



Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Ge- mischen – Grundlagen für die Festlegung nationaler Anforde- rungen

**Résistance au gel et au dégel des mélanges traités aux
liants hydrauliques – Bases pour la définition d'exigences
nationales**

**Resistance to freezing and thawing of hydraulically bound
mixtures – basis for the determination of national require-
ments**

TFB AG
Björn Mühlan

IMP Bautest AG
Dr. Rohit Nandedkar
Dr. Christian Angst

BSL Baustofflabor AG
Felix Solcà
Dr. Benjamin Kaeser

**Forschungsprojekt VSS 2015/313 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen – Grundlagen für die Festlegung nationaler Anforder- ungen

**Résistance au gel et au dégel des mélanges traités aux
liants hydrauliques – Bases pour la définition d'exigences**

**Resistance to freezing and thawing of hydraulically bound
mixtures – basis for the determination of national require-
ments**

TFB AG
Björn Mühlan

IMP Baute AG
Dr. Rohit Nandedkar
Dr. Christian Angst

BSL Baustofflabor AG
Felix Solcà
Dr. Benjamin Kaeser

**Forschungsprojekt VSS 2015/313 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Dezember 2019

1665

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Björn Mühlen

Mitglieder

Dr. Rohit Nandedkar

Dr. Christian Angst

Felix Solcà

Dr. Benjamin Kaeser

Federführende Fachkommission

Fachkommission 3: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Gerhard Christen

Mitglieder

Hans-Peter Beyeler

Hansjörg Byland

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Projektbeschreibung	13
1.1 Ausgangslage.....	13
1.2 Stand der Forschung.....	14
2 Vorgehen, Methodik	15
2.1 Lagerungsbedingungen	15
2.2 Lagerungsdauer	15
2.3 Untersuchte Bodenarten	15
3 Laborprüfungen.....	19
3.1 Frost-Auftauprüfungen nach SN 640 496-NA	19
3.1.1 Herstellung der Prüfkörper	19
3.1.2 Durchführung Frost-Auftauprüfung	20
3.1.3 Druckfestigkeitsprüfung.....	21
3.2 Arbeitsanweisung CEN/TS 13286-54:2014	22
3.2.1 Einleitung.....	22
3.2.2 Beschreibung des Prüfungsverlaufs	22
4 Ergebnisse nach SN 640 496-NA	27
4.1 Masseverlust	27
4.2 Druckfestigkeit.....	28
4.3 Zusammenfassung.....	29
5 Ergebnisse nach CEN/TS 13286-54	31
5.1 Druckfestigkeit (Absolutwerte)	31
5.2 Verhältnis der Druckfestigkeiten nach und vor Frost-Auftaubeanspruchung	34
5.3 Zusammenfassung.....	37
5.3.1 Festigkeit mit und ohne Frostbeanspruchung.....	37
5.3.2 Vergleich der Festigkeiten von CEN/TS 13286-54 und SN 640 496-NA.....	37
6 Diskussion	39
6.1 Streuung der Druckfestigkeiten (Prüfkörperherstellung).....	39
6.2 Festigkeitsentwicklung	45
6.3 Grenzwerte.....	46
6.4 Weiterer Forschungsbedarf.....	46
Anhänge	47
Glossar	73
Literaturverzeichnis	75
Projektabschluss	77
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	81

Zusammenfassung

Im dritten Quartal 2015 wurde die Schweizer Regel 670 330-54 / CEN/TS 13286-54 „Ungebundene und hydraulische Gemische – Teil 54: Prüfverfahren zur Bestimmung der Frost-empfindlichkeit – Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen“ für 3 Jahre in Kraft gesetzt

Das Projekt hatte zum Ziel, die heute normierte Methode zur Bestimmung der Frostempfindlichkeit nach SN 640 496-NA mit den künftigen Methoden aus der Technischen Spezifikation der CEN/TS 13286-54 zu vergleichen und deren Ergebnisse zu korrelieren. Dies geschah durch mehrere Versuchsreihen an insgesamt vier verschiedenen Bodenarten.

Das in der CEN/TS 13286-54 beschriebene Prüfverfahren ist sehr langwierig, da die Prüfungen erst nach einer empfohlenen Aushärtungsphase von 28 Tagen gestartet werden. Erst anschliessend erfolgt die Frost-Tau-Wechselbeanspruchung, die weitere 13 Tage dauert. Daraus ergibt sich eine Gesamtdauer von rund 6 Wochen. Anhand der Forschungsarbeit sollte daher auch überprüft werden, ob die Aushärtungsphase von 28 Tagen so weit wie möglich reduziert werden kann, um eine baupraktisch sinnvolle Prüfdauer zu ermöglichen – analog der in der Schweiz bisher weit verbreiteten Kurzprüfung (Prüfdauer ca. 7 Tage).

Die Versuche nach CEN/TS 13286-54 wurden mit den Bindemittelgehalten durchgeführt, für welche die Frostbeständigkeit gemäss bisheriger SN 640 496-NA vorgängig nachgewiesen wurden (vgl. Kapitel 4). Die nach der neuen Versuchsanordnung aus CEN/TS 13286-54 ermittelten Absolutwerte der Druckfestigkeiten und die Verhältnisse der Druckfestigkeiten mit und ohne Frost-Auftaubeanspruchung gelten also für 4 verschiedene a priori frostbeständige hydraulisch gebundene Böden.

In den meisten Fällen ist aufgrund der erwarteten Gefügeschädigung durch die Frostbelastung eine leichte Abnahme der Absolutwerte zu verzeichnen. Die Verhältnisse der Druckfestigkeiten mit und ohne Frost-Auftaubeanspruchung liegen im Bereich von 0.91 (Mittelwert für Boden 1) und 0.88 bis 0.91 für die Böden 2-4. Diese Abnahme ist offenbar nicht abhängig von der Dauer der 1. Aushärtungsphase (7, 14 und 28 Tage) und liegt im Bereich der herstellungsbedingten Schwankungen der Probekörper (Proctorverdichtung). Bei einigen Proben sind sogar Zunahmen von 4 bis 15 % ermittelt worden. Daher erscheint es als gerechtfertigt, dass die Prüfung nach CEN/TS 13286-54 [1] im Sinne der Praxistauglichkeit auch bereits mit einer 1. Aushärtungsphase von 7 Tagen (anstelle 28 Tage) durchgeführt werden könnte.

Aufgrund dieser nicht eindeutigen Resultate und den Erkenntnissen zur Streuung der Druckfestigkeiten aufgrund der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung (siehe Abschnitt 6.1), die zum Zeitpunkt des Forschungsantrags nicht bekannt waren, können daher gegenwärtig keine exakten Grenzwerte für die Beurteilung der Frostbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen mit der Prüfung nach CEN/TS 13286-54 vorgeschlagen werden. Daher sollten dringend zusätzliche Versuche durchgeführt werden.

Die erwähnten Einflüsse auf die Ermittlung der Druckfestigkeit – insbesondere die Grundproblematik der Probekörperherstellung – und deren Auswirkung auf das Prüfverfahren können mit den vorliegenden Daten aus 4 ausgewählten Böden nicht abschliessend beurteilt werden. Hierzu müssen also weitere Forschungsergebnisse abgewartet werden. Zudem ist das Verfahren der Probekörperherstellung mittels herkömmlicher Proctorverdichtung als kritisch einzustufen bzw. zu hinterfragen. Daher sollten dringend Versuchsreihen zur Proctorverdichtung und zur Druckfestigkeit von Gemischen mit Bindemittel durchgeführt werden, um die Streuungen besser beurteilen zu können.

Résumé

En 2015, la norme suisse 670 330-54 / CEN/TS 13286-54 "Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques – Partie 54 : Méthode d'essai pour la détermination de la sensibilité au gel – Résistance au gel et au dégel des mélanges traités aux liants hydrauliques" est entrée en vigueur pour une durée de trois ans.

Le projet vise à comparer et à corréliser les résultats entre la méthode actuelle normalisée pour la détermination de la sensibilité au gel selon le document SN 640 496-NA, et les futures méthodes définies dans la spécification technique CEN/TS 13286-54. Cette comparaison a été faite sur plusieurs séries d'essais avec un total de quatre types de sol différents.

La méthode d'essai décrite dans le document CEN/TS 13286-54 est contraignante, car la phase des cycles de gel-dégel, étant réalisée sur une durée de 13 jours, ne démarre qu'après une phase de durcissement recommandée de 28 jours. La durée totale de l'essai est de ce fait d'environ 6 semaines. Sur la base de ces travaux de recherche, il convient donc de définir dans quelle mesure la phase de durcissement de 28 jours peut être réduite, afin de permettre une durée d'essai compatible avec la durée des projets de construction habituels - analogue aux "essais de courte durée" couramment utilisés en Suisse (durée de l'essai d'environ 7 jours).

Les essais selon CEN/TS 13286-54 ont été réalisés avec la teneur en liant pour laquelle la résistance au gel a été validée selon l'ancien document SN 640 496-NA (voir chapitre 4). Les valeurs absolues des résistances à la compression et les rapports des résistances à la compression avec et sans cycles de gel-dégel, déterminées selon le nouveau dispositif expérimental de CEN/TS 13286-54, s'appliquent donc à 4 différents sols liés hydrauliquement et a priori résistants au gel.

Dans la plupart des cas, les valeurs absolues ont légèrement diminué, à cause des dommages causés par l'exposition au gel. Les rapports de résistance à la compression avec et sans cycles de gel-dégel se situent vers 0,91 (moyenne pour le sol 1) et vers 0,88 à 0,91 pour les sols 2 à 4. Cette diminution ne semble pas être liée à la durée de la phase de durcissement (7, 14 et 28 jours) et se situe dans la plage de variabilité liée à la confection des éprouvettes (compactage au Proctor). Pour certaines éprouvettes, des augmentations de 4 à 15% ont même été constatées. Sur la base de cette étude, il semble justifié que l'essai selon CEN/TS 13286-54 puisse être effectué avec une première phase de durcissement de 7 jours (au lieu de 28 jours).

Par conséquent, en raison de ces résultats ambigus et de la constatation de la variabilité de la résistance à la compression due à la confection des éprouvettes par compactage au Proctor (voir section 6.1), qui n'était pas connue au moment de l'étude, aucune limite exacte ne peut être suggérée pour l'évaluation de la résistance au gel de mélanges traités aux liants hydrauliques avec l'essai proposé dans le document CEN/TS 13286-54.

Les influences constatées sur les résultats de la résistance à la compression - en particulier le problème fondamental de la confection de l'éprouvette - et leur effet sur les résultats d'essais, ne permettent pas d'effectuer une évaluation concluante des données disponibles sur les 4 sols sélectionnés. Par conséquent, de plus amples investigations sont nécessaires. En outre, le processus de confection des éprouvettes à l'aide du compactage classique Proctor doit être admis comme critique ou discutable.

Summary

In 2015, Swiss Standard 670 330-54 / CEN/TS 13286-54 " Unbound and hydraulically bound mixtures - Test method for the determination of frost susceptibility. Resistance to freezing and thawing of hydraulically bound mixtures" was put into effect for 3 years.

The aim of the project was to compare the currently standardized method for determining the sensitivity to frost according to the Swiss Standard SN 640 496-NA with the future methods from the Technical Specification of CEN/TS 13286-54 and to correlate their results. This was done by several test series on a total of four different types of soil.

The test method described in CEN/TS 13286-54 is very tedious, since the tests are started only after a recommended curing phase of 28 days. Only afterwards the frost-thaw cycling, which lasts another 13 days, can begin. This results in a total duration of around 6 weeks. On the basis of the research work, it should therefore also be checked whether the hardening phase of 28 days can be reduced as much as possible in order to allow a test duration fitting to usual construction projects - analog to the "short-test" that has been widely used in Switzerland (test duration approx. 7 days).

The tests according to CEN/TS 13286-54 were carried out with the binder contents for which the frost resistance according to former Swiss Standard SN 640 496-NA was previously proven (see chapter 4). The values of the compressive strength and the ratios of the compressive strength with and without freezing and-thawing according to the new test set-up of the CEN/TS 13286-54 do apply to 4 different a priori frost-resistant hydraulically bound soils.

In most cases a slight decrease of the absolute values occurred. This was expected because of damage due to the frost exposure. The compressive strength-ratios with and without freezing-and thawing are in the range of 0.91 (average for Soil 1) and 0.88 to 0.91 for Soils 2-4. This decrease does not appear to be dependent on the duration of the first curing phase (7, 14 and 28 days) and is within the range of production-related variability of the specimens (Proctor compaction). For some samples, even increases of 4 to 15% have been found. Therefore, it seems justified that the test according to CEN/TS 13286-54 could also be made for a first curing phase of 7 days (instead of 28 days).

Therefore, due to these unambiguous results and the recognition about the variability of the compressive strength due to the specimen production by Proctor compaction (see section 6.1), which were not known at the time of the research project, no exact limits can be suggested for assessing the frost resistance of hydraulically bound mixtures with the test proposed in accordance with CEN/TS 13286-54. Therefore, it's urgent to carry out additional test.

The influences mentioned on the determination of compressive strength - in particular the basic problem of specimen production - and their effect on the test method cannot be conclusively assessed with the available data from 4 selected soils. Therefore, further research results must be awaited. In addition, the process of specimen preparation by means of conventional Proctor compaction is classified as critical or questionable. Therefore, in order to better assess the scattering, it's essential to carried out test series on Proctor compaction and compressive strength of mixtures with binding agents.

1 Projektbeschreibung

1.1 Ausgangslage

Im dritten Quartal 2015 wurde die Schweizer Regel 670 330-54 / CEN/TS 13286-54 „Ungebundene und hydraulische Gemische – Teil 54: Prüfverfahren zur Bestimmung der Frostempfindlichkeit – Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen“ für 3 Jahre in Kraft gesetzt [1]. Auf europäischer Ebene wird diese Technische Spezifikation wahrscheinlich 2018 in eine Prüfnorm umgewandelt werden, damit müsste diese Methode in den einzelnen Ländern als Norm implementiert werden. Die CEN-Mitgliedstaaten wurden daher aufgefordert, ab 2017 Ihre Erfahrungen in die Ausgestaltung der Norm einzubringen.

In der Schweiz ist in der aktuellen Norm und den Vorgängerversionen der SN 640 496-NA „Hydraulisch gebundene Gemische – Anforderungen – Teil 1: Zementgebundene Gemische, Teil 5: Tragschichtbindergebundene Gemische“ [6] ein Frost-Tau-Versuch normiert, welcher zwei Nachteile besitzt:

- Bei diesem Frost-Tau-Versuch müssen die Prüfkörper nach jedem 12 Frost-Tau-Zyklen mit einer Stahlbürste abgebürstet werden. Dieser Teil der Prüfung ist abhängig vom Laboranten. Die Kraft, die er aufwenden soll, ist normiert, jedoch praktisch nur schwer kontrollierbar. Dies ist unbefriedigend, da das Erfüllen der Anforderungen der Prüfung von der Grösse des Massenverlustes abhängt.
- Die Dauer der Frost-Tau-Prüfung beträgt in der Regel 5 bis 6 Wochen (12 je 48 Stunden dauernde Frost-Tau-Zyklen nach einer 7-tägigen Aushärtungsphase plus Puffertage für die Wochenenden). Diese Zeitspanne ist in der Regel für sich im Bau befindliche Projekte unrealistisch lange, sodass der Frost-Tau-Beständigkeit oft gar nicht geprüft wird. Alternativ wird die Kurzprüfung angewendet (Dauer 7 Tage), welche jedoch zu Überdosierungen vom Bindemittel führt resp. führen kann und keine absolute Frostbeständigkeit garantiert.

Die CEN/TS 13286-54 [1] beschreibt nun einen Versuch, bei welchem die Prüfkörper, resp. der Erfolg der Stabilisierungsmassnahme mit einem Druckfestigkeitsversuch charakterisiert wird. Dabei fällt der Einfluss auf das Prüfergebnis durch die Kraft des Laboranten beim Abbürsten der Probe weg. Durch die Einführung der vorgeschlagenen Methode würden beide Bestandteile der Prüfung (Kurzprüfung, Frost-Tau-Prüfung) durch die gleiche Prüfung (Druckfestigkeit) erfasst und könnten entsprechend beurteilt werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Druckfestigkeiten der Prüfkörper der Serie, welche der Frost-Tau-Prüfung unterzogen wurde, mit jener Serie verglichen werden, an welchem der Versuch nicht durchgeführt wurde.

