr><td>15</td><td>k</td><td>14,17</td><td>1,751</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]	1	Proctor	12,35	1,793	2	Proctor	15,16	1,782	3	Proctor	15,36	1,793	4	Proctor	10,59	1,703	5	Proctor	9,52	1,703	6	CBR ₀	14,70	1,781	7	CBR ₀	14,08	1,757	8	CBR ₀	14,80	1,761	9	CBR _{FT}	13,92	1,754	10	CBR _{FT}	14,15	1,772	11	CBR _{FT}	14,32	1,764	12	CBR _{FT}	13,67	1,806	13	CBR _{FT}	14,76	1,737	14	CBR _{FT}	14,86	1,767	15	k	14,17	1,751																
Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]																																																																														
1	Proctor	12,35	1,793																																																																														
2	Proctor	15,16	1,782																																																																														
3	Proctor	15,36	1,793																																																																														
4	Proctor	10,59	1,703																																																																														
5	Proctor	9,52	1,703																																																																														
6	CBR ₀	14,70	1,781																																																																														
7	CBR ₀	14,08	1,757																																																																														
8	CBR ₀	14,80	1,761																																																																														
9	CBR _{FT}	13,92	1,754																																																																														
10	CBR _{FT}	14,15	1,772																																																																														
11	CBR _{FT}	14,32	1,764																																																																														
12	CBR _{FT}	13,67	1,806																																																																														
13	CBR _{FT}	14,76	1,737																																																																														
14	CBR _{FT}	14,86	1,767																																																																														
15	k	14,17	1,751																																																																														
<p>Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>w - w_{Pr} [%]</th> <th>D_{Pr} [%]</th> <th>CBR [%]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>CBR₀</td><td>-0,7</td><td>100,4</td><td>124,3</td></tr> <tr><td>7</td><td>CBR₀</td><td>-1,3</td><td>99,0</td><td>117,7</td></tr> <tr><td>8</td><td>CBR₀</td><td>-0,6</td><td>99,2</td><td>122,2</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>121,4</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>2,8</td></tr> <tr><td>9</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,5</td><td>98,9</td><td>154,1</td></tr> <tr><td>10</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,2</td><td>99,9</td><td>150,7</td></tr> <tr><td>11</td><td>CBR_{NT}</td><td>-1,1</td><td>99,4</td><td>161,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>155,5</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>4,5</td></tr> <tr><td>12</td><td>CBR_{FT}</td><td>-1,7</td><td>101,8</td><td>155,5</td></tr> <tr><td>13</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,6</td><td>97,9</td><td>126,8</td></tr> <tr><td>14</td><td>CBR_{FT}</td><td>-0,5</td><td>99,6</td><td>147,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">MW</td><td>143,1</td></tr> <tr><td colspan="4" style="text-align: right;">Standardabweichung</td><td>12,0</td></tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]	6	CBR ₀	-0,7	100,4	124,3	7	CBR ₀	-1,3	99,0	117,7	8	CBR ₀	-0,6	99,2	122,2	MW				121,4	Standardabweichung				2,8	9	CBR _{NT}	-1,5	98,9	154,1	10	CBR _{NT}	-1,2	99,9	150,7	11	CBR _{NT}	-1,1	99,4	161,5	MW				155,5	Standardabweichung				4,5	12	CBR _{FT}	-1,7	101,8	155,5	13	CBR _{FT}	-0,6	97,9	126,8	14	CBR _{FT}	-0,5	99,6	147,1	MW				143,1	Standardabweichung				12,0
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]																																																																													
6	CBR ₀	-0,7	100,4	124,3																																																																													
7	CBR ₀	-1,3	99,0	117,7																																																																													
8	CBR ₀	-0,6	99,2	122,2																																																																													
MW				121,4																																																																													
Standardabweichung				2,8																																																																													
9	CBR _{NT}	-1,5	98,9	154,1																																																																													
10	CBR _{NT}	-1,2	99,9	150,7																																																																													
11	CBR _{NT}	-1,1	99,4	161,5																																																																													
MW				155,5																																																																													
Standardabweichung				4,5																																																																													
12	CBR _{FT}	-1,7	101,8	155,5																																																																													
13	CBR _{FT}	-0,6	97,9	126,8																																																																													
14	CBR _{FT}	-0,5	99,6	147,1																																																																													
MW				143,1																																																																													
Standardabweichung				12,0																																																																													
<p>Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nr.</th> <th>Versuch</th> <th>k [m/s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>k</td> <td>$4,47 \cdot 10^{-6}$</td> </tr> </tbody> </table>	Nr.	Versuch	k [m/s]	15	k	$4,47 \cdot 10^{-6}$																																																																										
Nr.	Versuch	k [m/s]																																																																															
15	k	$4,47 \cdot 10^{-6}$																																																																															

Kapitel: Feldversuche zur dauerhaften Tragfähigkeit

Untersuchungen im Labor

Einzelergebnisse zu Kalksteinbruch 0/32 mm



Anteil < 0,06 mm 8 - 9 % (bei Einbau, unverdichtet)	Anteil < 2 mm 28 - 29 % (bei Einbau, unverdichtet)
7 - 10 % (alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)	26 - 39 % (alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)

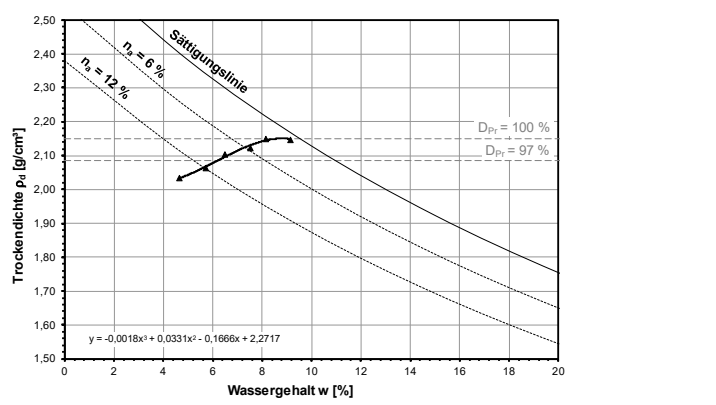
Klassifizierung gem. DIN 18196
GU

Darstellung aller Versuchsergebnisse aus Messungen bei allen Beprobungsterminen

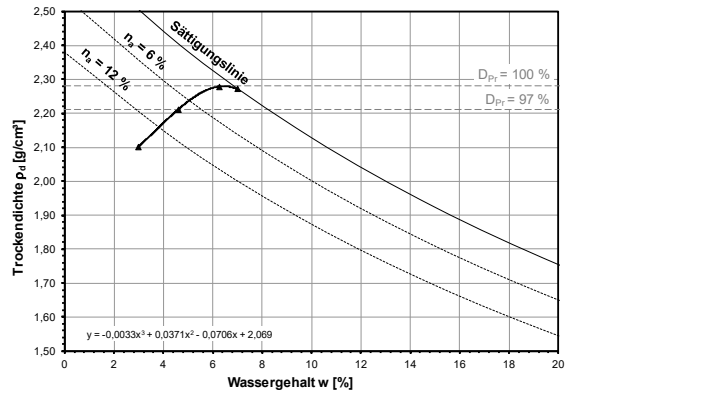
Korndichte [TP BF-StB B 3.3]:

$\rho_s = 2,71 \text{ g/cm}^3$

Verdichtung [DIN 18127]



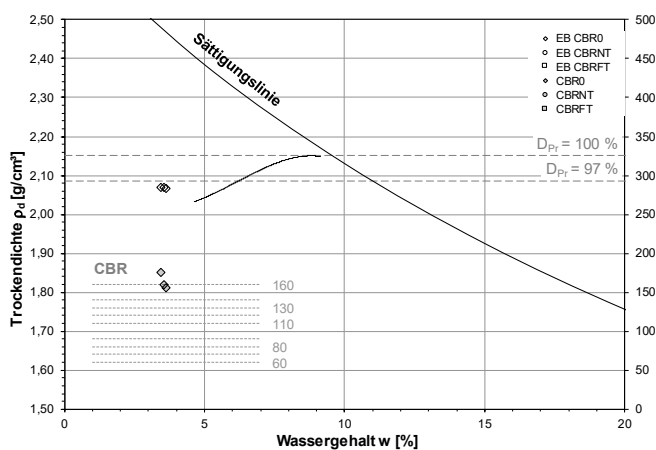
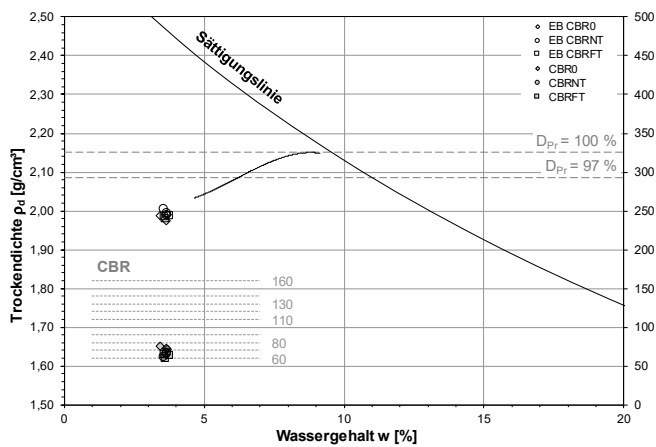
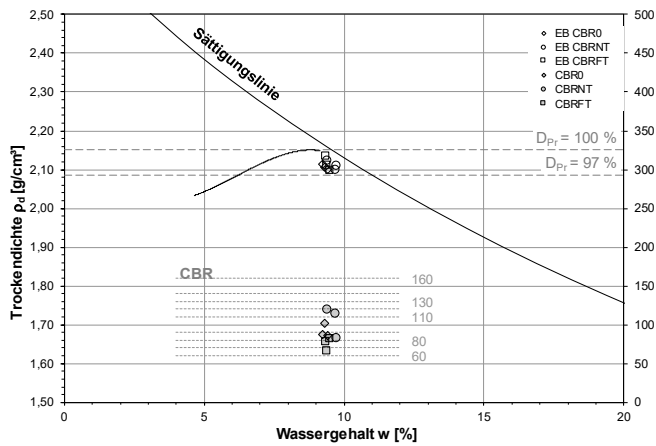
Verdichtungsoptimum Proctor:
 $w_{Pr} = 8,8 \%$
 $\rho_d = 2,15 \text{ g/cm}^3$