Der Nachteil der langen Zeitdauer wird vorerst durch diese Technische Spezifikation nicht behoben, der Versuch fängt mit einer empfohlenen Aushärtungsphase von 28 Tagen an und dauert anschliessend weitere 13 Tage (Gesamtdauer rund 6 Wochen). Die Technische Spezifikation lässt aber die Möglichkeit offen, von der 28-tägigen Aushärtungsphase abzuweichen, wenn die Proben zum Zeitpunkt der Frost-Tauwechselbeanspruchung bereits eine ausreichende Mindestfestigkeit aufweisen.

Anhand der Forschungsarbeit sollte daher auch überprüft werden, ob die Aushärtungsphase von 28 Tagen so weit wie möglich reduziert werden kann, um eine baupraktisch sinnvolle Prüfdauer zu ermöglichen – analog der in der Schweiz bisher weit verbreiteten Kurzprüfung (Prüfdauer ca. 7 Tage).

Für den Bedarfsfall (im Anhang A von [1]) wird ausserdem ein Verfahren genannt, mit dem die Frost-Tauwechsel-Beständigkeit über eine Längenänderung der Probe charakterisiert werden kann. Dieser Ansatz wurde in der Schweiz vorerst nicht weiterverfolgt, da in der Schweiz bisher keine Erfahrungen mit dieser Methode vorhanden sind und die Labors erst

das erforderliche Equipment beschaffen und den Umgang damit erlernen müssten. Ausserdem wird die Methode bereits im Anhang der Technischen Spezifikation als „noch nicht ausgereift“ bezeichnet und nur als „Ausgangspunkt für Diskussionen“ vorgeschlagen wird. Der Fokus der umfangreichen Laborprüfungen wurde daher stattdessen lieber auf die mögliche Reduktion der Aushärtungsdauer gelegt.

1.2 Stand der Forschung

Die Frost-Auftau-Prüfung für hydraulisch gebundene Prüfkörper wird gemäss der SN 640 496-NA nach 31 Tagen durchgeführt. Dabei muss eine minimale Druckfestigkeit von 2 N/mm^2 – 4 N/mm^2 erreicht werden (analog der Kurzprüfung). Nach den Frostzyklen und entsprechend der geotechnischen Klassifikation der natürlichen Gesteinskörnungen darf ein maximal zulässiger Materialverlust nicht überschritten werden, damit das hydraulisch gebundene Gemisch als erfolgreich beurteilt werden kann. Diese Methode wird in der Schweiz seit den 1960er Jahren angewendet und es liegen umfangreiche Erfahrungen vor [9-14].

In der vorgestellten Methode gemäss CEN/TS 13286-54 [1] wird das Verhältnis der Druckfestigkeiten von Prüfkörpern mit und ohne Frost-Auftau-Zyklen betrachtet. Ausserdem sind drei verschiedenen Lagerungsbedingungen während der Aushärtungsphasen beschrieben. In [1] werden aber weder Grenz- noch Erfahrungswerte an das Verhältnis der Prüfkörperdruckfestigkeiten, die Wahl des Aushärtungsverfahrens, noch abschliessende Vorgaben zur Prüfkörperherstellung vorgegeben. Während der 3-jährigen Einführungsphase der Technischen Spezifikation sollen diesbezüglich Erfahrungen gesammelt werden, um diese bei der Umwandlung in eine definitive Prüfnorm einbringen zu können.

Für die bisher in der Schweiz geltende Frostprüfung nach SN 640 496-NA sind Grenz- und Erfahrungswerte verfügbar. Eine Möglichkeit, diese Erfahrungen für die nach SN 670 330-54 / CEN/TS 13286-54 [1] vorgeschlagenen Methoden zu übertragen wäre im Hinblick auf die Beurteilung von Prüfergebnissen sehr wichtig.

2 Vorgehen, Methodik

Das Projekt hatte zum Ziel, die heute normierte Methode nach SN 640 496-NA [6] mit den künftigen Methoden aus der Technischen Spezifikation der CEN/TS 13286-54 [1] zu vergleichen und deren Ergebnisse zu korrelieren. Dies geschah durch mehrere Versuchsreihen mit vier verschiedenen Bodenarten. Die Versuche wurden alle mit dem Bindemittel Hydraulischer Tragschichtbinder (Doroport TB der Firma Georoc) durchgeführt, da mit diesem Bindemittel der Erfahrungsschatz gross ist. Die Probenherstellung erfolgte mittels Proctorverdichtung nach SN EN 13286-2 [7] im Topf A und einer Verdichtungsenergie von 0.6 MJ/m³ (Proctor "Standard").

2.1 Lagerungsbedingungen

Zuerst liess man beide Probekörpergruppen ungestört in ihren Formen aushärten („Aushärtungsphase 1“). Die CEN/TS 13286-54 [1] empfiehlt hierfür 28 Tage. Anschliessend wurden die Probekörper in eine zweite Lagerungsbedingung überführt („Aushärtungsphase 2“). Diese dauert für die Probekörper der Gruppe A 2 Tage und für die der Gruppe B (Kontrollgruppe) bis zum Ende des Versuchs. Die Probekörper der Gruppe A wurden nach 2 Tagen der 10-tägigen Frost-Tauwechsel-Beanspruchung ausgesetzt. Anschliessend erfolgt die Druckfestigkeitsprüfung.

In der Aushärtungsphase 2 erlaubt die CEN/TS 13286-54 [1] drei verschiedene Lagerungsvarianten:

- unter Wasser
- im Feuchtklima
- Laborklima („trocken“)

Um weitere Einflussgrössen, die sich auf die Druckfestigkeitsprüfung auswirken könnten, ausschliessen zu können (z.B. Wassersättigungsgrad in den einzelnen Prüfkörpern), wurde für die "Phase 2" die dritte Lagerungsvariante ("trocken") gewählt.

2.2 Lagerungsdauer

Das Forschungsprojekt beruht auf der vorgeschlagenen Dauer der „Aushärtungsphase 1“ von 28 Tagen bei 20 °C (für schnell abbindende Gemische). Um eine verkürzte Prüfungsdauer zu testen, wurden zusätzliche Versuchsreihen nach einer Aushärtungsphase 1 von 7 und 14 Tagen durchgeführt.

Hintergrund hierfür ist, dass aus der Betontechnologie bekannt ist, dass zwischen 7 und 28 Tagen Aushärtungsdauer eine Zunahme der Festigkeiten der Prüfkörper erfolgt, deren Grössenordnung bekannt und somit beurteilbar ist. Mit den Abstufungen der Dauer der „Aushärtungsphase 1“ sollt nach Möglichkeit die gesamte Versuchsdauer so weit reduziert werden können, dass sie zukünftig auch für die Baupraxis besser von Nutzen sein würde.

2.3 Untersuchte Bodenarten

Insgesamt wurden im Projekt vier verschiedene Bodenarten untersucht ("Boden 1 bis 4", siehe Klassifizierung in Tabelle 1).

Eine Bodenart wurde in allen Labors geprüft, um damit Erkenntnisse zur Vergleichbarkeit untereinander und zur Wiederholbarkeit im Labor zu erhalten. Die Basis für die Versuche

bildet hier die Aushärtungsphase 1 mit 28 Tagen. Zusätzlich wurden auch Serien mit einer Aushärtungsphase 1 von 7 und von 14 Tagen durchgeführt. Anhand dieser zusätzlichen Versuche wurde getestet, wann die gemäss [1] für den Start der Frost-Auftau-Versuche geforderte Mindestdruckfestigkeit von 80-90 % der 28-Tage-Druckfestigkeit erreicht ist und, ob die gesamte Prüfungsdauer somit in der Praxis verkürzt werden könnte

Die restlichen drei Bodenarten wurden dann durch je ein Labor untersucht, welches die Prüfung jeweils nach der Schweizer Norm und der neuen Technischen Spezifikation durchführte. Auch hier bildet die Aushärtungsphase 1 (28 Tage) die Basis für die Versuche. Auch diese Bodenarten wurden zusätzlich mit einer Aushärtungsphase 1 von 7 und 14 Tagen geprüft.

Die gesamte resultierende Datenmenge wurde anschliessend dazu benutzt, um die Ergebnisse der beiden Prüfungen ("alte" und "neue" Norm) zu vergleichen und um Anhaltspunkte zu erhalten, wie zukünftigen Anforderungen an die Frostsicherheit von hydraulisch gebundenen Gemischen definiert werden können.

Die vier Bodenarten wurde aus den Gruppen „Kies, siltig bis tonig“ und „Sand, siltig bis tonig“ ausgewählt, da in der Regel solche Böden stabilisiert werden. Saubere Kiese und Sande werden in der Schweiz in der Regel nicht stabilisiert. Silte und Tone werden heutzutage meist mit Mischbindemitteln stabilisiert.

Die Suche nach Böden, die hinsichtlich Kornverteilung geeignet waren und die in der erforderlichen Menge gleichbleibend verfügbar waren, gestaltete sich schwierig und zeitaufwendig.

Schlussendlich wurden folgende vier Böden ausgewählt. Die Kornverteilung und Klassifikation sind im Anhang enthalten. Die nachfolgende Tabelle 1 fasst diese Daten zusammen:

Tab. 1 *untersuchtes Bodenmaterial*

Nr.	Name	Beschreibung	USCS	w_{opt} [%]	D_{pr} [Mg/m ²]	Untersuchendes Labor
1	"Jaberg"	Siltiger bis toniger Kies mit Sand	GC-GM	7.7	2.16	alle Labors
2	"La Tuffière"	Siltiger Sand	SM	14.9	1.72	BSL
3	"Burgergut"	Siltiger Sand mit Kies	SM	10.9	1.96	TFB
4	"Diepoldsbach"	Schlecht abgestufter Kies mit Silt und Sand	GP-GM	8.4	2.14	IMP

Für die vier Bodenarten wurde zunächst wie in der Schweiz für Zementstabilisierungen üblich der optimale Wassergehalt bei geschätztem Ziel-Bindemittelgehalt ermittelt. Anschliessend wurden bei drei unterschiedlichen Bindemittelgehalten die 7-Tage-Druckfestigkeit geprüft und die Frost-Auftauprüfung gemäss der SN 640 496-NA [6] durchgeführt. Das Vorgehen hierfür wird in Abschnitt 3.1 erläutert.

Die Ergebnisse dieser Voruntersuchung sind in der nachfolgenden Tabelle 2 zusammengefasst:

Tab. 2 Ergebnisse der Voruntersuchungen am stabilisierten Bodenmaterial

Nr.	Name	USCS	Untersuchen- des Labor	w _{opt} [%]	D _{pr} [Mg/m ²]	Bindemittelgehalt [%]	Zulässiger Masseverlust*
1	"Jaberg"	GC-GM	alle Labors	8.9	2.09	9	10 M.-%
2	"La Tuffière"	SM	BSL	13.6	1.80	11	10 M.-%
3	"Burgergut"	SM	TFB	11.9	1.91	13	10 M.-%
4	"Diepoldsbach"	GP-GM	IMP	9.6	2.09	9	14 M.-%

* gem. Tabelle 6 [6]

3 Laborprüfungen

In diesem Kapitel werden die Laborprüfprogramme für die Frost-Auftauprüfungen nach SN 640 496-NA [6] und CEN/TS 13286-54 [1] beschrieben. Eine schematische Darstellung mit den Unterschieden der beiden Verfahren ist in Abb. 4 dargestellt. Auf die Resultate wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen.

3.1 Frost-Auftauprüfungen nach SN 640 496-NA

Um die Frost-Beständigkeit nach SN 640 496-NA [6] zu überprüfen, wurden die vollständigen Frost-Auftauprüfungen für die jeweilige Bodenart durchgeführt. Mittels einer einheitlichen Prüfanweisung wurde garantiert, dass in allen drei Labors gleich verfahren wurde.

Dazu wurden für jede Bodenart Prüfkörperserien mit drei verschiedenen Bindemittelgehalten mittels Proctorverdichtung nach [7] hergestellt, wie es in der Tabelle 5 aus [6] vorgegeben wird. Die Dosierung von Bindemitteln und Wasser wird im folgenden Abschnitt beschrieben.

Der Bindemittelgehalt bezieht sich immer auf die Trockenmasse des Bodens und der Wassergehalt auf die Trockenmasse des Boden-Bindemittelgemisches (siehe Bsp.):

- Bindemittelgehalt 5 Masse-%; Wassergehalt 7 Masse-% bei z.B. 3'000 g Bodenmasse (trocken)
- 150 g Bindemittel (150 g zu 3'000 g Trockenmasse = 5.0 Masse-%)
- 221 g Wasser (221 g zu 3150 g Trockenmasse = 7.0 Masse-%)

3.1.1 Herstellung der Prüfkörper

Zuerst wurde das Bindemittel dem getrockneten Boden beigemischt, anschliessend das Wasser beigegeben und alles gut durchmischt, bis das Gemisch eine einheitliche Farbe aufwies. Die Verdichtung erfolgte etwa nach 30 Min. bis 2 Stunden nach Wasserbeigabe und nach nochmaligem Durchmischen. Die Prüfkörper wurden anschliessend bei Raumtemperatur ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) in den Proctor-Töpfen gelagert, so dass keine Wassergehalts- und Formänderung eintreten konnte.

Die Verdichtung erfolgte gemäss [7] für den Proctortopf A mit 3x 25 Schlägen, was einer Energie von ca. 0.6 MJ/m^3 entspricht.

Für alle 3 Bindemittelgehalte wurden je 2 Prüfkörper hergestellt (Gruppe P1 → Masseverlust bei Frost-Auftau-Beanspruchung und Gruppe P2 → Druckfestigkeit nach Frost-Auftau-Beanspruchung). Pro Bodenart wurden je 6 Prüfkörper hergestellt. Anschliessend wurden die Frost-Auftauprüfungen durchgeführt.



Abb. 1 Proctorgerät

3.1.2 Durchführung Frost-Auftauprüfung

Nach 7 Tagen Lagerung (Aushärtung in Schalung) sind alle 6 Prüfkörper gewogen worden („Masse vor Frost“ $M_{i\text{vor}}$). Darauf folgten abwechselnd die jeweils 24 Std. dauernden Frost- und Auftauzyklen.

Frost-Zyklus:

Alle 6 Prüfkörper wurden für 24 Stunden im Tiefkühlgerät bei -23°C auf einem trockenen Stück Filz gelagert und dann (für den Auftauzyklus) entnommen und gewogen („Masse nach Frost“ M_{i1}).

Auftau-Zyklus:

Danach wurden alle 6 Prüfkörper während 23 Stunden in der Feuchttruhe bei $+20^{\circ}\text{C}$ und mind. 98% relativer Luftfeuchtigkeit auf einen dauernd wassergesättigten Filz gestellt und aufgetaut. Anschliessend wurden die Prüfkörper aus der Feuchttruhe entnommen und gewogen („Masse nach Auftauen“ M_{i2}).

Die 3 Prüfkörper der Gruppe P1 sind nach der Wägung mit der Drahtbürste auf den Mantelflächen mit 2×10 Strichen und auf den Stirnflächen mit 2×2 Strichen mit einer Kraft von rund 15 N abgebürstet worden. Das Abbürsten erfolgte manuell durch den Laboranten, wobei realistischerweise die ausgeübte Kraft bzw. "Anpressdruck" der Bürste schätzungsweise auf ca. ± 2 N genau eingehalten werden konnte (Überprüfung mittels Waage; "Anpressdruck" ca. 1.5 ± 0.2 kg).



Abb. 2 Abbürsten eines Prüfkörpers. Alle Labors hatten die gleiche Bürste verwendet.

Für das Abbürsten der Mantelfläche wurden die Prüfkörper im Uhrzeigersinn gedreht, so dass die 10 Striche mit gleichmässigem Abstand um den vollen Umfang herum verteilt werden konnten. Danach wurden die Prüfkörper umgedreht („auf den Kopf gestellt“) und wiederum 10 Striche analog um den gesamten Umfang herum verteilt.

Für die 2 Striche auf der Stirnfläche wurde ein Prüfkörper von links nach rechts gebürstet. Die Striche wurden etwa gleichmässig in der oberen und unteren Hälfte der Kreisfläche angeordnet. Danach wird der Prüfkörper um 90 ° gedreht und wieder 2 Striche auf der Kreisfläche verteilt von links nach rechts gebürstet. Danach wurde der Prüfkörper umgedreht („auf den Kopf gestellt“) und anschliessend das Abbürsten analog auf der vorherigen Standfläche durchgeführt.

Anschliessend wurden die Prüfkörper erneut gewogen („Masse nach Abbürsten“ M_{i3}). Damit ist ein Frostaufftauzyklus beendet.

Die Prüfkörper der Gruppe P2 wurden nicht abgebürstet und nach der Wägung wieder in das Tiefkühlgerät gegeben. Für sie war der 1. Frostaufftauzyklus beendet.

Insgesamt wurden so total 12 Zyklen durchgeführt, wobei nach jedem Zyklus der Probekörper gewendet wurde. Während arbeitsfreien Tagen (Wochenenden) wurden die Prüfkörper im Tiefkühlgerät aufbewahrt. Nach den insgesamt 12 Frostaufftauzyklen werden die abgebürsteten Prüfkörper (Gruppe P1), bei 110°C getrocknet und danach die Massen („Trockenmasse“ $M_{i\text{ nach}}$) sowie der Massenverlust „ ΔM_i “ gemäss Gleichung 33 [6] bestimmt.

3.1.3 Druckfestigkeitsprüfung

An den Prüfkörpern der Gruppe P2 wurde nach Abschluss der 12 Frostaufftauzyklen die Druckfestigkeit nach vierstündiger Wasserlagerung bestimmt. Nach der Wasserlagerung wurden die Prüfkörper zuerst 30-40 Min. an der Umgebungsluft oberflächlich getrocknet und anschliessend die Druckfestigkeit bestimmt. An den Prüfkörpern wurde nach der Wasserlagerung zusätzlich auch immer die Raumdichte bestimmt.

Als Belastungsgeschwindigkeit für die Druckfestigkeitsprüfung wurden 0.6 kN/s gewählt. Mit dieser Belastungsgeschwindigkeit erfolgt der Bruch bei einer Druckfestigkeit von 2...4 N/mm² nach etwa 26...52 s, wie es in SN EN 13286-41 gefordert ist.

Dier Ergebnisse der Druckversuche sind im Anhang vorhanden und im Kapitel 4 zusammengefasst.

3.2 Arbeitsanweisung CEN/TS 13286-54:2014

3.2.1 Einleitung

Dieses Prüfverfahren wurde bisher nicht als Europäische Norm (EN), sondern erst als Technische Spezifikation (TS) veröffentlicht. Bis weitere Daten und Erfahrungen bezüglich des am besten geeigneten Verfahrens zur Konditionierung der Probekörper unmittelbar vor der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung vorliegen, bleibt das Dokument eine Technische Spezifikation.

Für die zweitägige Phase zwischen der ersten Aushärtungsphase (zur Sicherstellung einer ausreichenden Festigkeitsentwicklung) und der Frost-Tau-Wechselbeanspruchung werden in dieser Technischen Spezifikation drei Konditionierungsverfahren beschrieben bzw. sind zulässig.

- 1) In dieser zweiten Aushärtungsphase kann der Probekörper entweder vollständig in einem Wasserbad eingetaucht sein oder
- 2) in einem Feuchtlagerungsschrank gelagert werden oder aber
- 3) diese Phase kann die Fortsetzung der ersten Aushärtungsphase sein.

Um die Komplexität der Versuche nicht durch zusätzliche Einflussgrößen (Wasserlagerung, Feuchtlagerung) zu erhöhen, wurden im Rahmen der vorliegenden Forschung die 3. Variante („Fortsetzung der ersten Aushärtungsphase“) verwendet (siehe Kap. 2.1).

3.2.2 Beschreibung des Prüfungsverlaufs

Aus den vier Bodenarten wurden jeweils vier Sätze Probekörper (Gruppe A bis D) von je drei bis vier Stück hergestellt.

Die Probekörper wurden analog zur "alten" Frost-Auftauprüfung nach SN 640 496-NA [6] mittels Proctorverdichtung hergestellt [7]. Es wurde jeweils derselbe Bindemittel- und optimalen Wassergehalt gewählt, der auch bereits für die Herstellung der Probekörper nach der "alten" Prüfvorschrift SN 64 496-NA [6] gewählt worden war (siehe Tabelle 2), denn für diese Bedingungen ist die Frostbeständigkeit ja bereits nachgewiesen worden.

Die Lagerung der Prüfkörper während der 1. Aushärtungsphase erfolgte in den Schalungen (inkl. Deckel), wobei für die Lagerungsdauer 3 verschiedene Zeiträume gewählt wurden:

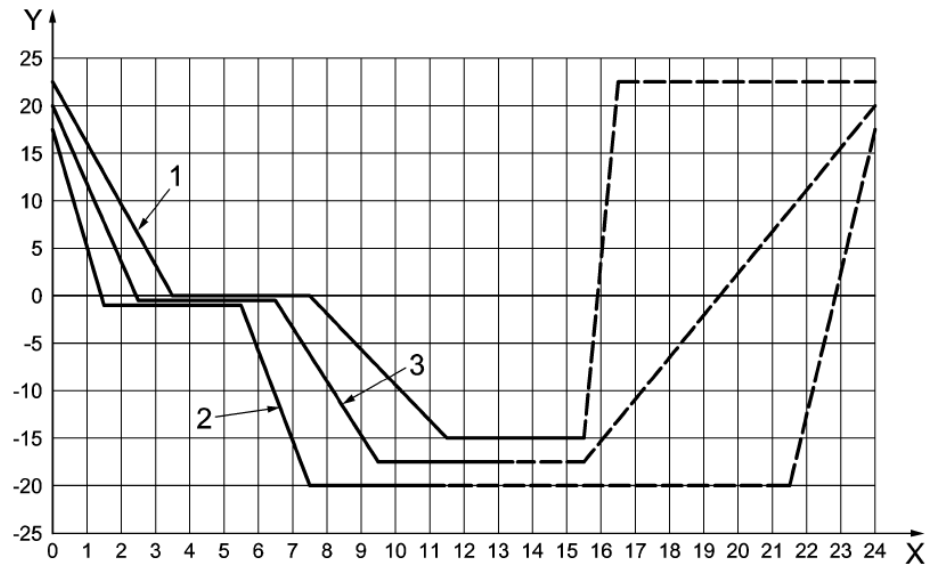
- 7 Tage (analog zur Aushärtungsdauer nach SN 64 496-NA [6]),
- 14 Tage und
- 28 Tage (entsprechend der von der CEN/TS 13286-54 [1] vorgeschlagenen Dauer)

Zum besseren Verständnis sei hier auf die Tabellen 3 bis 6 bzw. Abbildung 4 verwiesen.

Nach Ende der ersten Aushärtungsphase wurden die vier Probekörpersätze (Gruppen A bis D) ausgeschalt in Plastikfolie eingepackt für 2 weitere Tage analog der 1. Aushärtungsphase bei einer Raumtemperatur von 20 ± 2 °C gelagert (= 2. Aushärtungsphase). Anschließend folgte die dritte Phase, in der die Probekörper, je nach Gruppe, unterschiedlich behandelt wurden:

Gruppe A

Die Probekörper der Gruppe A wurden in einem Klimaschrank zehn Frost-Tau-Wechselzyklen von jeweils 24 h unterzogen (siehe Abb. 3).



Legende

Y Temperatur in °C

X Zeit in h

1 Obergrenze

2 Untergrenze

3 Regelung

Abb. 3 Temperaturprofil für einen Frostzyklus; die Kontrolle des Profils erfolgte gemäss Anforderung der CEN/TS 13286-54 mittels einer mittig im Kälteschrank stehenden, Gesteinskörnung enthaltende Dose

Nach Abschluss des zehnten Frost-Tau-Wechselzyklus wurden die Probekörper der Gruppe A (immer noch luftdicht verpackt) und für einen zusätzlichen Tag unter den für die zweite Aushärtungsphase geltenden Bedingungen bei 20 °C im Labor gelagert, um sicherzustellen, dass sie vollständig aufgetaut sind.

Anschliessend wurde die Druckfestigkeit der Probekörper bestimmt. Zur besseren Vergleichbarkeit mit dem Prüfverfahren nach SN 640 496-NA [6] wurden die Probekörper, wie in Abschnitt 3.1.3 beschrieben, unmittelbar vor der Druckfestigkeitsprüfung wiederum vorgängig für 4 Stunden unter Wasser gelagert.

Gruppe B

Während der zehntägigen Frost-Auftauprüfung der Gruppe A wurden die Prüfkörper der Gruppe B bei gleichen Bedingungen wie bei der 2. Aushärtungsphase weitergelagert (total 2 + 10 Tage). Anschliessend wurden sie ebenfalls nach 4 Stunden Wasserlagerung abgedrückt, so dass die Festigkeitswerte aufgrund desselben Alters wie Gruppe A direkt verglichen werden können.

Gruppe C

Um weitere Informationen zur Festigkeitsentwicklung des Gemisches zu erhalten, wurde ein weiterer Satz von drei Probekörpern ("Gruppe C") unmittelbar nach der zehntägigen 2. Aushärtungsphase abgedrückt. Mit dieser lässt sich die Festigkeitszunahme im Zeitraum zwischen dem Ende der zweiten Aushärtungsphase (Gruppe C) und der um 10 Tage verlängerten Lagerung (ohne Frost-Auftauprüfung) von Gruppe B beurteilen (Nacherhärtung des Zements).

Gruppe D

Mit den Probekörpern der Gruppe D wurden Frost-Auftau-Prüfungen nach der "bisherigen" Methode gemäss SN 640 496-NA [6] durchgeführt (siehe Kapitel 3.1).

Der Unterschied besteht darin, dass die Aushärtung bei Gruppe D nicht nur, wie in Kap. 3.1 beschrieben, 7 Tage betrug, sondern auch Probekörper mit 14 und 28 Tage Aushärtungsphase vorhanden waren, sodass ein direkter Vergleich mit den Resultaten der Gruppen A bis C bei 14 und 28 Tagen Aushärtung möglich ist.

Die nachfolgenden Tabellen 3 bis 6 geben einen Überblick über die Lagerungsdauern und Bezeichnungen der Probekörper. Eine schematische Darstellung des Versuchsablaufs ist in Abb. 4 dargestellt. Die Ergebnisse der Druckversuche sind im Anhang vorhanden und im Kapitel 5 zusammengefasst.

Tab. 3: Probekörper für Boden 1 "Jaberg" (GC-GM), der von allen Labors untersucht wurde

Bezeichnung	Gruppe	Lagerung
1.A.7	A	7 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
1.B.7	B	7 Tage + 12 Tage
1.C.7	C	7 Tage + 2 Tage
1.D.7	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (7 Tage Aushärtung)
1.A.14	A	14 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
1.B.14	B	14 Tage + 12 Tage
1.C.14	C	14 Tage + 2 Tage
1.D.14	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (14 Tage Aushärtung)
1.A.28	A	28 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
1.B.28	B	28 Tage + 12 Tage
1.C.28	C	28 Tage + 2 Tage
1.D.28	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (28 Tage Aushärtung)

Tab. 4: Probekörper für Boden 2 "La Tuffière" (SM), der nur von BSL untersucht wurde

Bezeichnung	Gruppe	Lagerung
2.A.7	A	7 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
2.B.7	B	7 Tage + 12 Tage
2.C.7	C	7 Tage + 2 Tage
2.D.7	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (7 Tage Aushärtung)
2.A.14	A	14 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
2.B.14	B	14 Tage + 12 Tage
2.C.14	C	14 Tage + 2 Tage
2.D.14	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (14 Tage Aushärtung)
2.A.28	A	28 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
2.B.28	B	28 Tage + 12 Tage
2.C.28	C	28 Tage + 2 Tage
2.D.28	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (28 Tage Aushärtung)

Tab. 5: Probekörper für Boden 3 "Burgergut" (SM), der nur von TFB untersucht wurde

Bezeichnung	Gruppe	Lagerung
3.A.7	A	7 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
3.B.7	B	7 Tage + 12 Tage
3.C.7	C	7 Tage + 2 Tage
3.D.7	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (7 Tage Aushärtung)
3.A.14	A	14 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
3.B.14	B	14 Tage + 12 Tage
3.C.14	C	14 Tage + 2 Tage
3.D.14	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (14 Tage Aushärtung)
3.A.28	A	28 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
3.B.28	B	28 Tage + 12 Tage
3.C.28	C	28 Tage + 2 Tage
3.D.28	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (28 Tage Aushärtung)

Tab. 6: Probekörper für Boden 4 "Diepoldsbach" (GP-GM), nur von IMP untersucht

Bezeichnung	Gruppe	Lagerung
4.A.7	A	7 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
4.B.7	B	7 Tage + 12 Tage
4.C.7	C	7 Tage + 2 Tage
4.D.7	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (7 Tage Aushärtung)
4.A.14	A	14 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
4.B.14	B	14 Tage + 12 Tage
4.C.14	C	14 Tage + 2 Tage
4.D.14	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (14 Tage Aushärtung)
4.A.28	A	28 Tage + 2 Tage + 10 Tage Frost-Auftauzyklen
4.B.28	B	28 Tage + 12 Tage
4.C.28	C	28 Tage + 2 Tage
4.D.28	D	Prüfung nach bisheriger SN 640 496-NA (28 Tage Aushärtung)

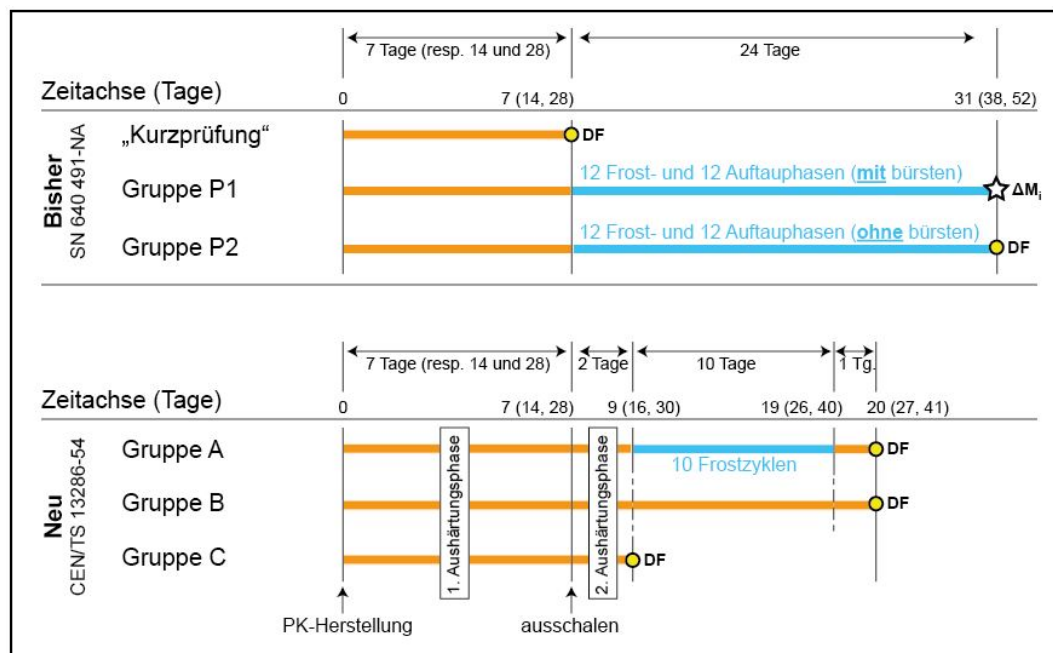


Abb. 4 Schema der Versuchsabläufe

4 Ergebnisse nach SN 640 496-NA

Für alle untersuchten Böden wurden die Prüfungen für Masseverlust und Druckfestigkeit gemäss SN 640 496-NA [6] durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.1).

Die Resultate der verschiedenen Labors sind farblich unterschieden: BSL – grün, IMP – blau und TFB – magenta).

4.1 Masseverlust

In den nachfolgenden Diagrammen sind die Masseverluste (Prüfkörpergruppe P1) für die verschiedenen Lagerungsdauern 7, 14 und 28 Tage sowie dem gem. USCS-Klassifizierung zulässigen Grenzwert nach Tabelle 6 [6] dargestellt.