Verdichtungsoptimum modifizierter Proctor:
 $w_{Pr,mod} = 6,4 \%$
 $\rho_{d,mod} = 2,28 \text{ g/cm}^3$

Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]
1	Proctor	5,71	2,063
2	Proctor	7,52	2,122
3	Proctor	9,15	2,148
4	Proctor	6,47	2,103
5	Proctor	8,12	2,149
6	Proctor	4,63	2,034
7	mod. Proc.	2,96	2,101
8	mod. Proc.	4,59	2,211
9	mod. Proc.	6,24	2,279
10	mod. Proc.	6,98	2,272
11	CBR ₀	9,31	2,106
12	CBR ₀	9,23	2,115
13	CBR ₀	9,45	2,101
14	CBR _{NT}	9,42	2,123
15	CBR _{NT}	9,73	2,098
16	CBR _{NT}	9,76	2,110
17	CBR _{FT}	9,51	2,100
18	CBR _{FT}	9,36	2,137
19	CBR _{FT}	9,39	2,112
20	CBR ₀	3,69	1,991
21	CBR ₀	3,64	1,975
22	CBR ₀	3,43	1,987
23	CBR _{NT}	3,60	2,004
24	CBR _{NT}	3,69	1,993
25	CBR _{NT}	3,71	1,990
26	CBR _{FT}	3,59	1,985
27	CBR _{FT}	3,79	1,989
28	CBR _{FT}	3,64	1,982
29	CBR ₀	3,46	2,069
30	CBR ₀	3,59	2,070
31	CBR ₀	3,63	2,067
32	k	7,74	2,140

Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung [TP BF-StB Teil 7.1]:



Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
11	CBR ₀	0,5	97,9	101,9
12	CBR ₀	0,4	98,3	87,5
13	CBR ₀	0,6	97,7	86,9
MW				92,1
Standardabweichung				7,0
14	CBR _{NT}	0,6	98,7	119,5
15	CBR _{NT}	0,9	97,6	113,4
16	CBR _{NT}	0,9	98,1	82,2
MW				105,0
Standardabweichung				16,3
17	CBR _{FT}	0,7	97,7	82,4
18	CBR _{FT}	0,5	99,4	78,0
19	CBR _{FT}	0,6	98,2	67,3
MW				75,9
Standardabweichung				6,4

Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
20	CBR ₀	-5,1	92,6	72,6
21	CBR ₀	-5,2	91,8	73,7
22	CBR ₀	-5,4	92,4	75,7
MW				74,0
Standardabweichung				1,3
23	CBR _{NT}	-5,2	93,2	60,9
24	CBR _{NT}	-5,1	92,7	66,7
25	CBR _{NT}	-5,1	92,5	65,5
MW				64,4
Standardabweichung				2,5
26	CBR _{FT}	-5,2	92,3	65,8
27	CBR _{FT}	-5,0	92,5	63,5
28	CBR _{FT}	-5,2	92,1	59,8
MW				63,0
Standardabweichung				2,5

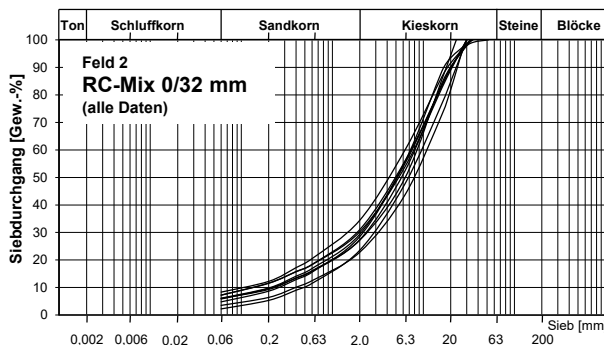
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
29	CBR ₀	-5,4	96,2	175,4
30	CBR ₀	-5,2	96,3	159,7
31	CBR ₀	-5,2	96,1	155,7
MW				163,6
Standardabweichung				8,5

Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:

Nr.	Versuch	k [m/s]
32	k	mit der Anlage nicht messbar

Einzelergebnisse zu RC-Mix 0/32 mm

Korngrößenverteilung [18123]:



Darstellung aller Versuchsergebnisse aus Messungen bei allen Beprobungsterminen

Anteil < 0,06 mm

6 - 8 %

(bei Einbau, unverdichtet)

2 - 8 %

(alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)

Anteil < 2 mm

29 - 34 %

(bei Einbau, unverdichtet)

23 - 34 %

(alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)

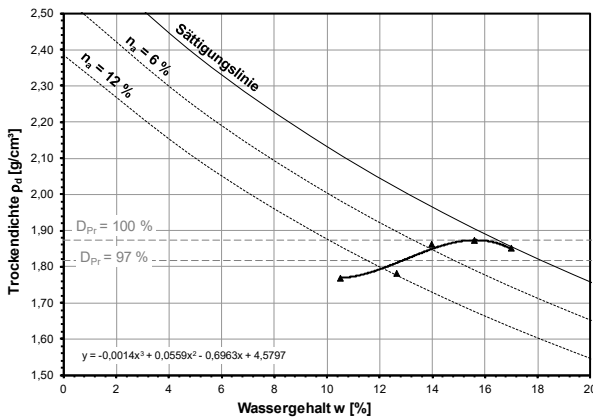
Klassifizierung gem. DIN 18196

GU

Korndichte [TP BF-StB B 3.3]:

$\rho_s = 2,66 / 2,71 \text{ g/cm}^3$ (siehe Tab. 19)

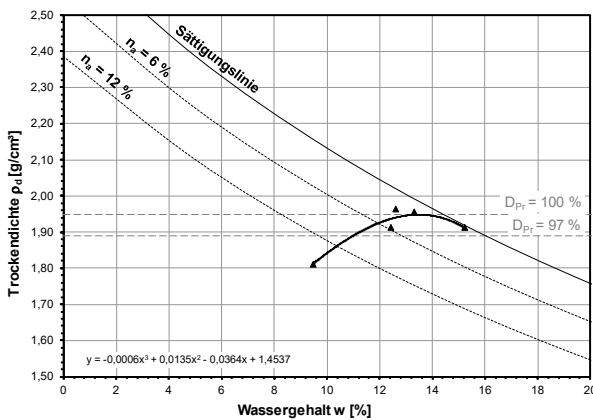
Verdichtung [DIN 18127]



Verdichtungsoptimum Proctor:

$w_{Pr} = 15,7 \%$

$\rho_d = 1,87 \text{ g/cm}^3$



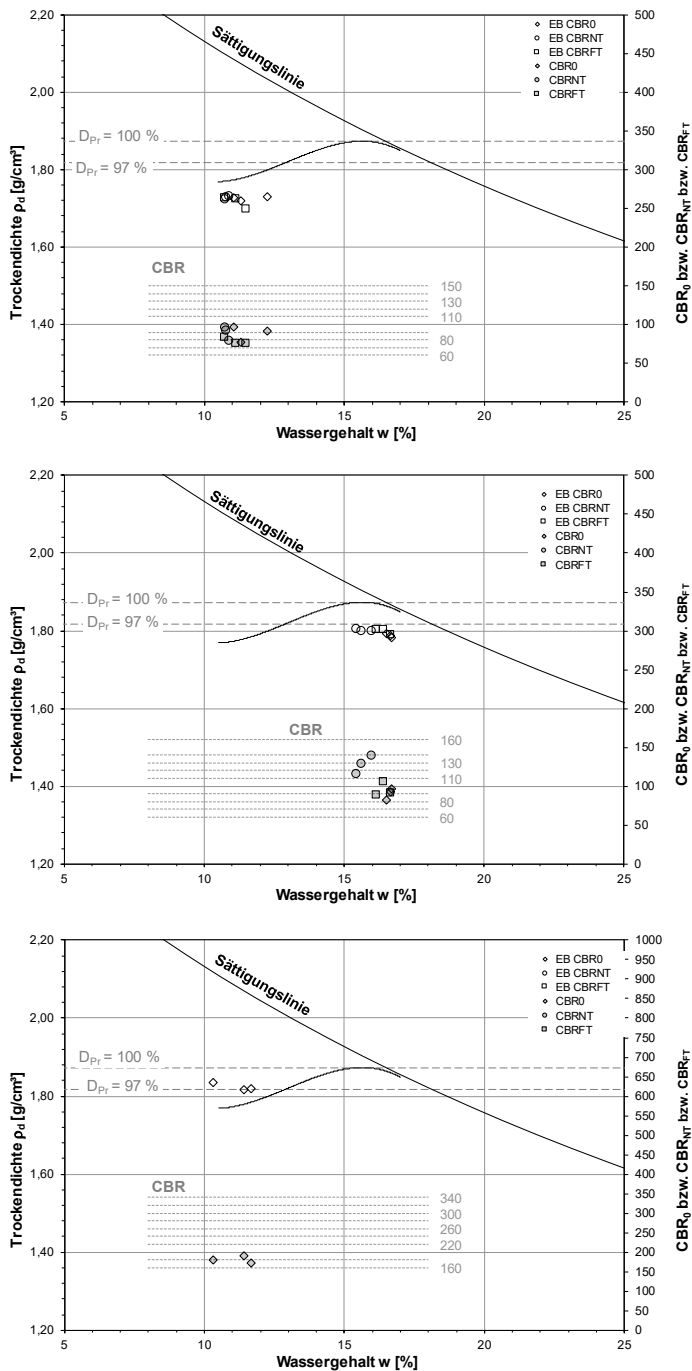
Verdichtungsoptimum modifizierter Proctor:

$w_{Pr,mod} = 13,5 \%$

$\rho_{d,mod} = 1,95 \text{ g/cm}^3$

Nr.	Versuch	w [%]	ρ_d [g/cm ³]
1	Proctor	12,62	1,781
2	Proctor	13,95	1,861
3	Proctor	15,58	1,875
4	Proctor	10,50	1,770
5	Proctor	16,98	1,852
6	mod. Proc.	9,46	1,811
7	mod. Proc.	12,41	1,915
8	mod. Proc.	12,59	1,966
9	mod. Proc.	15,21	1,913
10	mod. Proc.	13,31	1,957
11	CBR ₀	16,54	1,794
12	CBR ₀	16,70	1,784
13	CBR ₀	16,66	1,789
14	CBR _{NT}	15,67	1,799
15	CBR _{NT}	16,02	1,798
16	CBR _{NT}	15,47	1,803
17	CBR _{FT}	16,66	1,791
18	CBR _{FT}	16,18	1,803
19	CBR _{FT}	16,43	1,805
20	CBR ₀	12,26	1,728
21	CBR ₀	11,07	1,725
22	CBR ₀	11,33	1,719
23	CBR _{NT}	10,90	1,728
24	CBR _{NT}	10,77	1,720
25	CBR _{NT}	10,80	1,726
26	CBR _{FT}	11,51	1,698
27	CBR _{FT}	11,12	1,724
28	CBR _{FT}	10,76	1,726
29	CBR ₀	11,70	1,820
30	CBR ₀	11,45	1,817
31	CBR ₀	10,31	1,836
32	k	15,46	1,826

**Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung
[TP BF-StB Teil 7.1]:**



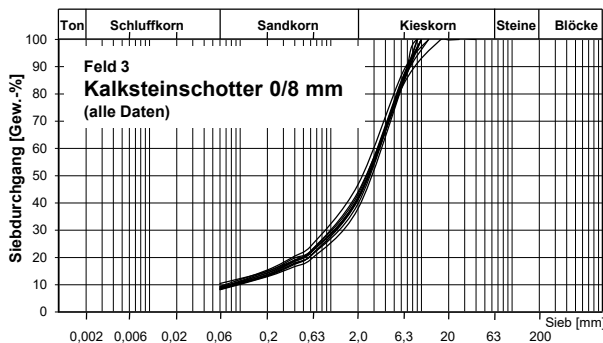
Nr.	Versuch	w - wPr [%]	DPr [%]	CBR [%]
11	CBR ₀	0,9	95,7	82,5
12	CBR ₀	1,0	95,2	96,8
13	CBR ₀	1,0	95,5	92,7
MW				90,7
Standardabweichung				6,0
14	CBR _{NT}	0,0	96,0	128,5
15	CBR _{NT}	0,4	96,0	139,5
16	CBR _{NT}	-0,2	96,3	114,8
MW				127,6
Standardabweichung				10,1
17	CBR _{FT}	1,0	95,6	91,8
18	CBR _{FT}	0,5	96,3	88,8
19	CBR _{FT}	0,8	96,4	105,8
MW				95,5
Standardabweichung				7,4
Nr.	Versuch	w - wPr [%]	DPr [%]	CBR [%]
20	CBR ₀	-3,4	92,2	91,2
21	CBR ₀	-4,6	92,1	96,5
22	CBR ₀	-4,3	91,8	76,0
MW				87,9
Standardabweichung				8,7
23	CBR _{NT}	-4,8	92,3	77,4
24	CBR _{NT}	-4,9	91,8	94,2
25	CBR _{NT}	-4,9	92,1	90,6
MW				87,4
Standardabweichung				7,2
26	CBR _{FT}	-4,2	90,6	75,4
27	CBR _{FT}	-4,5	92,0	74,4
28	CBR _{FT}	-4,9	92,1	82,9
MW				77,6
Standardabweichung				3,8
Nr.	Versuch	w - wPr [%]	DPr [%]	CBR [%]
29	CBR ₀	-4,0	97,1	173,3
30	CBR ₀	-4,2	97,0	191,8
31	CBR ₀	-5,4	98,0	181,5
MW				182,2
Standardabweichung				7,6

Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:

Nr.	Versuch	k [m/s]
32	k	1,9·10 ⁻⁶ m/s

Einzelergebnisse zu Kalksteinschotter 0/8 mm

Korngrößenverteilung [18123]:



Darstellung aller Versuchsergebnisse aus Messungen bei allen Beprobungsterminen

Anteil < 0,06 mm

9 %

(bei Einbau, unverdichtet)

8 - 11 %

(alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)

Anteil < 2 mm

40 - 42 %

(bei Einbau, unverdichtet)

38 - 47 %

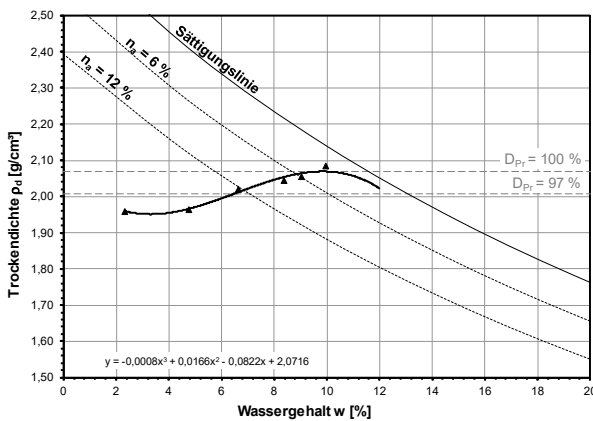
(alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)

Klassifizierung gem. DIN 18196

GU

Korndichte [TP BF-StB B 3.3]:

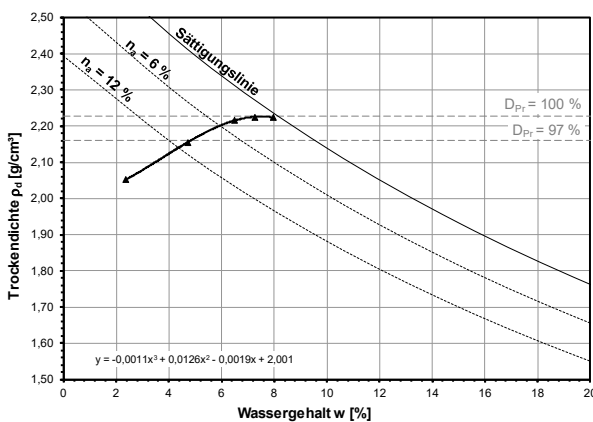
Verdichtung [DIN 18127]



Verdichtungsoptimum Proctor:

w_{Pr} = 9,9 %

ρ_d = 2,07 g/cm³



Verdichtungsoptimum modifizierter Proctor:

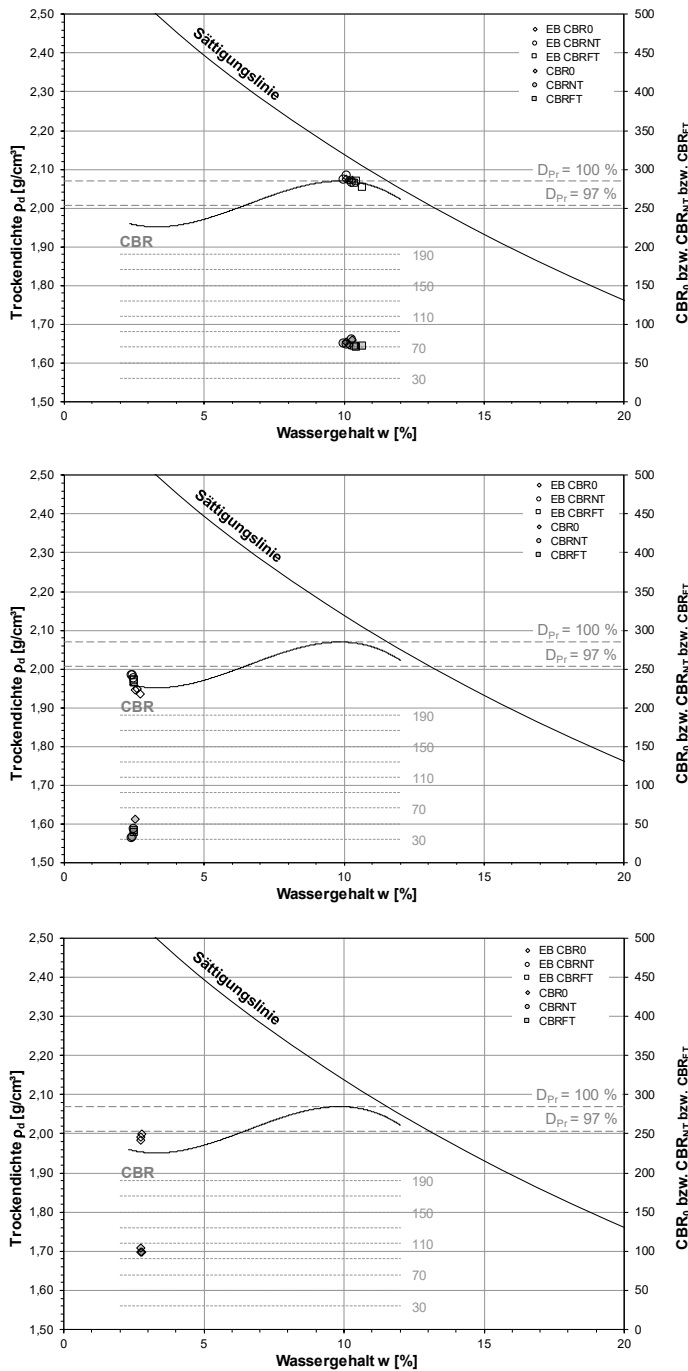
w_{Pr,mod} = 7,5 %

ρ_{d,mod} = 2,23 g/cm³

ρ_s = 2,72 g/cm³

Nr.	Versuch	w [%]	ρ _d [g/cm ³]
1	Proctor	2,31	1,960
2	Proctor	4,73	1,964
3	Proctor	6,62	2,020
4	Proctor	8,37	2,044
5	Proctor	9,96	2,084
6	Proctor	9,03	2,055
7	mod. Proc.	2,36	2,052
8	mod. Proc.	4,70	2,154
9	mod. Proc.	6,49	2,217
10	mod. Proc.	7,95	2,224
11	mod. Proc.	7,24	2,224
12	CBR ₀	10,32	2,072
13	CBR ₀	10,10	2,075
14	CBR ₀	10,20	2,073
15	CBR _{NT}	10,03	2,071
16	CBR _{NT}	10,11	2,084
17	CBR _{NT}	10,29	2,064
18	CBR _{FT}	10,44	2,069
19	CBR _{FT}	10,38	2,066
20	CBR _{FT}	10,67	2,053
21	CBR ₀	2,72	1,937
22	CBR ₀	2,61	1,950
23	CBR ₀	2,54	1,946
24	CBR _{NT}	2,48	1,983
25	CBR _{NT}	2,50	1,976
26	CBR _{NT}	2,44	1,984
27	CBR _{FT}	2,52	1,966
28	CBR _{FT}	2,53	1,969
29	CBR _{FT}	2,52	1,973
30	CBR ₀	2,79	1,998
31	CBR ₀	2,75	1,990
32	CBR ₀	2,75	1,984
33	k	9,78	2,086

**Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung
[TP BF-StB Teil 7.1]:**



Anmerkungen:

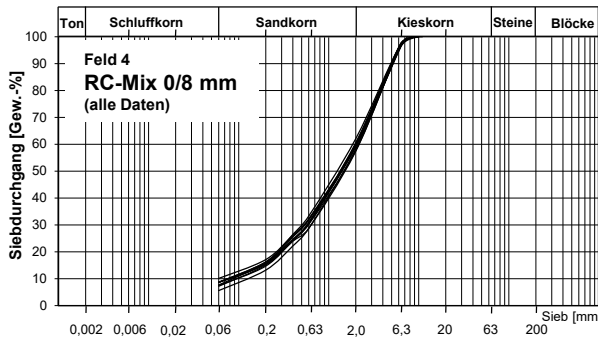
[1] CBR-Wert ausgeschlossen, da Oberfläche vor Prüfung bereits beschädigt.

Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:

Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
12	CBR ₀	0,5	100,1	79,8
13	CBR ₀	0,3	100,3	77,4
14	CBR ₀	0,4	100,2	72,7
MW				76,6
Standardabweichung				3,0
15	CBR _{NT}	0,2	100,1	74,0
16	CBR _{NT}	0,3	100,7	73,5
17	CBR _{NT}	0,5	99,8	79,3
MW				75,6
Standardabweichung				2,7
18	CBR _{FT}	0,6	100,0	70,5
19	CBR _{FT}	0,6	99,8	71,5
20	CBR _{FT}	0,9	99,2	72,4
MW				71,5
Standardabweichung				0,8
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
21	CBR ₀	-7,1	93,6	- [1]
22	CBR ₀	-7,2	94,2	- [1]
23	CBR ₀	-7,3	94,0	56,0
MW				-
Standardabweichung				-
24	CBR _{NT}	-7,3	95,8	32,7
25	CBR _{NT}	-7,3	95,5	42,6
26	CBR _{NT}	-7,4	95,9	30,8
MW				35,4
Standardabweichung				5,2
27	CBR _{FT}	-7,3	95,0	- [1]
28	CBR _{FT}	-7,3	95,2	39,1
29	CBR _{FT}	-7,3	95,3	42,1
MW				40,6
Standardabweichung				1,5
Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
30	CBR ₀	-7,0	96,5	98,2
31	CBR ₀	-7,0	96,2	103,5
32	CBR ₀	-7,0	95,9	98,5
MW				100,1
Standardabweichung				2,4
Nr.	Versuch	k [m/s]		
32	k	8,1·10 ⁻⁷ m/s		

Einzelergebnisse zu RC-Mix 0/8 mm

Korngrößenverteilung [18123]:



Darstellung aller Versuchsergebnisse aus Messungen bei allen Beprobungsterminen

Anteil < 0,06 mm

8 %

(bei Einbau, unverdichtet)

6 - 10 %

(alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)

Anteil < 2 mm

61 - 62 %

(bei Einbau, unverdichtet)

57 - 62 %

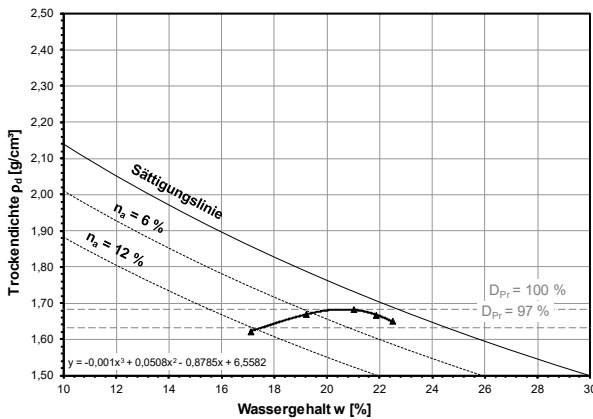
(alle Werte – verdichtet/unverdichtet u. alle Beprobungstermine)

Klassifizierung gem. DIN 18196

GU

Korndichte [TP BF-StB B 3.3]:

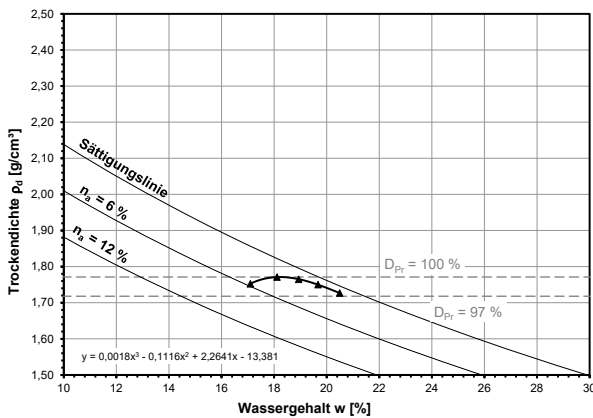
Verdichtung [DIN 18127]



Verdichtungsoptimum Proctor:

w_{Pr} = 20,6 %

ρ_d = 1,68 g/cm³



Verdichtungsoptimum modifizierter Proctor:

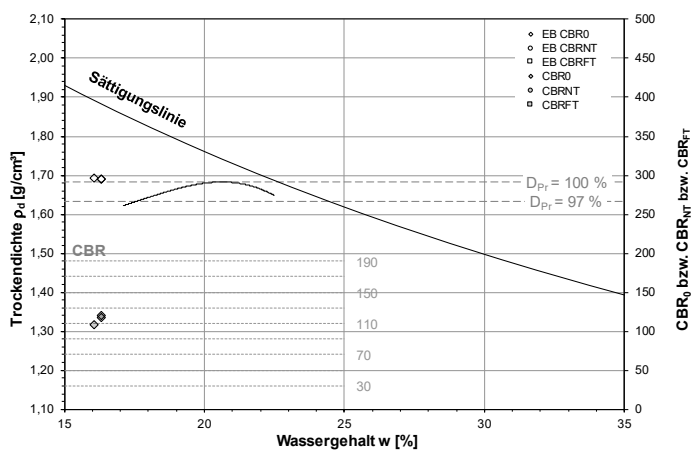
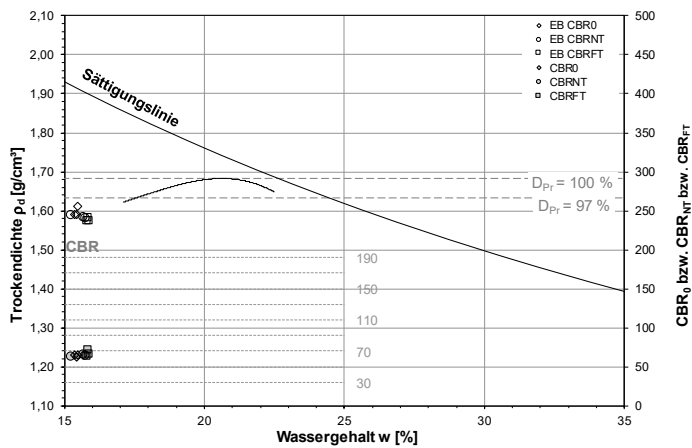
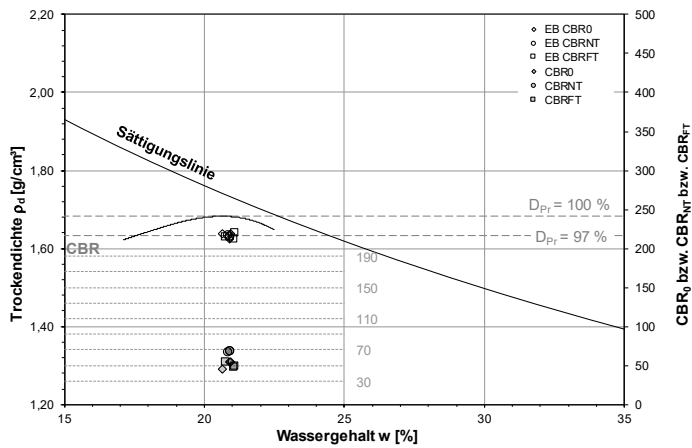
w_{Pr,mod} = 18,2 %