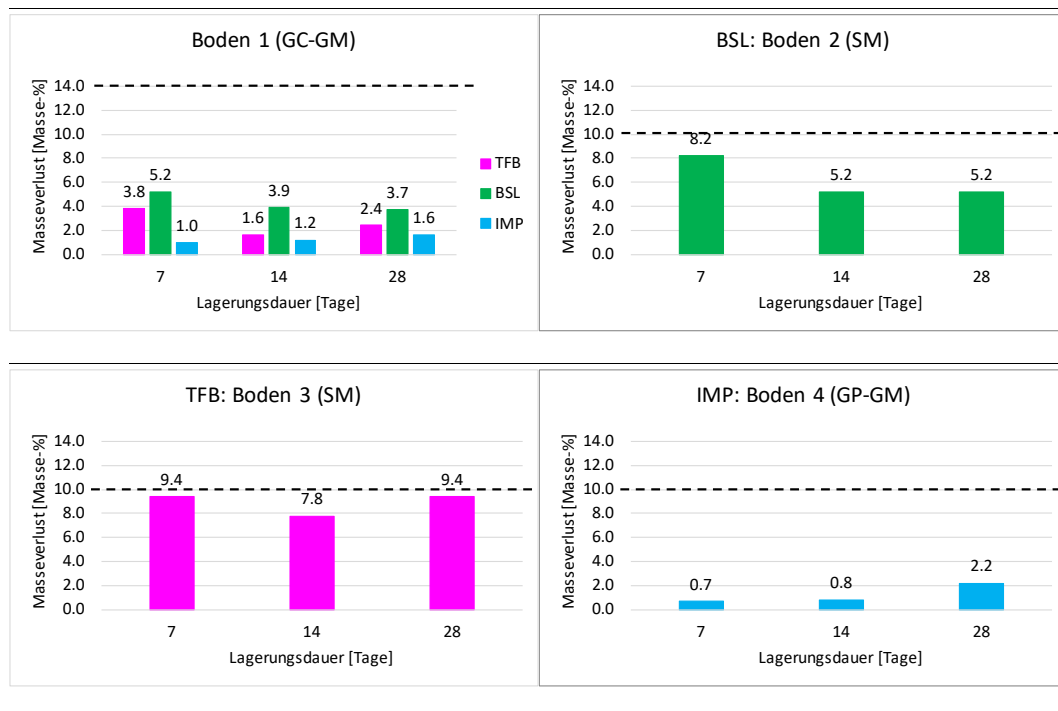


Abb. 5 Ergebnisse für den Masseverlust der Frost-Auftauprüfung nach bisheriger Norm SN 640 496-NA [6] für die verschiedenen Lagerungsdauern 7, 14 und 28 Tage aufgrund der 1. Aushärtungsphase (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB)

Aufgrund der Ergebnisse können folgende Schlüsse festgehalten werden:

- Alle Resultate liegen unabhängig von Lagerungsdauer und Bodenart unterhalb des für die jeweilige Bodenart zulässigen Masseverlusts. Das bedeutet, dass bei den ausgewählten Bindemitteldosierungen alle Böden als frostbeständig anzusehen sind.
- Beim Boden 1, der von allen drei Labors untersucht wurde, zeigen sich z.T. deutliche Schwankungen (sowohl innerhalb der Labors bei unterschiedlicher Lagerungsdauer als zwischen den Labors). Diese können zwischen ca. 30 % und Faktor 5 liegen. Trotzdem liegen auch die höchsten Resultate deutlich unter dem zulässigen Grenzwert des Masseverlusts für die Frostbeständigkeit.
- Bezüglich der unterschiedlichen Lagerungsdauern ist keine eindeutige Korrelation erkennbar. Der Masseverlust kann sowohl nach 7 Tagen wie auch nach 28 Tagen am grössten sein.

4.2 Druckfestigkeit

Im nachfolgenden Abbildungen 6 und 7 sind die Resultate aller Labors für die Druckfestigkeiten für den Boden 1 und die anderen drei Böden dargestellt. Dabei sind die Resultate vor der Frostbeanspruchung als volle Säulen und die Resultate nach Frostbeanspruchung als leere Säulen dargestellt.

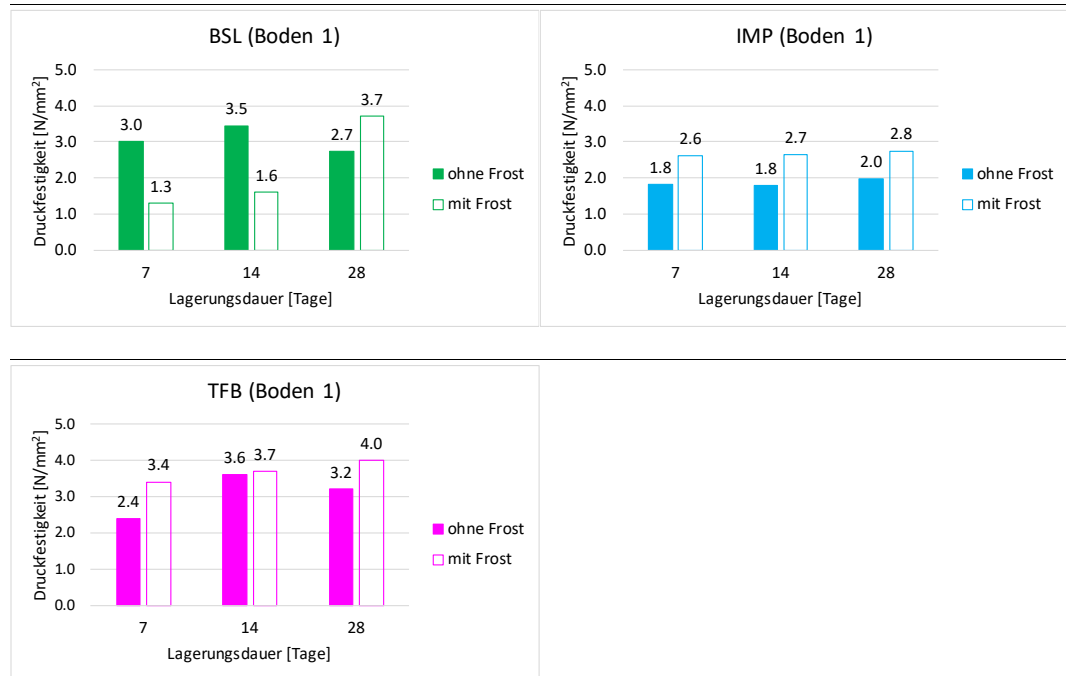


Abb. 6 Ergebnisse der Frost-Auftauprüfung nach SN 640 496-NA [6] von Boden 1 für die verschiedenen Lagerungsdauern von 7, 14 und 28 Tagen aufgrund der 1. Aushärtungsphase (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB)

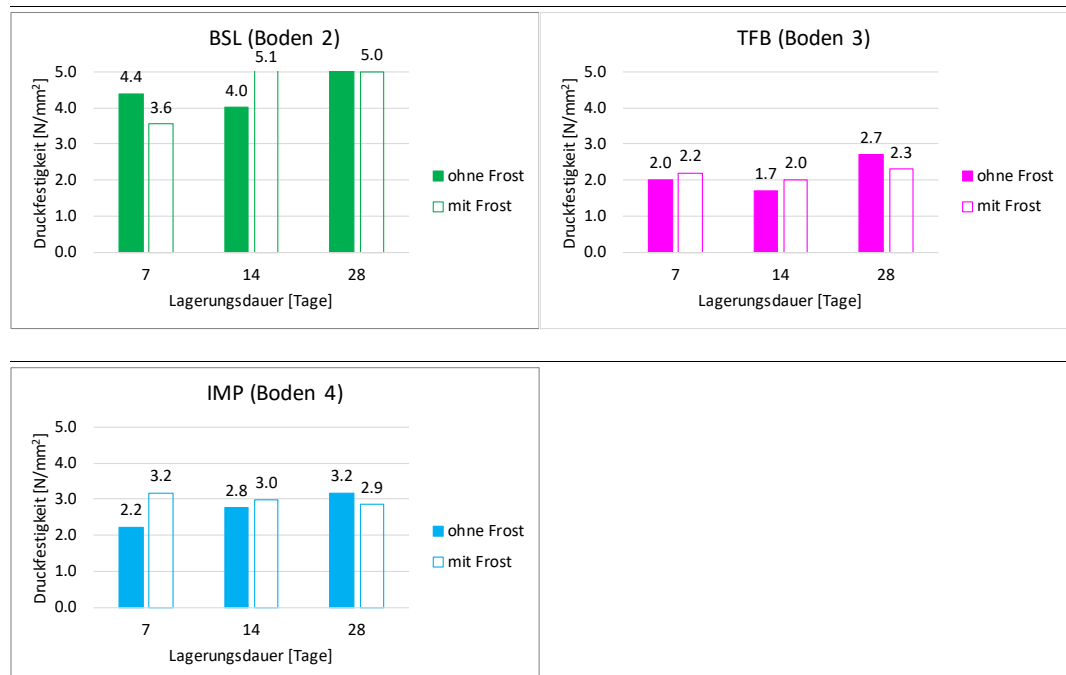


Abb. 7 Ergebnisse der Frost-Auftauprüfung nach SN 640 496-NA [6] der Böden 2 bis 3 für die verschiedenen Lagerungsdauern von 7, 14 und 28 Tagen aufgrund der 1. Aushärtungsphase (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB)

Aufgrund der dargestellten Ergebnisse können folgende Schlüsse festgehalten werden:

- Die Resultate der 3 Labors schwanken bei gleicher Lagerungsdauer (7, 14 und 28 Tage) insgesamt sehr stark, was vermutlich auf die geringe Probenanzahl (je ein einzelner Probekörper) und damit verbundener Streuungen infolge der Probekörperherstellung (Proctorverdichtung, siehe Abschnitt 3.1.1 und 6.1) zurückzuführen sein kann. Der Unterschied kann bei gleichen Lagerungsdauern zwischen 30 und 100 % liegen. Gemäss SN 640 496-NA wurden lediglich 2 Probekörper pro Lagerungsdauertermin untersucht.
- Tendenziell nehmen die Druckfestigkeiten mit längerer Lagerungsdauer infolge der fortschreitenden Zementhydratation eher zu. Die Zunahme liegt in einer Grössenordnung von 10 bis 30 % zwischen 7 und 28 Tagen, was in der aus der Betontechnologie erwartenden Grössenordnung für Zement liegt (vgl. Abschnitt 6.2). Allerdings liegen die Werte damit auch in einem Bereich, der als Prüfstreuung infolge der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung interpretiert wird (vgl. Abschnitt 6.1).
- Gemäss [6] soll die Druckfestigkeit nach den 12 Frost-Auftau-Prüfung (Gruppe P2) nicht kleiner sein als nach Abschluss der Aushärtungsphase (7, 14 und 28 Tage). In Abb. 7 ist ersichtlich, dass dieses Kriterium bei allen Böden und allen 3 Labors nur teilweise erfüllt wird. Bei Boden 1 (BSL 7 und 14 Tage), bei Boden 2 (BSL) bei 7 Tagen und bei Boden 3 (TFB) und 4 (IMP) bei 28 Tagen auf. Der Grund für diese Abweichungen ist nicht abschliessend erklärbar. Mögliche Gründe könnten unterschiedliche bzw. wechselnde Wassersättigungsgrade während der Frost-Auftaubbeanspruchung sein. Im Gegensatz zur neuen Prüfung nach CEN/TS [1] sind die Prüfkörper nicht vor Veränderungen des Wassergehalts geschützt, sondern werden während der Auftauphase auf einem wassergesättigten Filz und während der Forstphase auf einem trockenen Filz gelagert. Entsprechend kann sich die Wassersättigung während der Prüfung dauernd ändern, was sich sowohl auf die Festigkeitsentwicklung als auch auf die "Frostempfindlichkeit" eines einzelnen Probekörpers auswirken kann (unterschiedliche Anteile an gefrierbarem Wasser). Allerdings gilt auch hier, dass die "zu niedrigen" Werte nach Frostbeanspruchung meistens innerhalb der Grössenordnung der Streuung der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung liegen (vgl. Abschnitt 6.1).

4.3 Zusammenfassung

Bei allen Lagerungsdauern (7, 14 und 28 Tage) und allen 4 Böden hat sich gezeigt, dass das Kriterium des maximalen Massenverlustes eingehalten wurde. Die Anforderung wurde immer, z.T. sehr deutlich, erfüllt. Dies sogar auch dann, wenn die Druckfestigkeit nach Frost z.T. niedriger war. Damit können alle untersuchten Boden-Bindemittelgemischen gem. "bisheriger" SN 640 496-NA [6] als frostbeständig angesehen werden.

Die Druckfestigkeit nimmt – auch unter Berücksichtigung der herstellungsbedingten Streuung der Probekörper (Proctorverdichtung) – mit zunehmender Lagerungsdauer, wie erwartet, infolge der fortschreitenden Zementhydratation zu. In den meisten Fällen nimmt auch die Druckfestigkeit nach Frost-Tauwechselbeanspruchung zu, was bei ausreichender Frostbeständigkeit auch zu erwarten ist. Trotzdem traten in jeder Prüfreihe und damit bei jedem Labor Abweichungen auf, bei der die Druckfestigkeit nach Frost geringer war.

Der Vergleichsversuch an Boden 1 (Durchführung der Prüfung von allen drei beteiligten Labors) zeigt auch, dass die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse – sowohl bezüglich des Niveaus der Druckfestigkeiten als auch bezüglich der Beurteilung der Frostbeständigkeit nur bedingt gegeben ist. Gründe hierfür sind wahrscheinlich die gemäss Normvorgabe (zu) geringen Probenanzahl, Streuung in Bezug auf die Probekörperherstellung und eventuelle Einflüsse durch die variable Wassersättigung während der Frost-Auftau-Beanspruchung.

5 Ergebnisse nach CEN/TS 13286-54

In diesem Kapitel werden die Versuche, die nach CEN TS 13286-54 [1] durchgeführt wurden, ausgewertet und erläutert.

Die Resultate der verschiedenen Labors sind farblich unterschieden: BSL – grün, IMP – blau und TFB – magenta

5.1 Druckfestigkeit (Absolutwerte)

In diesem Abschnitt werden die Absolutwerte der Druckfestigkeiten verglichen. In der linken Spalte von Abb. 8 und 9 sind die Resultate nach CEN/TS [1] dargestellt. In der rechten Spalte sind zum Vergleich die Resultate nach SN 640 496-NA [6] (vgl. Abb. 6 und 7) gegenübergestellt.

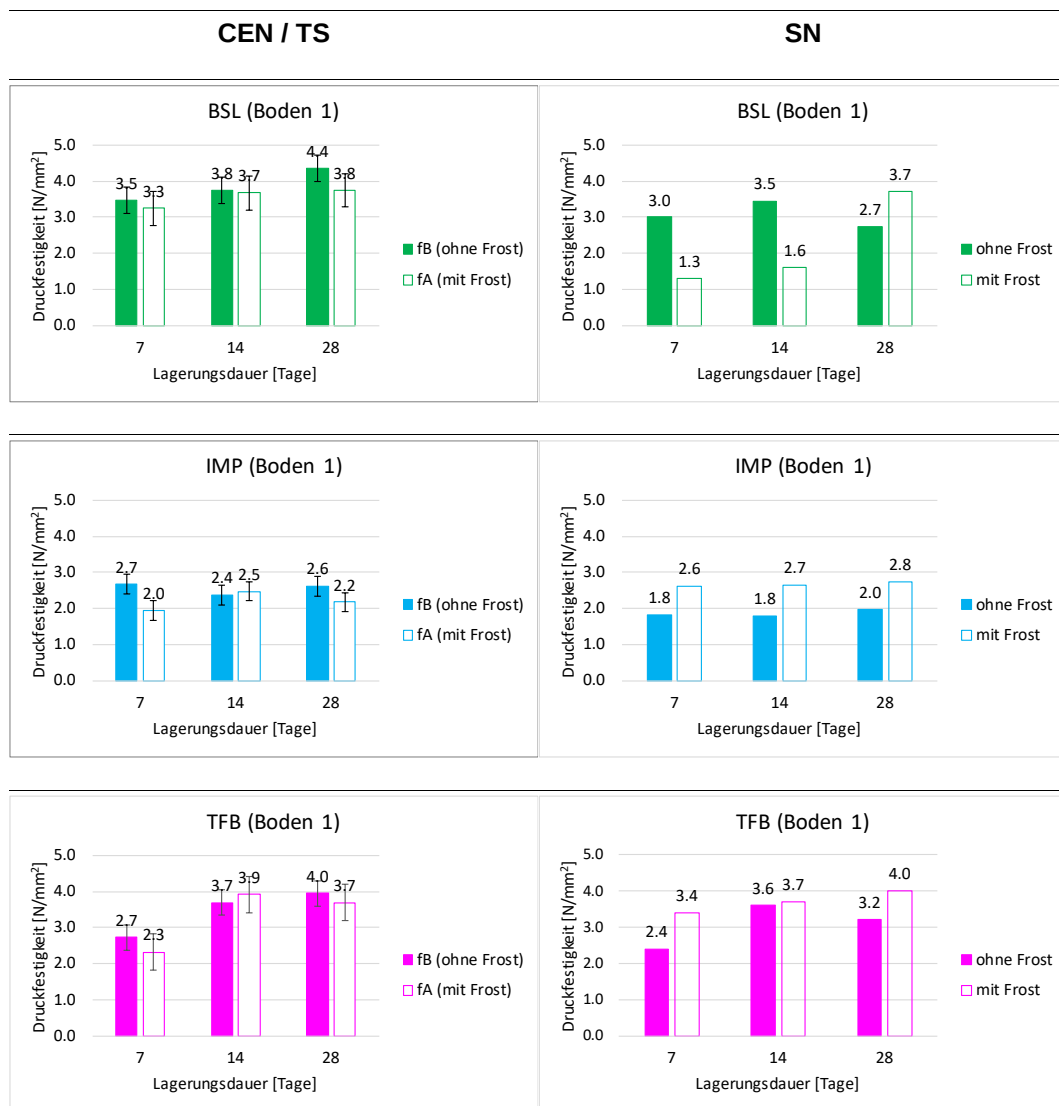


Abb. 8 Absolutwerte der Druckfestigkeit der Prüfkörper für Boden 1. Die linke Spalte sind Resultate für die Prüfung nach CEN/TS [1] und in der rechten Spalte sind die Resultate nach SN 640 496-NA aus Abb. 6 gegenübergestellt. Die Fehlerindikatoren stellen die Streuung der Absolutwerte dar. (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB)

Folgende Feststellungen können getroffen werden:

- Die Resultate zwischen den Labors schwanken z.T. deutlich. Dies wurde bereits in Abschnitt 4.2 festgestellt und diskutiert.
- Die Druckfestigkeiten nehmen tendenziell mit steigender Lagerungsdauer zu (vermutlich infolge der Zementhydratation, siehe Abschnitt 6.2), sind aber insgesamt sehr ähnlich.
- Tendenziell sind die Druckfestigkeiten nach Frostbeanspruchung geringer als ohne. Allerdings gibt es auch Abweichungen bei allen Labors (BSL 28 Tage sowie IMP und TFB bei 14 Tagen). Das wurde auch bereits für die alte Prüfung beobachtet und auf die Streuung infolge der Prüfkörperherstellung mittels Proctorverdichtung zurückgeführt (vgl. Abschnitt 6.1).

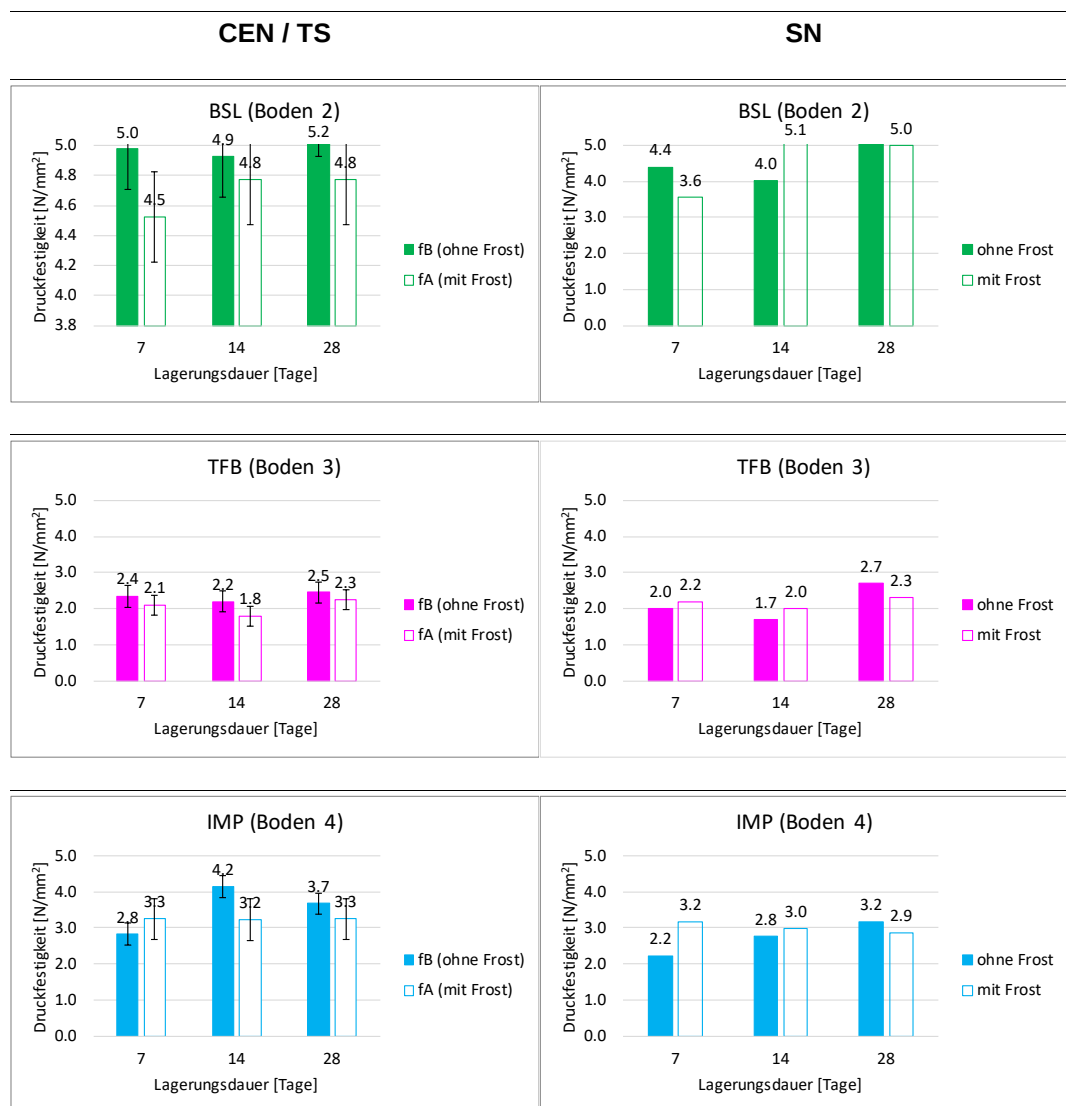


Abb. 9 Absolutwerte der Druckfestigkeit der Prüfkörper für die Böden 2 bis 4. Die linke Spalte sind Resultate für die Prüfung nach CEN/TS [1] und in der rechten Spalte sind die Resultate nach SN 640 496-NA aus Abb. 7 gegenübergestellt. Die Fehlerindikatoren stellen die Streuung der Absolutwerte dar. (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB)

Für die Böden 2 bis 4 können ähnliche Schlussfolgerungen gezogen werden wie für Boden 1:

- Deutliche Schwankungen (grosse Prüfstreuung).
- Die Druckfestigkeit ist nach Frostbeanspruchung i.d.R. niedriger also ohne aber es gibt Ausnahmen.
- Die Festigkeit nimmt tendenziell mit zunehmender Lagerungsdauer zu (Zementhydratation).

5.2 Verhältnis der Druckfestigkeiten nach und vor Frost-Auftaubeanspruchung

In den nachfolgenden Diagrammen werden die Resultate der Druckfestigkeitsprüfungen nach CEN/TS [1] ohne und mit Frostbeanspruchung miteinander verglichen. Zur Verdeutlichung sind die 1:1-Linien eingetragen (Punkte über der Linie → Druckfestigkeit mit Frost höher als ohne Frost; Punkte unterhalb der Linie → Druckfestigkeit tiefer als ohne Frost). Dabei werden ebenfalls zwei Parallelen zur 1:1-Linie im Abstand von 48 % dargestellt. Dieser Wert entspricht der geschätzten doppelten Standardabweichung auf Basis des Variationskoeffizienten für die Streuung aus der Proctorverdichtung gemäss Kapitel 6.1 und entspricht damit einem Vertrauensbereich von 95 %.

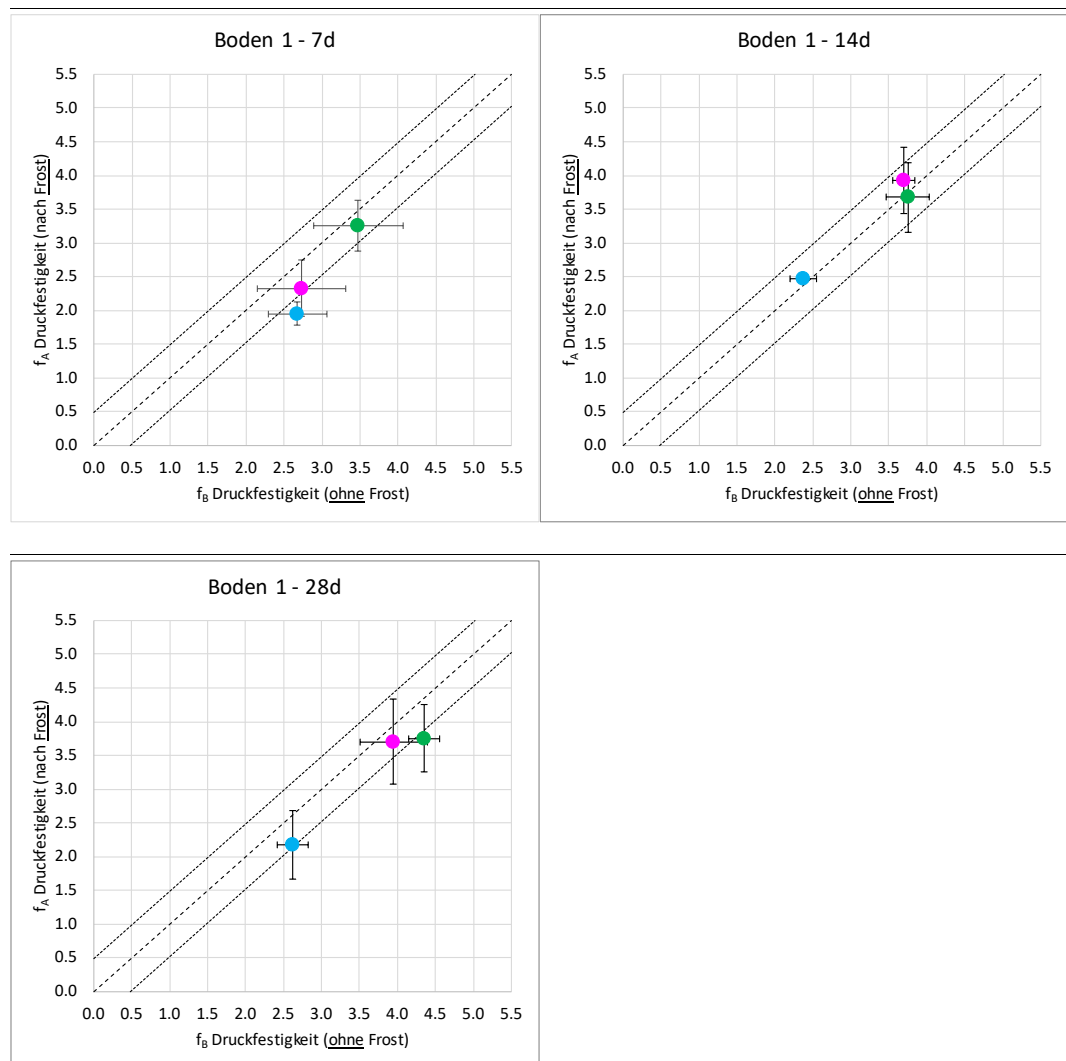


Abb. 10 Verhältnis der Druckfestigkeiten (Mittelwerte) ohne Frost-Auftaubeanspruchung zu Druckfestigkeit mit Frost-Auftaubeanspruchung für die verschiedenen Lagerungsdauern 7, 14 und 28 Tage für den Boden 1. (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB)

Die Fehlerindikatoren stellen die Streuung innerhalb der Prüfkörperserie (einfache Standardabweichung) dar. Die Parallelen zur 1:1-Linie stellen den geschätzten Streubereich der Druckfestigkeit infolge der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung dar (vgl. Abschnitt 6.1).

Aus den Diagrammen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Werte schwanken zwischen den Labors deutlich, liegen aber i.d.R. im Bereich des erwarteten Streubereichs. Die Schwankungen können damit auf die Streuungen infolge der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung zurückgeführt werden.
- Die Resultate (Mittelwerte) liegen i.d.R. erwartungsgemäss auf oder unterhalb der 1:1-Linie und innerhalb des infolge der Proctorverdichtung erwarteten Streubereichs. Die Verhältnisse variieren bei allen Lagerungsdauern zwischen 0.73 und 0.98 (im Mittel bei 0.91). Auch hier gibt es wieder Ausnahmen. Bei IMP (7 Tage) und BSL (28 Tage) liegen die Mittelwerte ausserhalb des Streubereichs unterhalb der 1:1-Linie und bei 14 Tagen liegen die Mittelwerte von IMP und TFB oberhalb der 1:1-Linie, jedoch innerhalb des erwarteten Streubereichs (1.06 und 1.04).

Die Verhältnisse und Zusammenhänge für die Böden 2 bis 4 sind in der Abbildung 11 dargestellt.

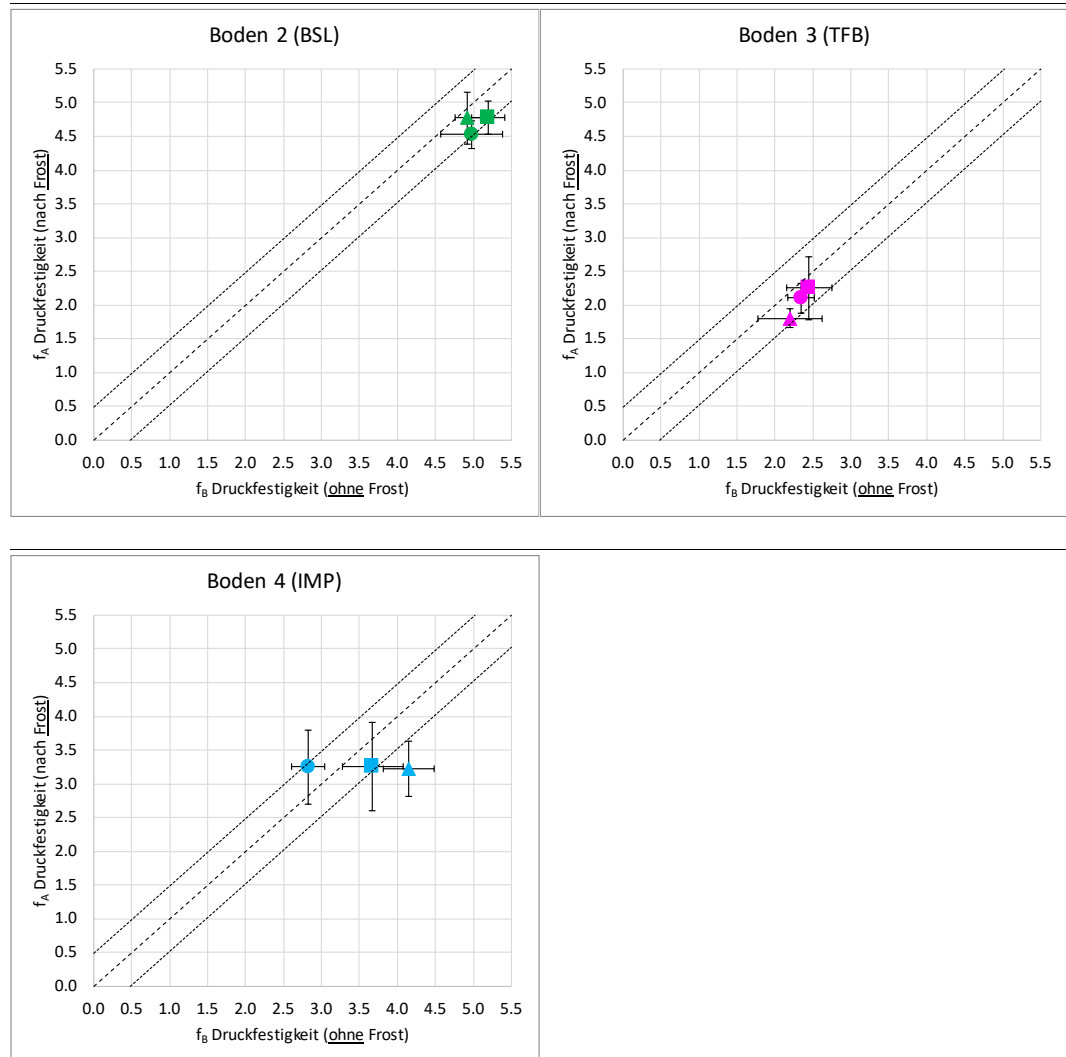


Abb. 11 Verhältnis der Druckfestigkeiten (Mittelwerte) ohne Frost-Auftaubebeanspruchung zu Druckfestigkeit mit Frost-Auftaubebeanspruchung für die verschiedenen Lagerungsdauern 7, 14 und 28 Tage für die Böden 2 bis 4. (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB)

Die Fehlerindikatoren stellen die Streuung innerhalb der Prüfkörperserie (einfache Standardabweichung) dar. Die Parallelen zur 1:1-Linie stellen den geschätzten Streubereich der Druckfestigkeit infolge der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung dar (vgl. Abschnitt 6.1).