ρ_{d,mod} = 1,77 g/cm³

ρ_s = 2,67 / 2,72 g/cm³ (siehe Tab. 19)

Nr.	Versuch	w [%]	ρ _d [g/cm³]
1	Proctor	17,10	1,622
2	Proctor	19,22	1,668
3	Proctor	21,01	1,684
4	Proctor	22,49	1,649
5	Proctor	21,86	1,666
6	mod. Proc.	17,09	1,753
7	mod. Proc.	18,93	1,765
8	mod. Proc.	20,49	1,727
9	mod. Proc.	19,67	1,750
10	mod. Proc.	18,11	1,771
11	CBR ₀	20,90	1,626
12	CBR ₀	20,95	1,638
13	CBR ₀	20,67	1,638
14	CBR _{NT}	20,94	1,628
15	CBR _{NT}	20,94	1,630
16	CBR _{NT}	20,87	1,633
17	CBR _{FT}	21,09	1,641
18	CBR _{FT}	21,05	1,625
19	CBR _{FT}	20,77	1,630
20	CBR ₀	15,47	1,590
21	CBR ₀	15,40	1,590
22	CBR ₀	15,49	1,612
23	CBR _{NT}	15,71	1,582
24	CBR _{NT}	15,77	1,582
25	CBR _{NT}	15,28	1,589
26	CBR _{FT}	15,85	1,583
27	CBR _{FT}	15,89	1,574
28	CBR _{FT}	15,81	1,574
29	CBR ₀	16,32	1,690
30	CBR ₀	16,06	1,693
31	CBR ₀	16,32	1,691
32	k	20,7	1,656

Tragfähigkeit (CBR) ohne und mit Nachbehandlung
[TP BF-StB Teil 7.1]:



Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
11	CBR ₀	0,3	96,6	54,8
12	CBR ₀	0,3	97,4	54,7
13	CBR ₀	0,0	97,4	45,9
MW				51,8
Standardabweichung				4,2
14	CBR _{NT}	0,3	96,7	67,8
15	CBR _{NT}	0,3	96,9	68,6
16	CBR _{NT}	0,2	97,1	67,2
MW				67,9
Standardabweichung				0,6
17	CBR _{FT}	0,5	97,5	49,9
18	CBR _{FT}	0,4	96,5	48,8
19	CBR _{FT}	0,1	96,9	55,4
MW				51,4
Standardabweichung				2,9

Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
20	CBR ₀	-5,2	94,5	62,2
21	CBR ₀	-5,2	94,5	65,7
22	CBR ₀	-5,1	95,8	65,7
MW				64,5
Standardabweichung				1,6
23	CBR _{NT}	-4,9	94,0	65,9
24	CBR _{NT}	-4,8	94,0	64,3
25	CBR _{NT}	-5,3	94,4	62,6
MW				64,3
Standardabweichung				1,3
26	CBR _{FT}	-4,8	94,1	72,0
27	CBR _{FT}	-4,7	93,5	67,2
28	CBR _{FT}	-4,8	93,5	64,6
MW				67,9
Standardabweichung				3,1

Nr.	Versuch	w - w _{Pr} [%]	D _{Pr} [%]	CBR [%]
29	CBR ₀	-4,3	100,4	119,9
30	CBR ₀	-4,6	100,6	109,3
31	CBR ₀	-4,3	100,5	118,2
MW				115,8
Standardabweichung				4,7

Durchlässigkeit [DIN 18130-1]:

Nr.	Versuch	k [m/s]
32	k	2,9·10 ⁻⁷ m/s

Untersuchungen im Feld

Statische Plattendruckversuche

		Teilfeld SÜD			Teilfeld NORD		
		E_{v2}	E_{v1}	E_{v2}/E_{v1}	E_{v2}	E_{v1}	E_{v2}/E_{v1}
		[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]
Feld 1	22.11.2017	44,9	13,5	3,3	138,6	36,6	3,8
	10.01.2018	62,9	14,6	4,3	122,1	26,0	4,7
	04.04.2018	83,5	17,3	4,8	160,1	26,9	6,0
	07.06.2018	153,3	23,9	6,4	154,2	22,0	7,0
Feld 2	22.11.2017	114,8	28,1	4,1	121,4	30,7	4,0
	10.01.2018	206,7	34,4	6,0	248,1	39,7	6,2
	04.04.2018	294,0	36,1	8,1	278,6	41,0	6,8
	07.06.2018	364,1	71,3	5,1	352,2	52,7	6,7
Feld 3	22.11.2017	129,2	25,8	5,0	118,4	24,7	4,8
	10.01.2018	117,2	22,6	5,2	115,9	20,0	5,8
	04.04.2018	120,0	17,9	6,7	120,2	17,7	6,8
	07.06.2018	121,6	18,6	6,5	114,0	22,7	5,0
Feld 4	22.11.2017	82,3	29,4	2,8	77,6	26,0	3,0
	10.01.2018	135,1	35,5	3,8	125,3	28,5	4,4
	04.04.2018	170,7	24,2	7,1	190,7	24,3	7,8
	07.06.2018	238,5	38,1	6,3	205,1	32,9	6,2

Dynamische Plattendruckversuche

		Teilfeld SÜD			Teilfeld NORD		
		$E_{vd}(a)$	$E_{vd}(b)$	MW	$E_{vd}(a)$	$E_{vd}(b)$	MW
		[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
Feld 1	22.11.2017	25,2	26,1	25,7	44,29	43,27	43,8
	10.01.2018	36,29	40,98	38,6	49,23	45,28	47,3
	04.04.2018	47,87	55,42	51,6	62,50	64,66	63,6
	07.06.2018	62,3 61,3	63,7 68,2	63,9	53,1 57,1	57,1 55,7	55,7
Feld 2	22.11.2017	27,92	28,66	28,3	25,98	27,08	26,5
	10.01.2018	92,98	58,59	75,8	98,68	96,15	97,4
	04.04.2018	111,39	107,14	109,3	96,57	96,98	96,8
	07.06.2018	75,8 62,2	75,8 68,6	70,6	90,0 86,2	66,6 69,0	78,0
Feld 3	22.11.2017	40,18	39,75	40,0	35,89	35,27	35,6
	10.01.2018	42,13	33,23	37,7	35,38	40,18	37,8
	04.04.2018	49,56	40,32	44,9	45,73	44,82	45,3
	07.06.2018	38,7 43,0	40,5 42,9	41,2	41,6 42,4	40,0 41,4	41,4
Feld 4	22.11.2017	19,62	20,79	20,2	18,73	19,82	19,3
	10.01.2018	52,08	41,13	46,6	46,20	46,11	46,2
	04.04.2018	78,13	63,03	70,6	73,05	77,85	75,5
	07.06.2018	79,0 74,0	76,5 68,2	74,4	77,9 76,8	71,4 79,5	76,4

Densitometer (Ballonverfahren)

		Teilfeld SÜD			Teilfeld NORD		
		$\rho_d(a)$	$\rho_d(b)$	MW	$\rho_d(a)$	$\rho_d(b)$	MW
		[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]
Feld 1	22.11.2017	2,093	2,021	2,057	2,108	2,047	2,078
	10.01.2018	2,060	-	2,060	2,121	-	2,121
	04.04.2018	1,984	-	1,984	2,035	-	2,035
	07.06.2018	2,062	-	2,062	2,001	-	2,001
Feld 2	22.11.2017	1,812	1,802	1,807	1,893	1,832	1,863
	10.01.2018	1,780	-	1,780	1,775	-	1,775
	04.04.2018	1,707	-	1,707	1,694	-	1,694
	07.06.2018	1,795	-	1,795	1,638	-	1,638
Feld 3	22.11.2017	(2,273)	2,027	2,027	1,933	1,999	1,966
	10.01.2018	1,975	-	1,975	1,861	-	1,861
	04.04.2018	1,916	-	1,916	1,997	-	1,997
	07.06.2018	1,896	-	1,896	1,984	-	1,984
Feld 4	22.11.2017	1,589	(1,807)	1,589	(1,738)	1,633	1,633
	10.01.2018	1,422	-	1,422	1,580	-	1,580
	04.04.2018	1,435	-	1,435	1,496	-	1,496
	07.06.2018	1,527	-	1,527	1,522	-	1,522

Isotopensonde (Troxler)

		Teilfeld SÜD				Teilfeld NORD			
		ρ_d	ρ_d	ρ_d	ρ_d	ρ_d	ρ_d	ρ_d	ρ_d
		MW	5 cm	15 cm	30 cm	MW	5 cm	15 cm	30 cm
		[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[g/cm ³]
Feld 1	22.11.2017	2,069	2,059	2,067	2,081	2,103	2,088	2,123	2,100
	10.01.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	04.04.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	07.06.2018	2,078	2,036	2,095	2,102	2,031	1,972	2,093	2,092
Feld 2	22.11.2017	1,808	1,821	1,816	1,787	1,818	1,830	1,843	1,783
	10.01.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	04.04.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	07.06.2018	1,819	1,769	1,847	1,842	1,795	1,711	1,836	1,839
Feld 3	22.11.2017	2,065	2,055	2,079	2,061	2,041	2,041	2,041	2,041
	10.01.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	04.04.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	07.06.2018	2,030	2,032	2,057	2,000	2,013	1,971	2,038	2,031
Feld 4	22.11.2017	1,662	1,661	1,682	1,644	1,658	1,665	1,681	1,629
	10.01.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	04.04.2018	-	-	-	-	-	-	-	-
	07.06.2018	1,627	1,582	1,655	1,643	1,611	1,557	1,640	1,635

Feld CBR-Versuche (statisch und dynamisch)

		Teilfeld SÜD	Teilfeld NORD	Teilfeld SÜD (jeweils MW aus 4 Werten)		Teilfeld NORD (jeweils MW aus 4 Werten)	
		CBR_{stat} [%]	CBR_{stat} [%]	CBR_{d,1} [%]	CBR_{d,2} [%]	CBR_{d,1} [%]	CBR_{d,2} [%]
Feld 1	22.11.2017	15,3	14,2	26,5	42,8	29,0	48,8
	10.01.2018	-	-	24,8	38,3	29,8	43,5
	04.04.2018	-	-	22,3	40,8	23,5	46,0
	07.06.2018	-	-	25,8	68,0	25,8	59,3
Feld 2	22.11.2017	27,6	25,7	26,3	41,8	27,8	42,0
	10.01.2018	-	-	32,8	75,3	36,0	89,0
	04.04.2018	-	-	29,5	101,3	33,5	105,3
	07.06.2018	-	-	42,8	120,0	42,8	118,5
Feld 3	22.11.2017	15,4	17,9	22,5	42,8	23,8	37,8
	10.01.2018	-	-	23,3	33,0	24,8	34,5
	04.04.2018	-	-	19,3	32,5	20,0	35,5
	07.06.2018	-	-	20,5	40,0	20,8	40,8
Feld 4	22.11.2017	20,1	20,9	22,3	32,0	21,5	32,3
	10.01.2018	-	-	34,0	63,0	32,3	60,0
	04.04.2018	-	-	25,3	52,8	24,8	61,3
	07.06.2018	-	-	30,0	84,5	25,3	74,3

Untersuchungen im Feld

Isotopsonde (Troxler)

		ρ_d MW [g/cm ³]	ρ_d 5 cm [g/cm ³]	ρ_d 10 cm [g/cm ³]	ρ_d 15 cm [g/cm ³]	ρ_d 20 cm [g/cm ³]	ρ_d 30 cm [g/cm ³]
Feld 1	x = 1,0 m	2,152	-	2,123	2,169	-	2,163
Feld 1	x = 6,0 m	2,178	2,200	2,210	2,182	-	2,120
Feld 1	x = 11,0 m	2,188	2,181	-	2,192	-	2,190
Feld 2	x = 2,5 m	2,200	-	2,188	-	2,194	2,218
Feld 2	x = 6,0 m	2,200	-	2,219	-	2,193	2,187
Feld 2	x = 10,0 m	2,216	-	2,220	-	2,229	2,198

Statische Plattendruckversuche

		E_{v2}	E_{v1}	E_{v2}/E_{v1}	E_{v2}	E_{v1}	E_{v2}/E_{v1}	E_{v2}	E_{v1}	E_{v2}/E_{v1}
		[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]
Feld 1	SA 0 %	x = 2,5 m			x = 7,0 m			x = 9,5 m		
		163,8	57,6	2,9	161,6	50,8	3,2	168,5	66,1	2,6
	SK 6 %	x = 1,5 m			x = 6,0 m			x = 10,5 m		
		205,6	64,9	3,2	(180,5	150,0	1,2) ^[1]	175,9	61,1	2,9
	SK 12 %	166,5	56,8	2,9	175,7	65,3	2,7	146,9	46,7	3,1
Feld 2	oSA	x = 1,5 m			x = 5,5 m			x = 10,5 m		
		250,1	82,2	3,0	205,7	90,7	2,3	207,6	62,6	3,3
	SA	234,4	79,6	2,9	200,6	72,2	2,8	179,2	73,7	2,4

^[1] ...vermutlich fehlerhafte Messung

Dynamische Plattendruckversuche

		E_{vd} [MPa]				
		x = 3,0 m	x = 4,5 m	x = 7,5 m	x = 8,0 m	x = 9,0 m
Feld 1	oSA 6 %	63,03	-	61,14	-	-
	oSA 12 %	61,31	-	56,82	-	-
	SA 0 %	47,97	50,00	-	49,23	-
	SK 6 %	-	61,48	-	-	56,68
	SK 12%	-	46,11	-	-	51,49
Feld 2	SA	70,98	74,75	65,40	-	71,66
	oSA a	(95,57) ^[1]	(94,74) ^[1]	77,59	-	74,26
	oSA b	83,03	77,59	76,79	-	80,36
	oSA c	88,58	76,59	73,53	-	80,36
	MW	85,81	77,09	75,97	-	78,33

^[1] ...vermutlich fehlerhafte Messung

Bilder	Seite
Bild 1:	Baustoffgemisch 0/32 für Kies- und Schottertragschichten nach TL SoB-StB.....21
Bild 2:	Aufbau von Banketten gemäß ME 1.222
Bild 3:	Beispiel für den Körnungsbereich der Bankettmaterialien nach Hessen Mobil (KUHLE, 2014) auf Basis von ZTV SoB-StB 04.....23
Bild 4:	Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur (nach LU & LIKOS, 2004; übersetzt).....25
Bild 5:	Eisbildung und Eisdruck in Böden in Abhängigkeit vom Sättigungsgrad (nach YONG & WARKENTIN, 1975; übersetzt).....25
Bild 6:	Zusammenhang zwischen Bodenparametern und der Frostempfindlichkeit (aus KELLNER, 2008).....27
Bild 7:	Zuordnung der Böden zu Frostempfindlichkeitsklassen (nach ZTV E-StB 17)30
Bild 8:	Untersuchungsprogramm bei den Untersuchungen im Labor.....33
Bild 9:	Temperaturverlauf während der Frost-Tau-Zyklen in Anlehnung an TP BF-StB Teil B 11.1.....34
Bild 10:	Beaufschlagung der CBR-Proben mit Wasser für die Versuche zur Dauerhaftigkeit.....35
Bild 11:	Mischungen von natürlichem Brechkorn mit schluffigen Feinkornanteilen (GU).....37
Bild 12:	Mischungen von natürlichem Brechkorn mit tonigen Feinkornanteilen (GT).....37
Bild 13:	Mischungen von RC-Beton mit schluffigen Feinkornanteilen (GU).....37
Bild 14:	Mischungen von RC-Beton mit tonigen Feinkornanteilen (GT).....37
Bild 15:	RC-Mix, teils mit schluffigen Feinkornanteilen (GU/GI).....37
Bild 16:	Durchlässigkeit aller Mischungen (inkl. Daten von KOUKOULIDOU et al. 2017), getrennt in Bodengruppen in Abhängigkeit vom Feinkornanteil44
Bild 17:	Durchlässigkeit aller Mischungen (inkl. Daten von KOUKOULIDOU et al. 2017), getrennt für Böden mit unterschiedlichen Anteilen an Material < 2 mm.....44
Bild 18:	Tragfähigkeit (CBR_0) aller Mischungen direkt nach dem Verdichten, getrennt für die Materialien mit GK 8 mm und 32 mm45
Bild 19:	Standardabweichung der Stichproben bei der Bestimmung der Tragfähigkeit (CBR_0) , getrennt für die Materialien mit GK 8 mm und 32 mm.....45
Bild 20:	Tragfähigkeit (CBR_0) aller Mischungen direkt nach dem Verdichten, getrennt für die Materialien mit GK 8 mm und 32 mm45
Bild 21:	Änderung der Tragfähigkeit (ΔCBR_{NT}) aller Mischungen nach 6 Nass-Trocken-Zyklen (bzw. mehrtägigem Einstau), getrennt für die verschiedenen groben Ausgangsmaterialien (natürliches Brechkorn und RC) und die Bodengruppen GU und GT.....46
Bild 22:	Änderung der Tragfähigkeit (ΔCBR_{NT}) aller Mischungen nach 6 Nass-Trocken-Zyklen (bzw. mehrtägigem Einstau), getrennt für die Materialklassen GK 8 mm und 32 mm und jeweiligen Anteile an Material < 2 mm46
Bild 23:	Änderung der Tragfähigkeit (ΔCBR_{FT}) aller Mischungen nach 6 Frost-Tau-Zyklen (nach 1-tägigem Einstau), getrennt für die verschiedenen groben Ausgangsmaterialien und die Bodengruppen GU und GT47
Bild 24:	Änderung der Tragfähigkeit (ΔCBR_{FT}) aller Mischungen nach 6 Frost-Tau-Zyklen (nach 1-tägigem Einstau), getrennt für die Materialklassen GK 8 mm und 32 mm und jeweiligen Anteile an Material < 2 mm.....47
Bild 25:	Beprobung des Planums (dyn. Lastplatte)48
Bild 26:	Höhe der Versuchsfelder ab Planum48
Bild 27:	Schemaskizze der Feldversuche in der Grube Allenberg; mit Feldeinteilung49