Analog den Resultaten von Boden 1 kann folgendes festgestellt werden:

- Die Resultate liegen i.d.R. erwartungsgemäss unterhalb der 1:1-Linie und innerhalb des infolge der Proctorverdichtung erwarteten Streubereichs. Die Verhältnisse der Festigkeiten mit und ohne Frostbeanspruchung variieren bei allen Lagerungsdauern zwischen 0.93 für Boden 2, 0.88 für Boden 3 und 0.94 für Boden 4. Auch hier gibt es wieder Ausnahmen. Bei IMP (14 Tage) ist der Mittelwert des Verhältnisses mit 0.78 ausserhalb des Streubereichs um die 1:1-Linie und bei 7 Tagen liegt der Mittelwert des Verhältnisses mit 1.15 oberhalb der 1:1-Linie, jedoch innerhalb des erwarteten Streubereichs).
- Die Unterschiede der Festigkeitsverhältnisse sind bei den unterschiedlichen Lagerungsdauern ähnlich gross.

5.3 Zusammenfassung

5.3.1 Festigkeit mit und ohne Frostbeanspruchung

Die Versuche nach CEN/TS [1] wurden mit den Bindemittelgehalten durchgeführt, für welche die Frostbeständigkeit gemäss bisheriger SN 640 496-NA [6] vorgängig nachgewiesen wurden (vgl. Kapitel 4).

Die nach der neuen Versuchsanordnung aus CEN/TS [1] ermittelten Absolutwerte der Druckfestigkeiten und die Verhältnisse der Druckfestigkeiten mit und ohne Frost-Auftaubbeanspruchung gelten also für 4 verschiedene *a priori* frostbeständige hydraulisch gebundene Böden.

In den meisten Fällen ist erwartungsgemäss eine Abnahme der Absolutwerte der Druckfestigkeit nach der Frost-Auftaubbeanspruchung zu verzeichnen. Für Boden 1 liegt das Verhältnis "mit Frostbeanspruchung" / "ohne Frostbeanspruchung", zwischen 0.73 und 0.98 (im Mittel 0.91). Für die Böden 2 bis 4 bei 0.88 bis 0.94. Diese Abnahme ist nicht abhängig von der vorgängigen Probenaushärtung (Lagerungsdauer 7, 14 und 28 Tage) und liegt mit im Mittel ca. 8 % (Standardabweichung 7 %) im Bereich der durch die Prüfkörperherstellung erwarteten Streuung (Proctorverdichtung). Bei einigen Proben sind sogar Zunahmen von 4 bis 15 % ermittelt worden.

Die Überlappung zwischen dem durch die Probekörperherstellung bedingten Streubereich und den Verhältnissen der mittleren Druckfestigkeiten mit und ohne Frostbeanspruchung bedeutet, dass – trotz Erhöhung der Anzahl Probekörper im Vergleich zur bisherigen SN 640 496-NA [1] – anhand der vorliegenden Daten keine eindeutigen Trends bzw. Grenzwerte basierend auf Druckfestigkeiten hin zu einem verbindlichen Kriterium für die Frostbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen abgeleitet werden können.

5.3.2 Vergleich der Festigkeiten von CEN/TS 13286-54 und SN 640 496-NA

Bei beiden Prüfungen (bisherige SN 640 496-NA [6] und CEN/TS 13286-54 [1]) kann die Frostbeständigkeit grundsätzlich mittels Veränderung der Druckfestigkeit beurteilt werden. Aufgrund unterschiedlicher Prüfzeitpunkte können die Ergebnisse bzw. Druckfestigkeitsänderungen zwischen den beiden Versuchen allerdings nicht direkt miteinander verglichen werden. Bei der bisherigen Prüfung erfolgt die Bestimmung der Druckfestigkeit nach der Frost-Auftaubbeanspruchung zu einem späteren Zeitpunkt als die Referenzdruckfestigkeit vor der Frost-Auftau-Auslagerung bei 7 Tagen. Nebst der Einwirkung der Frost-Auftaubbeanspruchung spielt hier also auch die Festigkeitsentwicklung während der 12 Frost-Auftau-Zyklen eine wichtige Rolle. So zeigten die Versuche denn auch, dass je nach Lagerungsdauer bei allen 4 Böden die Druckfestigkeiten nach der Frostbeanspruchung zumindest teilweise höher als der Referenzwert nach 7 Tagen (ohne Frost) waren. Allerdings gab es bei allen Böden stets auch Prüfserien, bei denen nach der Frostbeanspruchung im Vergleich zum 7-Tage-Referenzwert eine tiefere Druckfestigkeit resultierte. Gemäss SN 640 496-NA soll die Druckfestigkeit nach der Frostbeanspruchung grösser sein als die 7-Tage-Referenzfestigkeit. Ein Zusammenhang zwischen (besserer) Frostbeständigkeit und (längerer) Lagerungs- bzw. Aushärtungsdauer konnte anhand der Resultate nach bisheriger Norm nicht festgestellt werden.

Bei den Prüfungen nach CEN/TS 13286-54 [1] sind die Probekörper mit und ohne Frostbeanspruchung zum Zeitpunkt der Druckfestigkeitsprüfung gleich alt. Änderungen der Druckfestigkeit widerspiegeln somit grundsätzlich nur Einwirkungen der Frostbeanspruchung. So sind denn auch die mittleren Druckfestigkeiten (Serienmittelwerte) der Prüfkörpergruppe A mit Frost im Rahmen der Streuung infolge Proctorverdichtung entweder i.d.R. gleich hoch oder tiefer als die der Gruppe B ohne Frost. Die effektiven Unterschiede zwischen den Prüfkörpergruppen mit und ohne Frost sind allerdings relativ klein und aufgrund der grossen Streuung der Einzelwerte (bedingt u.a. durch die Probekörperherstellung, siehe Abschnitt 6.1) nur in Einzelfällen wirklich als signifikant zu beurteilen.

6 Diskussion

6.1 Streuung der Druckfestigkeiten (Prüfkörperherstellung)

Das Grundprinzip der Prüfung nach CEN/TS 13286-54 [1] basiert auf der Ermittlung der Druckfestigkeit an standardisierten Probekörpern, wobei als Kriterium der Frostepfindlichkeit die Veränderung der Zylinderdruckfestigkeit nach Frostbeanspruchung verwendet wird. Voraussetzung für eine aussagekräftige Beurteilung eines Probenmaterials ist somit, dass Zylinderdruckfestigkeiten an Probekörpern, welche einer identischen Nachbehandlung unterzogen wurden, mit einer ausreichenden Reproduzierbarkeit bestimmt werden können.

Um die vorliegenden Versuchsergebnisse besser einordnen zu können, ist es deshalb wichtig, die wesentlichen Einflussgrößen zu diskutieren, welche sich per se auf die Bestimmung der Zylinderdruckfestigkeit – also auf die Reproduzierbarkeit ohne Unterschiede bei der Nachbehandlung und allfällige Frostbeanspruchung – auswirken.

In diesem Zusammenhang sind insbesondere folgende Faktoren bzw. Einflussgrößen zu beachten:

- Messunsicherheit der verwendeten Prüfmaschine zur Ermittlung der Bruchkraft
- Messunsicherheit bei der Ermittlung der Lasteintragsfläche (resultierend aus dem Ausmessen des Probekörperdurchmessers)
- Geometrie der Probekörper (insbesondere Planparallelität und Ebenheit der Stirnflächen)
- Zusammensetzung des Probenmaterials (Streuung zwischen einzelnen Probekörpern punkto Korngrößenverteilung, Bindemittelgehalt und Bindemittelverteilung, resultierend aus der Probeteilung und dem Mischprozess)
- Schwankungen bei der Verdichtung des Probenmaterials bei der Probekörperherstellung mittels Proctorgerät

Aus der allgemeinen Laborpraxis ist hinlänglich bekannt, dass die Messunsicherheit von Prüfmitteln für die Bestimmung von Kraft, Massen und Längen in aller Regel sehr klein ist und deren Beitrag zur Gesamtpräzision der Prüfverfahren meistens gering bis vernachlässigbar ist. Zumal in akkreditierten Labors sämtliche Messmittel regelmässig kalibriert werden. Die weitaus wichtigsten Einflussgrößen bei physikalischen Prüfungen an standardisierten Probekörpern sind i.d.R. bei den Verfahren zur Probekörperherstellung selber zu suchen. Bei den vorliegenden Prüfergebnissen dürften sich somit insbesondere die letzten drei der oben aufgezählten Punkte auf die Reproduzierbarkeit auswirken.

Probekörpergeometrie und Verdichtungsgrad sind im Wesentlichen abhängig von den verwendeten Prüfformen ("Schalungen") und dem Verdichtungsgerät. Abweichungen bei der Geometrie der Probekörper können durch die Verwendung von formstabilen Prüfformen weitgehend vermieden werden. Weitaus problematischer ist die Verdichtung des Probenmaterials, welches nach CEN/TS 13286-54 [1] mit dem Proctorgerät nach EN 13286-2 [7] zu erfolgen hat. Der Verdichtungsgrad (bzw. die eingebrachte Verdichtungsarbeit) wird über die Fallhöhe, Masse und Grundfläche des Schlaghammers sowie über die Anzahl einzubauender Schichten und Anzahl Schlägen pro Schicht gesteuert. Für die vorliegenden Versuche wurden alle Probekörper in Prüfformen des Typs A mit einer Verdichtungsenergie "Standard" (0.6 MJ/m^3 gemäss EN 13286-2 [7]) hergestellt. Geometrie, Fallhöhen und Masse des Schlaghammers und der Zylinderform sind in der EN 13286-2 [7] genormt. Die konstruktiven Details zum Proctorgerät und insbesondere die Schlagverteilung über die Probenoberfläche lässt die Norm jedoch weitgehend offen. So wurden denn bei den vorliegenden Versuchen in den beteiligten Labors auch drei Proctorgeräte unterschiedlicher Bauart verwendet, was sich somit auf die Reproduzierbarkeit der Verdichtung bei Vergleichen zwischen unterschiedlichen Labors auswirken dürfte.

Hinzu kommen individuelle Einflussgrößen, welche weitgehend vom Prüfer gesteuert werden und sich somit sowohl auf die Wiederholbarkeit im Labor als auch auf die Reproduzierbarkeit zwischen verschiedenen Labors auswirken. Hierzu gehören z.B. unterschiedliche

Schichtstärken beim lagenweisen Einbau des Probenmaterials oder Unterschiede beim Abgleichen der Probekörperoberfläche (Überfüllungsgrad der Prüfform nach der Schlagverdichtung und Abziehen des überstehenden Materials im Anschluss an das Verdichten).

Beim geprüften Boden 1 haben alle 3 Labors dieselben Versuchsreihen mit jeweils identischen Rahmenbedingungen durchgeführt (Materialart, Bindemittelgehalt, Wassergehalt, Probekörperverdichtung und Nachbehandlung). Somit können diese Daten auch zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Zylinderdruckfestigkeit bei definierter Probekörperkonditionierung verwendet werden. Für die Prüfung der Vergleichbarkeit der Druckfestigkeit ist insbesondere das Raumgewicht der Probekörper hilfreich. Die Trockendichte unmittelbar nach der Probekörperherstellung widerspiegelt dabei einerseits allfällige Unregelmässigkeiten bei der Materialzusammensetzung (Probenteilung und Mischprozess) und ist zudem direkt proportional zum Verdichtungsgrad.

In Abb. 12 dargestellt ist die Verteilung der Trockendichte sämtlicher Probekörper vom Boden 1, welche in den 3 teilnehmenden Labors hergestellt wurden (Volumen- und Massebestimmung vor der Konditionierung und somit unabhängig von der späteren Lagerung und allfälliger Frostbeanspruchung). Die Histogramme zeigen, dass sich die in den 3 Labors erzielten Trockendichten zwar überschneiden, die grösste Häufigkeit bzw. die Mittelwerte sich jedoch bei einem unterschiedlichen Niveau befinden (IMP: 2.024 Mg/m³; BSL: 2.066 Mg/m³; TFB: 2.084 Mg/m³). Diese Unterschiede dürften wie oben erwähnt zum grössten Teil auf die Probekörperverdichtung zurückzuführen sein.

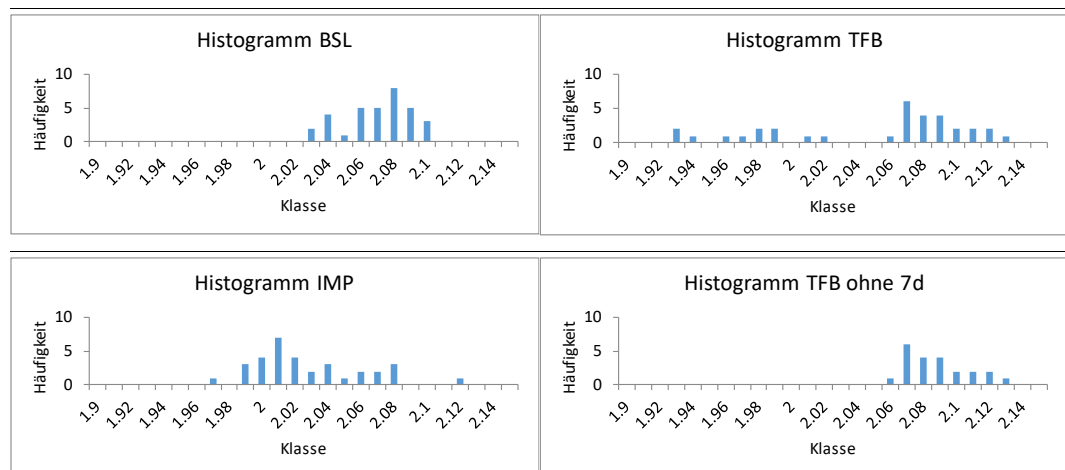


Abb. 12 Häufigkeitsverteilung der Trockendichte der Probekörper aus Boden 1 in den 3 Labors BSL, IMP und TFB

Für eine Gegenüberstellung von Trockendichte und resultierender Druckfestigkeit können nun jene Probengruppen von Boden 1 verwendet werden, welche in allen 3 Labors derselben Konditionierung (Auslagerungsdauer, Frost Ja/Nein) unterzogen worden sind. Aus den Prüfungen gem. CEN/TS 13286-54 [1] sind dies 9 Datensätze, welche in sich vergleichbare Resultat liefern sollten (siehe Abb. 13 bis 15). Dabei ist ersichtlich, dass erwartungsgemäss bei allen Probengruppen stets eine positive Korrelation zwischen der Trockenrohdichte ($\equiv$ Verdichtungsgrad) und der Zylinderdruckfestigkeit besteht. D.h., die methodisch bedingte Streuung bei der Probekörperherstellung (Verdichtungsenergie, eingebaute Probenmenge) wirkt sich direkt auf die Zylinderdruckfestigkeit aus (je höher die Verdichtung, desto höher die Druckfestigkeit). Eine solche positive Korrelation zwischen Dichte und Druckfestigkeit ist im Übrigen auch in der Betontechnologie hinlänglich bekannt.