Bild 28:	Wetterdaten der Wetterstation Ainertshofen, etwa 11 km nordwestlich der Versuchsfelder (Datenquelle: Agrarmeteorologie Bayern).....	50
Bild 29:	Einbaubedingungen für die Laborversuche (schematisch)	51
Bild 30:	Typische Versuchsanordnung in einer Prüfparzelle.....	51
Bild 31:	Kornverteilungslinien der für die Feldversuche verwendeten Materialien	52
Bild 32:	Verdichtungserfolg bei Feld 1 (Kalksteinschotter 0/32 mm).....	54
Bild 33:	Oberflächliche Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopsonde (Troxler) über die Zeit (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm).....	55
Bild 34:	Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm).....	55
Bild 35:	Verformungsmoduln über die Zeit (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm)	56
Bild 36:	Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 1 / Kalksteinschotter 0/32 mm).....	56
Bild 37:	Trockendichten im Feld 2 nach Einbau (RC-Mix 0/32 mm).....	57
Bild 38:	Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopsonde (Troxler) über die Zeit über die Zeit (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm).....	57
Bild 39:	Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm).....	58
Bild 40:	Verformungsmoduln über die Zeit (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm).....	58
Bild 41:	Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 2 / RC-Mix 0/32 mm)	59
Bild 42:	Trockendichten in Feld 3 nach Einbau (Kalksteinschotter 0/8 mm).....	59
Bild 43:	Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopsonde (Troxler) über die Zeit (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm)	60
Bild 44:	Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm).....	60
Bild 45:	Verformungsmoduln über die Zeit (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm)	61
Bild 46:	Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 3 / Kalksteinschotter 0/8 mm)	61
Bild 47:	Trockendichten in Feld 4 nach Einbau (RC-Mix 0/8 mm).....	62
Bild 48:	Trockendichte gemessen mit dem Densitometer und der Isotopsonde (Troxler) über die Zeit (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm)	62
Bild 49:	Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm)	63
Bild 50:	Verformungsmoduln über die Zeit (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm).....	63
Bild 51:	Tragfähigkeit (CBR_d) über die Zeit (Feld 4 / RC-Mix 0/8 mm)	64
Bild 52:	Tragfähigkeitsänderungen der Versuchsmaterialien im Labor ($EB-w_{Pr}$)	65
Bild 53:	Tragfähigkeitsänderungen der Versuchsmaterialien im Labor ($EB-w_{Feld}$)	65
Bild 54:	Trockendichte gemessen mit dem Densitometer über die Zeit.....	65
Bild 55:	Verformungsmodul E_{v1} über die Zeit.....	66
Bild 56:	Verformungsmodul E_{v2} über die Zeit.....	66
Bild 57:	Verformungsmodul E_{vd} über die Zeit.....	67
Bild 58:	Dynamischer $CBR_{d,2}$ über die Zeit.....	67
Bild 59:	Beprobung des Planums (dyn. Lastplatte)-Feld 1.....	71
Bild 60:	Beprobung des Planums (dyn. Lastplatte)-Feld 2.....	71
Bild 61:	Verdichtung der zweiten Lage im Feld 1 (Foto: Elissavet Barka).....	72
Bild 62:	Herstellung der geeigneten Bankettoberflächen im Feld (Foto: Elissavet Barka)1	72
Bild 63:	Verdichtung der geeigneten Bankettoberfläche im Feld 1 (Foto: Elissavet Barka)	72
Bild 64:	Höhe der Versuchsfelder ab Planum-Feld 1.....	72
Bild 65:	Höhe der Versuchsfelder ab Planum-Feld 2.....	72

Bild 66:	Schemaskizze der Feldversuche im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik; mit Feldeinteilung	73
Bild 67:	Schemaskizze der Anordnung der Prüfpunkte im Feld 1 im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik	73
Bild 68:	Schemaskizze zu den dynamischen Plattendruckversuchen ohne Sandausgleichsschicht (oSA)	74
Bild 69:	Schemaskizze zu den Plattendruckversuchen mit Sandkeil (SK).....	74
Bild 70:	Schemaskizze zu den Plattendruckversuchen mit Sandausgleichsschicht (SA)	74
Bild 71:	Aufgrabung Boden für die Herstellung einer Sandausgleichsschicht im Feld 1 (Foto: Christoph Henzinger).....	74
Bild 72:	Herstellung einer Sandausgleichsschicht im Feld 1 (Foto: Christoph Henzinger)	74
Bild 73:	Dynamischer Plattendruckversuch auf Sandausgleichsschicht im Feld 1 (Foto: Christoph Henzinger).....	74
Bild 74:	Dynamischer Plattendruckversuch mit Sandkeil auf geneigter Oberfläche in den Feldern 1a und 1b (Foto: Elissavet Barka)	75
Bild 75:	Statischer Plattendruckversuch mit Sandkeil auf geneigter Oberfläche im Feld 1 (Foto: Elissavet Barka)	75
Bild 76:	Schemaskizze zu den statischen Plattendruckversuchen mit Sandkeil (SK) zur Ermittlung der Verkipfung - Messung der Setzungen in der Mitte (Punkt A) und am Plattenrand (Abstand zum Rand ca 1 cm (Punkt B)	75
Bild 77:	Schemaskizze der Anordnung der Prüfpunkte im Feld 2 im Freifeldbereich des Zentrum Geotechnik	76
Bild 78:	Kornverteilungslinien des für die Feldversuche verwendeten Materials	76
Bild 79:	Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmodul (E_{V2}) sowie Verformungsmodul E_{Vd} – Untergrund im Feld 1 und Feld 2	77
Bild 80:	Trockendichten in Feld 1 (Schottergemisch 0/32 mm).....	77
Bild 81:	Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Troxler) - Feld 1.....	78
Bild 82:	Trockendichte (Mittelwert) in Abhängigkeit von dem Prüfpunkt, gemessen mit der radiometrischen Sonde (Troxler) - Feld 1.....	78
Bild 83:	Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmoduln (E_{V2}) - Feld 1.....	78
Bild 84:	Verhältnis E_{V2} / E_{V1} - Feld 1	78
Bild 85:	Spannungs-Setzungs-Diagramm für die Messungen in den Punkten A und B für die Erstbelastung im Feld 1	79
Bild 86:	Verformungsmoduln E_{Vd} - Feld 1	79
Bild 87:	Verdichtungserfolg bei Feld 2 (Schottergemisch 0/32 mm).....	80
Bild 88:	Trockendichte in Abhängigkeit von der Einstecktiefe der radiometrischen Sonde (Troxler) - Feld 2.....	80
Bild 89:	Trockendichte (Mittelwert) in Abhängigkeit von der Prüfstelle gemessen mit der radiometrischen Sonde (Troxler) - Feld 2.....	80
Bild 90:	Erstbelastungs- (E_{V1}) und Wiederbelastungsmoduln (E_{V2}) - Feld 2.....	81
Bild 91:	E_{V2} / E_{V1} - Feld 2.....	81
Bild 92:	Verformungsmodul E_{Vd} - Feld 2	81
Bild 93:	Schemaskizze zur Durchführung des statischen Lastplattendruckversuchs auf geneigter Oberfläche mit angepasster Lastrichtung	82
Bild 94:	Schemaskizze zu den dynamischen Plattendruckversuchen auf geneigter, ungestörter Oberfläche.....	82

Bild 95:	Schemaskizze zur Durchführung des Lastplattendruckversuchs auf geneigter Oberfläche mit Sandkeil.....	83
Bild 96:	Steifigkeiten erstbelasteter (!) Böden nach von SOOS & ENGEL (2017) und Umrechnung in Plattendruckmodule $E_{V(1)}$ nach DYSLI et al. (2013).....	84
Bild 97:	Schemaskizze zur Durchführung des Lastplattendruckversuchs auf einer vorbereiteten, ebenen Oberfläche mit Sandausgleichsschicht (SA).....	84
Bild 98:	Untersuchte Materialien im Vergleich zu den Vorgaben der TL SoB-StB 07 für Baustoffgemische 0/32 für Deckschichten.....	85