Der Einfluss der Trockendichte auf die Druckfestigkeit scheint sich zudem mit zunehmender Festigkeitsentwicklung (Hydratation des Bindemittels) noch zu akzentuieren (die Steigung der Trendlinien nimmt bei den Gruppen mit einer 1. Aushärtungsphase von 7 über 14 zu 28 Tagen tendenziell zu; vergl. Abb. 13 mit Abb. 14 und 15).

Abb. 13 bis 15 veranschaulichen auch deutlich, dass die Streuung der einzelnen Druckfestigkeiten selbst in Bereichen gleicher Trockendichte sehr hoch ist. Diese Streuung dürfte

das Resultat der Summe aller übrigen Einflussgrössen nebst der Verdichtung widerspiegeln (siehe oben) und macht deutlich, dass die Bestimmung der Druckfestigkeit von hydraulisch stabilisierten Probekörpern grundsätzlich mit relativ hohen Messunsicherheiten behaftet ist.

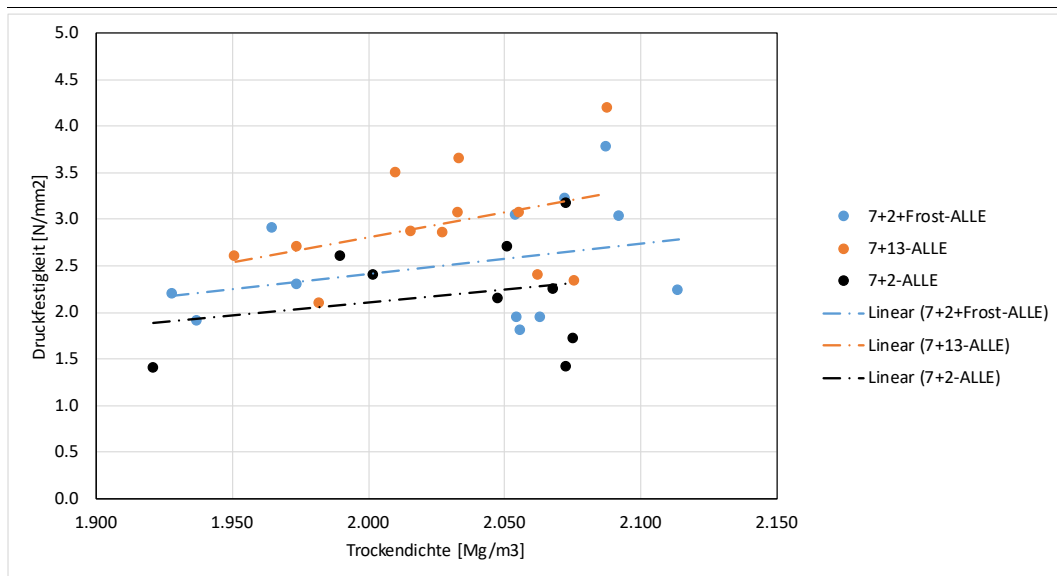


Abb. 13 Korrelation Trockendichte vs. Druckfestigkeit, Probengruppen mit 2. Aushärtungsphase = 7 Tage

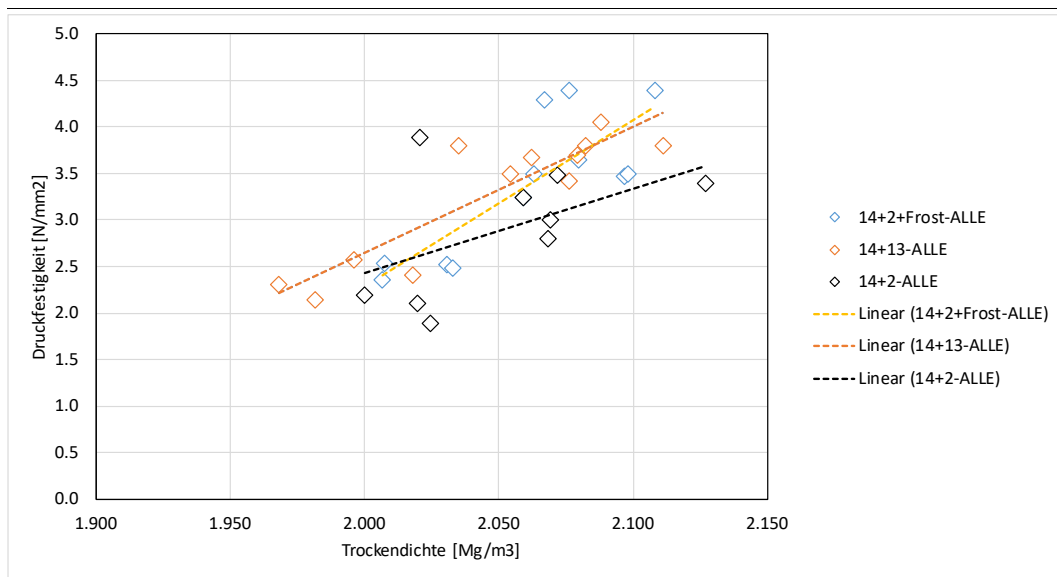


Abb. 14 Korrelation Trockendichte vs. Druckfestigkeit, Probengruppen mit 2. Aushärtungsphase = 14 Tage

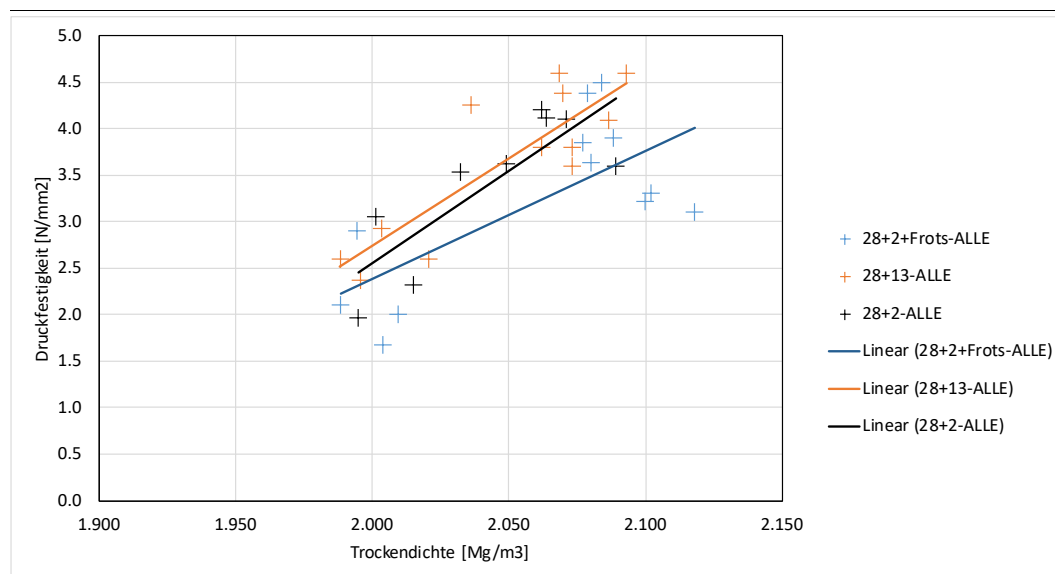


Abb. 15 Korrelation Trockendichte vs. Druckfestigkeit, Probengruppen mit 2. Aushärtungsphase = 28 Tage

Die oben diskutierten Zusammenhänge zeigen, dass Änderungen der Druckfestigkeit zumindest teilweise Streuungen bei der Probekörperherstellung reflektieren. Die Robustheit des Prüfverfahren nach CEN/TS 13286-54 [1] zur Beurteilung der Frostepfindlichkeit setzt also eine möglichst hohe Qualität bei der Probekörperherstellung voraus, sodass die methodisch bedingte Streuung im Vergleich zur frostbedingten Druckfestigkeitsänderungen möglichst gering bleibt bzw. reduziert wird. Es stellt sich also die Frage, ob die Qualität der Probekörperherstellung im Rahmen der Forschung ausreichend war resp. als den Erwartungen entsprechend eingestuft werden kann. Um dies besser einordnen zu können, wurden die zwischen den 3 Labors festgestellten Streuungen bei den Trockendichten mit Ergebnissen aus einem kürzlich abgeschlossenen Ringversuch der Vereinigung akkreditierter Baulabors (VAB), verglichen [15]. In diesem Ringversuch wurden von jeweils 14-17 akkreditierten Labors Proctorversuche gem. SN EN 13286-2 [7] durchgeführt. Dabei wurden zwei verschiedenen Kiesmaterialien (RC-Kiesgemisch B und Kiessand PSS) bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen (Topfgrößen und Verdichtungsenergien) geprüft. Das RC-Kiesgemisch B ist für einen Vergleich im vorliegenden Fall nicht geeignet, da es sich in Bezug auf die Korngrößenverteilung und stoffliche Zusammensetzung zu sehr von Boden 1 unterscheidet. Der Kiessand PSS hingegen weist eine ähnliche Korngrößenverteilung und ähnliche Verdichtungseigenschaften (optimaler Wassergehalt und max. Trockendichte) auf. Für einen Vergleich mit den vorliegenden Forschungsergebnissen wurden somit die Ergebnisse der Trockendichten gem. Standard-Proctorversuch (Versuch Nr. 2 gem. [15], Topf A, Hammer A, 0.6 MJ/m³ Verdichtungsenergie) am Kiessand PSS berücksichtigt, welcher punkto Repräsentativität mit der Probekörperherstellung an Boden 1 am ehesten geeignet ist (siehe Tabelle 7).

Tab. 7 Eigenschaften Boden 1 vs. Kiessand PSS, VAB Ringversuch

Probenmaterial	Boden 1 "Jaberg" (GC-GM)	Kiessand PSS VAB (*)
Optimaler Wassergehalt	8.9	9.7
Max. Trockenrohdichte	2.054	2.070

* Gesamtmittelwert aller Teilnehmer

Für den Ringversuch wurden für jedes Probenmaterial die Versuchsbedingungen punkto Verdichtungsenergie und Ausgangswassergehalt (6 Zielwassergehalte; 6, 7, 8, 9, 10 und 11 Masse-%) fix vorgegeben. Jedes Labor hat 6 Einzelverdichtungsversuche bei 6 verschiedenen Zielwassergehalten durchgeführt (siehe Abbildung 16).

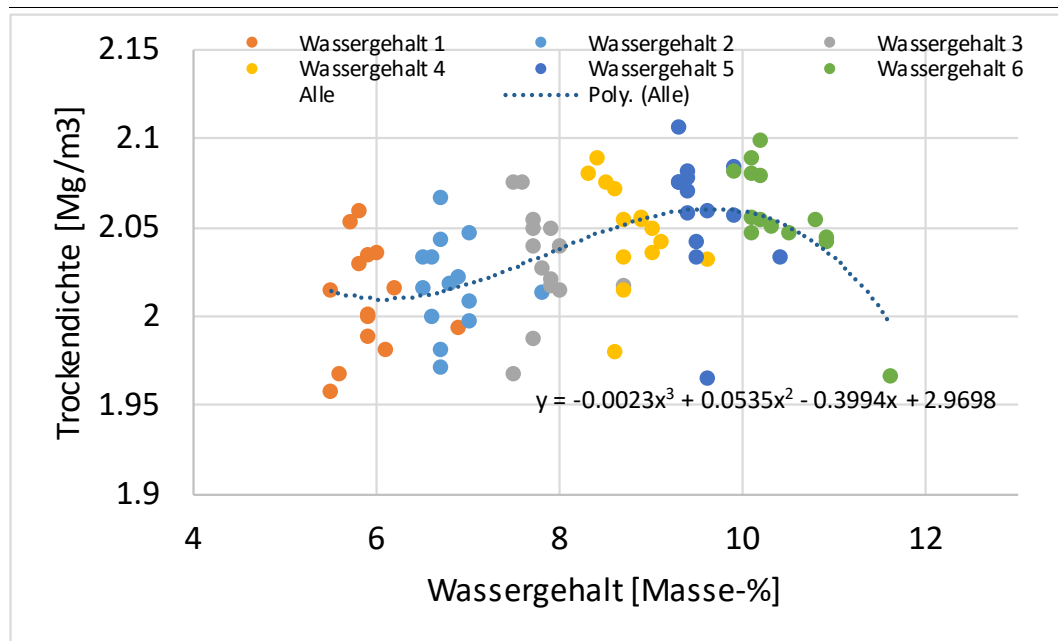


Abb. 16 Trockendichte in Abhängigkeit des Wassergehalts der einzelnen Verdichtungsversuche im Rahmen des VAB-Ringversuchs (Kiessand PSS, Versuch Nr. 2, Zielwassergehalte 6, 7, 8, 9, 10 und 11 Masse-%) [15]

Im vorliegenden Versuch (Probenkörperherstellung Boden 1) waren Verdichtungsgrad und Wassergehalt ebenfalls fix vorgegeben. Die Streuungen der Trockendichte bei den einzelnen Wassergehalten aus dem Ringversuch können also direkt mit Streuungen der Trockendichten der Probekörper von Boden 1 verglichen werden. In Tabelle 8 ist ersichtlich, dass im Ringversuch die Standardabweichung bei den Trockendichten bei allen 6 Zielwassergehalten in einem relativ engen Bereich von 0.026 bis 0.034 Mg/m³ (Mittelwert: 0.030 Mg/m³) liegt. Die Standardabweichung aus den Trockendichte der Probekörper aus Boden 1 liegt mit 0.045 Mg/m³ etwas höher (Alle Resultate aller 3 Labors). Werden die vergleichsweise tiefen Trockendichten von TFB bei 7 Tagen Auslagerung (2. Aushärtungsphase) ausgeklammert (siehe Abb. 12), resultiert mit 0.036 Mg/m³ eine ähnliche Standardabweichung wie im Ringversuch. Die Streuung der Trockendichten zwischen den 3 Labors liegt also ungefähr im selben Bereich wie beim VAB Ringversuch. Die Qualität der Probekörperherstellung im Rahmen der Forschung entspricht also in etwa derjenigen, welche bei der Verwendung eines Proctorgeräts erwartet werden kann.

Tab. 8 Mittlere Trockendichte und Standardabweichung aus dem VAB-Ringversuch bei den 6 verschiedenen Zielwassergehalten (Kiessand PSS, Versuch Nr. 2, Zielwassergehalte 6, 7, 8, 9, 10 und 11 Masse-%) [15]

Wassergehalt	ZIEL	IST	St.Abw.	Var.Koef	Trockendichte	St.Abw.	Var.Koef
w 1	6	5.9	0.35	0.06	2.010	0.031	0.015
w 2	7	6.8	0.33	0.05	2.018	0.026	0.013
w 3	8	7.8	0.30	0.04	2.081	0.080	0.038
w 4	9	8.8	0.33	0.04	2.048	0.029	0.014
w 5	10	9.6	0.31	0.03	2.059	0.034	0.017
w 6	11	10.4	0.47	0.05	2.057	0.032	0.016
Mittelwert			0.35	0.05		0.039	0.019
St.Abw.			0.06	0.01		0.020	0.009

Aus der Tabelle 8 kann entnommen werden, dass der Variationskoeffizient für die Trockendichte zwischen 0.013 und 0.038 (im Mittel 0.019) beträgt.

In Tabelle 9 sind die Variationskoeffizienten der 3 Labors für die verschiedenen Auslagerungsdauern für Trockendichte und Druckfestigkeiten für Boden 1 enthalten. Der über alle Labors und Lagerungsbedingungen gemittelte Variationskoeffizient beträgt 0.021 und liegt damit auch im Bereich des Variationskoeffizienten aus Tabelle 8. Damit sind die Schwankungen also mit denen des VAB Ringversuchs [15] vergleichbar.