Tabellen		Seite
Tab. 1:	Übersicht zu den Regelwerken im Rahmen der Laborversuche.....	18
Tab. 2:	Übersicht zu den Regelwerken im Rahmen der Feldversuche.....	18
Tab. 3:	Übersicht zu den Regelwerken im Rahmen der Technikumsversuche.....	19
Tab. 4:	Anforderungen an das 10 %-Mindestquantil des Verdichtungsgrades für unbefestigte Seitenstreifen	20
Tab. 5:	Anforderungen an Baustoffgemische zur Herstellung standfester Bankette gemäß den ZTV-StB LSBB 13/14	21
Tab. 6:	Anforderungen an Material zur Herstellung von Banketten gemäß BTR RC-StB 14	22
Tab. 7:	Befahrbarkeitsklassen von Erdbaustoffen nach STRIEGLER (1998).....	24
Tab. 8:	Umschlagpunkt zwischen tragendem Grobkornskelett und tragender Feinkornmatrix.....	27
Tab. 9:	Typische erdbautechnische Eigenschaften von Böden der Bodengruppen GU/GT	28
Tab. 10:	Verformungsverhalten bindiger Mischböden nach VOß et al. (1986).....	29
Tab. 11:	Ergebnisse von Technikumsversuchen aus KOUKOULIDOU et al. (2017).....	29
Tab. 12:	Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit an Mischungen mit Brechkorn	38
Tab. 13:	Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit an Mischungen mit Brechkorn.....	39
Tab. 14:	Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit an Mischungen mit RC-Beton.....	40
Tab. 15:	Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit an Mischungen mit RC-Beton	40
Tab. 16:	Ergebnisse der Untersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit an Mischungen mit RC-Mix.....	41
Tab. 17:	Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit an Mischungen mit RC-Mix	41
Tab. 18:	Zusammenfassung und Beurteilung der Untersuchungsergebnisse	43
Tab. 19:	Korndichte der Versuchsmaterialien	52
Tab. 20:	Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit der Materialien aus den Feldversuchen bei $EB-w_{Pr}$ (Optimaler Wassergehalt, Standard Proctorenergie)	53
Tab. 21:	Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit der Materialien aus den Feldversuchen bei $EB-w_{Feld}$ (Wassergehalt, Standard Proctorenergie).....	53

Tab. 22:	Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Verdichtung und Tragfähigkeit der Materialien aus den Feldversuchen bei EB-F (Wassergehalt Feld, Dichte Feld)	53
Tab. 23:	Ergebnisse der Untersuchungen zur Durchlässigkeit der Materialien aus den Feldversuchen.....	54
Tab. 24:	Verformungsmoduln und Verhältniswerte auf den Versuchsfeldern beim 1.Beprobungstermin direkt nach Herstellung.....	68
Tab. 25:	Korndichte des Versuchsmaterials.....	76
Tab. 26:	Beurteilung der Verfahren zur Bestimmung des Verformungsmoduls mit dem statischen Plattendruckgerät (E_{V2}) auf geneigten Oberflächen	86
Tab. 27:	Beurteilung der Verfahren zur Bestimmung des Verformungsmoduls mit dem dynamischen Plattendruckgerät (E_{Vd}) auf geneigten Oberflächen.....	87

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Straßenbau“

2018

S 115: Performance-orientierte Asphaltspezifikation – Entwicklung eines praxisgerechten Prüfverfahrens zur Ansprache des Verformungswiderstandes

Wistuba, Isailović

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 116: Weiterführende Untersuchungen zur Beurteilung des Adhäsionsverhaltens zwischen Bitumen und Gestein

Radenberg, Nytus, Boetcher, Diedel, Miehl

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 117: Bauzeitenverkürzung durch optimierten Asphaltbau

Böhm, Tielmann, Ulrich, Verges, Muschalla

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 118: Untersuchung der Dauerhaftigkeit unterschiedlicher Asphaltbinderkonzepte

Renken, Wistuba

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 119: Grundfragen des straßenrechtlichen Nutzungsregimes – Straßenrecht im Zeichen des Klimawandels

Durner

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 120: Temperaturuntersuchungen am und im Mobile Load Simulator MLS30 – Analyse des Temperatureinflusses während eines Dauerversuchs für weitere Versuchsprogramme

Wacker, Scherckenbach, Jansen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 121: Repräsentative Ermittlung der performance-relevanten Asphalteigenschaften als Grundlage neuer Vertragsbedingungen

Roos, Plachkova-Dzhurova, Grafmüller, Milch, Hase, Schindler

Schröter, Zumsande, Wörner, Kazakova, Patzak

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 122: Ermittlung neuer Zuordnungswerte zur Einteilung bindiger Böden in Fest- und Lockergesteine

Möller, Bundschuh, Birle, Heyer

€ 18,50

S 123: Bindemitteldesign für Asphaltstraßen – Definition eines chemisch-rheologischen Anforderungsprofils

Stephan, Weigel

€ 19,00

S 124: Dauerhafte Betonfahrbahndecken unter Berücksichtigung aktueller ökologischer und wirtschaftlicher Aspekte

Müller, Schulte-Schrepping, Benra, Ludwig, Breitenbücher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 125: Potenzial innovativer Messsysteme für den Erdbau – Literaturstudie

Radenberg, Manke, Steeb, Jänicke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 126: Bau und Messungen an einer Versuchsstrecke mit optimierter Kiestragschicht unter der Betondecke

Freudenstein, Neudert

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 127: Entwicklung eines Finite Elemente Modells für die rechnerische Dimensionierung von Straßen gemäß RDO Beton

Villaret, Kiehne, Riwe, Villaret

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 128: Reduzierung der Schwindverformungen des Straßenbetons durch den Einsatz neuartiger Schwindreduzierer

Breitenbücher, Penttilä, Schulte-Schrepping

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2019

S 129: Verfahren zur Prognose des Alterungsverhaltens von Asphalt

Hase, Beyersdorf, Hase, Rademacher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 130: Entwicklung einer Prüfsystematik für Porous Mastic Asphalt (PMA)

Radenberg, Holzwarth

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 131: Einfluss viskositäts- verändernder Zusätze auf den Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe

Radenberg, Gehrke

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 132: Temperierte Straße Untersuchungen zur Realisierung eines Demonstrators auf dem duraBAS

Oeser, Carreño, Renken, Kemper, Kneer, Höfler,

Al-Sibai, Hess, Gouya, zu Dohna, Steins

€ 15,50

S 133: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw – Stufe 2: Nacherhebung

Wolf, Uhlig

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 134: Temperatureinfluss auf die Sichtbarkeit von Substanzmerkmalen (Oberfläche)

Skakuj, Balck, Beckedahl, Schrödter, Koppers, Ramadan

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 135: Eignung von Boden-Bindemittel-Gemischen als Baustoff für den Hinterfüllbereich von Bauwerken

Botor, Tost

€ 15,50

S 136: KiST-Zonen-Karte RDO und RSO Asphalt

Augter, Kayser

€ 16,50

S 137: Ressourcenschonung Bedingungen für die Verwendung organogener und weicher Böden sowie von Sekundärbaustoffen als Massenbaustoffe im Erdbau

Cudmani, Heyer, Engel, Schoenherr

€ 22,50

S 138: Entwicklung eines scannenden Prüfgeräts zur Detektion von Delaminationen in Betonfahrbahndecken

Groschup, Große, Eger, Freudenstein
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 139: Unterhaltung und Sanierung des Straßennetzes – Referate eines Forschungsseminars des Arbeitskreises „Straßenrecht“ am 17. und 18. September 2018 in Bonn

Durner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 140: Erfahrungssammlung Bitumendaten – Frischbitumen

Radenberg, Flottmann, Drewes
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 141: Ermittlung des Bindemittelgehaltes von Asphalt mit gummi-modifiziertem Bindemittel

Radenberg, Manke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

S 142: Untersuchungen zur Verbesserung der Methode zum fachgerechten Schließen von Bohrkernentnahmestellen

Beckedahl, Koppers, Schrödter € 15,50

S 143: s/v-Wert beim dynamischen Plattendruckversuch

Bräu, Vogt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 144: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Beurteilung des Kälteverhaltens von Bitumen

Radenberg, Staschkiewicz € 17,50

S 145: Schadenskategorie-spezifische Bewertung von AKR-Prüfverfahren

Weise, Werner, Maier, Wilsch
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 146: Untersuchungen zur Möglichkeit der Verarbeitung von Gussasphalt bei maximal 230 °Celsius ohne viskositätsverändernde Zusätze

Radenberg, Gehrke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2021

S 147: Numerische Modellierung der Lysimeteruntersuchungen der BAST

Birle, Cudmani, Melsbach
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 148: Ermittlung und Prognose von Spannungszuständen in Betonfahrbahndecken

Freudenstein, Eger, Pichotka, Riwe, K. Villaret, S. Villaret, Frohböse
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 149: Untersuchungen zur Durchsickerung von RC-Baustoffen und industriellen Nebenprodukten bei Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen

Koukoulidou, Birle, Cudmani
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 150: Abschätzung des Restwerts im PMS am Ende des Bewertungszeitraums

Stöckner, Sagnol, Brzuska, Wellner, Blasl, Sommer, Krause, Komma € 19,50

S 151: Prognose der Griffigkeitsentwicklung von Waschbetonfahrbahndecken mit der Prüfanlage nach Wehner/Schulze

Klein, Gehlen, Kränkel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 152: Wiederverwendung von RC-Baustoffen aus AKR-geschädigten Betonfahrbahndecken

Mielich
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 153: Optimierung von Fugensystemen in Betonfahrbahndecken – Messtechnische Grundlage zur Ermittlung realer Beanspruchungen in situ

Recknagel, Spitzer, Hoppe, Wenzel, Pirkawetz € 23,00

S 154: Prozessoptimierung der Asphaltextraktion mit Oktansäuremethylester (OME)

Büchler, Wistuba
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 155: KiST-Zonen-Karte RDO und RSO Beton – Verteilungsfunktion und Extremwerte

Villaret, Augter, Kayser, Riwe
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 156: Asphaltoberbau und extreme Temperaturen

Beckedahl, Schrödter, Koppers, Mansura, Reutter, Thelen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 157: Erfassung von Bäumen mittels Laserscan-Daten zur Expositionsanalyse entlang des Bundesfernstraßennetzes in NRW

Schipek, Steffen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

S 158: Anforderungen an Baustoffe für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette

Cudmani, Henzinger, Birle, Barka
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.