In Tabelle 9 sind auch die Variationskoeffizienten der Druckfestigkeit enthalten. Sie liegen im Mittel bei 0.24. Dieser Wert kann also als normale Streuung für Druckfestigkeiten, ermittelt an mittels Proctorverdichtung hergestellten Prüfkörpern interpretiert werden. Der doppelte Variationskoeffizient (Vertrauensbereich 95 %) beträgt dann 0.48 und wurde für die Parallelen zur 1:1-Linie in den Abbildungen 10 und 11 zugrunde gelegt.

Tab. 9 Variationskoeffizienten für Boden 1 "Jaberg" (GC-GM)

Auslagerung	Variationskoeffizient	Variationskoeffizient
	Trockendichte	Druckfestigkeit
7 + 2 Tage + Frost	0.032	0.25
7 + 12 Tage	0.021	0.20
7 + 2 Tage	0.026	0.27
14 + 2 Tage + Frost	0.017	0.22
14 + 12 Tage	0.022	0.21
14 + 2 Tage	0.019	0.24
28 + 2 Tage + Frost	0.023	0.29
28 + 12 Tage	0.018	0.22
28 + 2 Tage	0.016	0.24
Mittelwert	0.021	0.24
Standardabw.	0.005	0.03

6.2 Festigkeitsentwicklung

Die Festigkeitsentwicklung von hydraulisch gebundenen Gemischen ist zeitabhängig, da die Festigkeit des Gefüges mit zunehmender Hydratation des Zements ansteigt.

In der nachfolgenden Abb. 17 sind die Festigkeitszunahme für die verschiedenen Bodenarten 1 bis 4 und die Festigkeitsentwicklung für langsame und schnelle Zemente nach [5] gegenübergestellt.

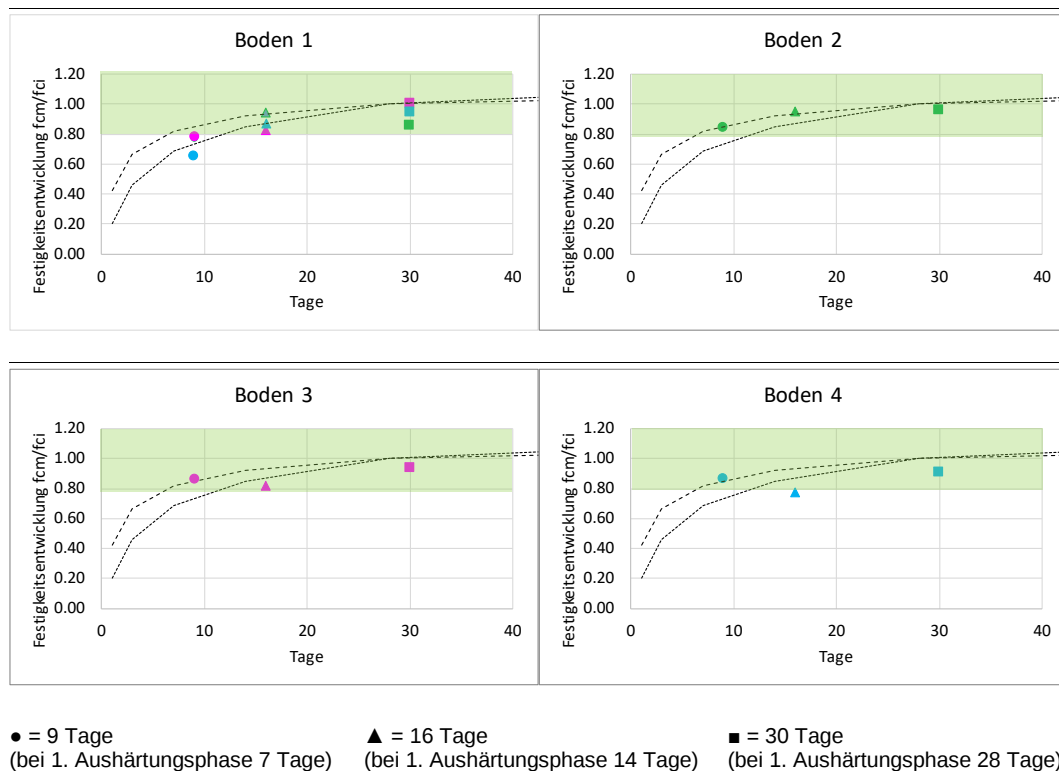


Abb. 17 Entwicklung der Druckfestigkeit bei den unterschiedlichen Bodenarten. Die Punkte sind Resultate aus den Laborversuchen. Die Linien entsprechen den Erwartungen für Zementstein aus [5]. Grün eingefärbt ist der Bereich, in dem die Druckfestigkeit mindestens 80 % der 28-Tage-Druckfestigkeit beträgt (grün: BSL, blau: IMP, magenta: TFB).

Es zeigt sich generell eine gute Übereinstimmung. Tendenziell entspricht die Festigkeitszunahme bei den Bodenarten 2 bis 4 für 7 Tage Lagerungsdauer eher einem schnellen Zement, während die Entwicklung bei den Lagerungsdauern 14 und 28 Tagen eher einem langsamen Zement nahekommt.

Es zeigt sich auch, dass die gem. CEN/TS 13286-54 [1] geforderte Festigkeit von 80 % beim Start der Frost-Tauwechselbeanspruchung grösstenteils erreicht wird. Bei 2 Ausnahmen (Boden 1 und 4) wird der Mindestwert von 80 % mit 77 resp. 78% nur knapp unterschritten. Nur bei einer Probe (Boden 1, Bestimmung IMP 7 Tage) liegt der Wert mit 65 % deutlich darunter.

Daher erscheint es als gerechtfertigt, dass die Prüfung nach CEN/TS 13286-54 [1] im Sinne der Praxistauglichkeit auch bereits mit einer 1. Aushärtungsphase von 7 Tagen (anstelle 28 Tage) werden könnte.

6.3 Grenzwerte

Die im Kapitel 5 dargestellten nach der neuen Versuchsanordnung aus CEN/TS [1] ermittelten Absolutwerte der Druckfestigkeiten und die Verhältnisse der Druckfestigkeiten mit und ohne Frost-Auftaubbeanspruchung gelten für a priori frostbeständige hydraulisch gebundene Gemische (vorgängiger Nachweis nach bisher gültiger Norm SN 640 496-NA [6] (siehe Kapitel 4).

In den meisten Fällen ist aufgrund der erwarteten Gefügeschädigung durch die Frostbelastung eine leichte Abnahme der Absolutwerte zu verzeichnen. Die Verhältnisse der Druckfestigkeiten mit und ohne Frost-Auftaubbeanspruchung liegen im Bereich von 0.91 (Mittelwert für Boden 1) und 0.88 bis 0.91 für die Böden 2-4. Diese Abnahme ist offenbar nicht abhängig von der Dauer der 1. Aushärtungsphase (7, 14 und 28 Tage) und liegt im Bereich der herstellungsbedingten Schwankungen der Probekörper (Proctorverdichtung). Bei einigen Proben sind sogar Zunahmen von 4 bis 15 % ermittelt worden.

Aufgrund dieser nicht eindeutigen Resultate und den Erkenntnissen zur Streuung der Druckfestigkeiten aufgrund der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung (siehe Abschnitt 6.1), die zum Zeitpunkt des Forschungsantrags nicht bekannt waren, können daher gegenwärtig keine exakten Grenzwerte für die Beurteilung der Frostbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen mit der Prüfung nach CEN/TS 13286-54 [1] vorgeschlagen werden.

Die erwähnten Einflüsse auf die Ermittlung der Druckfestigkeit – insbesondere die Grundproblematik der Probekörperherstellung – und deren Auswirkung auf das Prüfverfahren können mit den vorliegenden Daten aus 4 ausgewählten Böden nicht abschliessend beurteilt werden. Hierzu müssen also weitere Forschungsergebnisse abgewartet werden. Zudem ist das Verfahren der Probekörperherstellung mittels herkömmlicher Proctorverdichtung als kritisch einzustufen bzw. zu hinterfragen.

6.4 Weiterer Forschungsbedarf

Probekörperherstellung

Die Einflüsse aus der Probekörperherstellung mittels herkömmlicher Proctorverdichtung haben sich in Bezug auf die Druckfestigkeit als sehr kritisch erwiesen. Daher sollten dringend Versuchsreihen zur Proctorverdichtung und zur Druckfestigkeit von Gemischen mit Bindemittel durchgeführt werden, um die Streuungen besser beurteilen zu können.

Grenzwerte für Frostbeständigkeit

Um Grenzwerte für eine Frostbeständigkeit nach CEN/TS 13286-54 [1] vorschlagen zu können, sollten dringend zusätzliche Versuche durchgeführt werden.

Um die Prüfstreuungen zu minimieren, sollten Versuche mit kontrollierten Korngemischen, die aus verschiedenen Korngruppen zusammengesetzt werden, durchgeführt werden. Ausserdem sollten auch Versuche mit erwiesenermassen nicht frostbeständigen Böden bzw. Korngemischen durchgeführt werden, um minimale Grenzwerte festlegen zu können.

Anhänge

I	Verwendetes Material	49
I.1	Böden	49
I.2	Bindemittel.....	53
II	Prüfkörper der Frost-Auftauprüfungen.....	55
II.1	Prüfung nach SN 640 496-NA.....	55
II.1.1	Boden 1	55
II.1.2	Böden 2 bis 4	61
II.2	Prüfung nach CEN/TS 13286-54	66
II.2.1	Boden 1	66
II.2.2	Böden 2 bis 4	69

I Verwendetes Material

I.1 Böden

Boden 1 "Jaberg" (GC-GM)

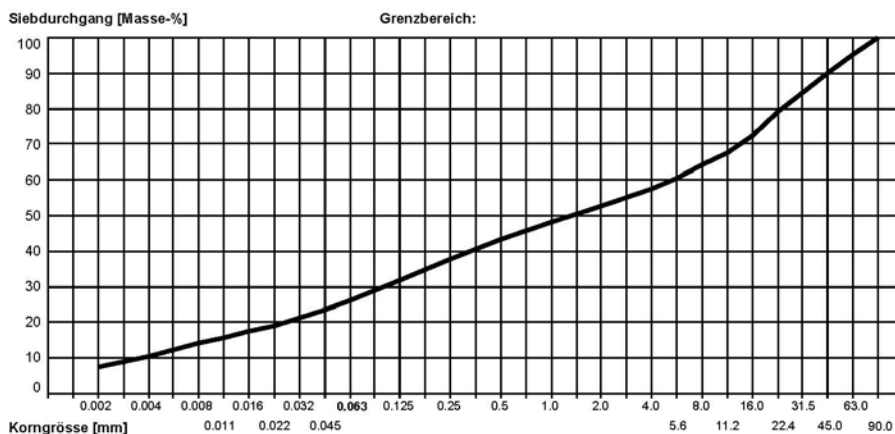


BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 033 346 45 55 / Fax 033 346 45 51
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.16.0516
	Postgässli 23 a	Auftragsnummer	16.00001
	3661 Uetendorf	Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Grundmoräne	Probeneingang	21.07.2016
Probenherkunft	Kiesgrube Bergacher, Jaberg	Entnahmedatum	21.07.2016
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/MS
Objekt	Unternehmung		
Bemerkungen	USCS: GC-GM (siltiger bis toniger Kies mit Sand)		
Schlämmanalyse	SN 670 816 (Durchgänge bezogen auf Gesamtmasse der Probe)		
Korngrösse [mm]	0.002 0.004 0.008 0.011 0.016 0.022 0.032 0.045 0.060	Ton (≤ 0.002 mm)	Ton + Silt (≤ 0.02 mm)
Durchgang [M.-%]	7.5 10.5 14.2 15.8 17.6 19.2 21.3 23.4 25.5	7.5 Masse-%	18.7 Masse-% (interpoliert)
Siebanalyse	SN EN 933-1		Grösstkorn [mm] 76 mm
Siebgrösse [mm]	.063 .125 .25 .5 1 2 4 5.6 8 11.2 16 22.4 31.5 45 63 90 200		
Durchgang [M.-%]	26.2 31.8 37.7 43.2 48.1 52.7 57.4 60.3 64.2 67.7 72.5 79.3 84.2 90.0 95.3 100.0		
Grenzbereich			
Oben [M.-%]			
Unten [M.-%]			
Wassergehalt	5.1 M.-% auf Trockenmasse	Konsistenzgrenzen	Flie遝grenze
SN EN 1097-5		SN 670 345	18.0 Masse-%
			Ausrollgrenze
			13.3 Masse-%
			Plastizitätsindex
			4.7



Berichtsdatum 03.08.2016
Laborant PL

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfergebnisse. Die übrigen Daten entsprechen den Angaben des Auftraggebers.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnte Probe.
Elektronisch versendete Prüfberichte sind auch ohne Unterschrift gültig. Im Streitfall gilt das unterzeichnete Laborexemplar.

V. 19.01.2016

Seite 1 von 1

Boden 2 "La Tuffière" (SM)

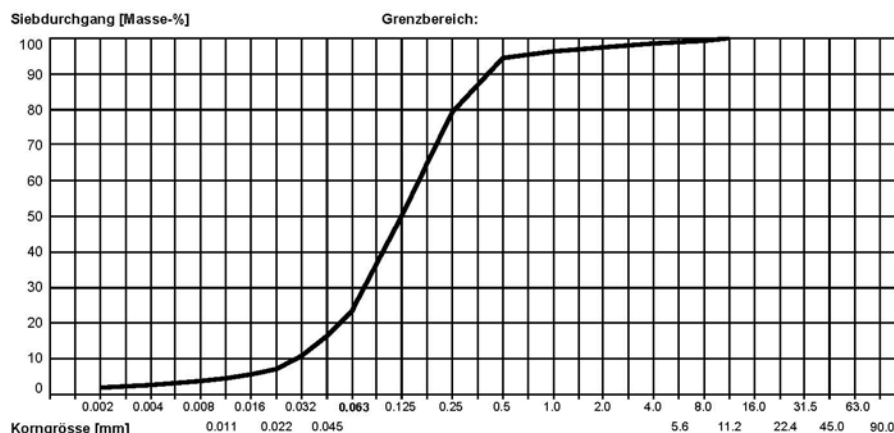


BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 033 346 45 55 / Fax 033 346 45 51
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.16.0452
		Auftragsnummer	16.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Sand siltig	Probeneingang	23.06.2016
Probenherkunft	La Tuffière (FR)	Entnahmedatum	23.06.2016
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/bk
Objekt	Unternehmung		
Bemerkungen	USCS: SM (Siltiger Sand); Atterbergversuch nicht durchführbar (Feinanteil zu wenig bindig)		
Schlammanalyse	SN 670 816 (Durchgänge bezogen auf Gesamtmasse der Probe)		
Korngrösse [mm]	0.002 0.004 0.008 0.011 0.016 0.022 0.032 0.045 0.060	Ton (≤ 0.002 mm)	Ton + Silt (≤ 0.02 mm)
Durchgang [M.-%]	2.0 2.5 3.6 4.5 5.7 7.1 10.8 16.4 22.1	2.0 Masse-%	6.7 Masse-% (interpoliert)
Siebanalyse	SN EN 933-1 Grösstkorn [mm]		
Siebgrösse [mm]	.063 .125 .25 .5 1 2 4 5.6 8 11.2 16 22.4 31.5 45 63 90 200		
Durchgang [M.-%]	23.5 49.9 79.0 94.6 96.3 97.4 98.3 98.8 99.1 100.0		
Grenzbereich			
Oben [M.-%]			
Unten [M.-%]			
Wassergehalt	11.2 M.-% auf Trockenmasse	Konsistenzgrenzen	Fließgrenze
SN EN 1097-5		SN 670 345	Ausrollgrenze
			Plastizitätsindex



Berichtdatum 29.06.2016
Sachbearbeiter bk

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfergebnisse. Die übrigen Daten entsprechen den Angaben des Auftraggebers.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnte Probe.
Elektronisch versendete Prüfberichte sind auch ohne Unterschrift gültig. Im Streitfall gilt das unterzeichnete Laborexemplar.

V. 19.01.2016

Seite 1 von 1

Boden 3 "Bürgergut" (SM)

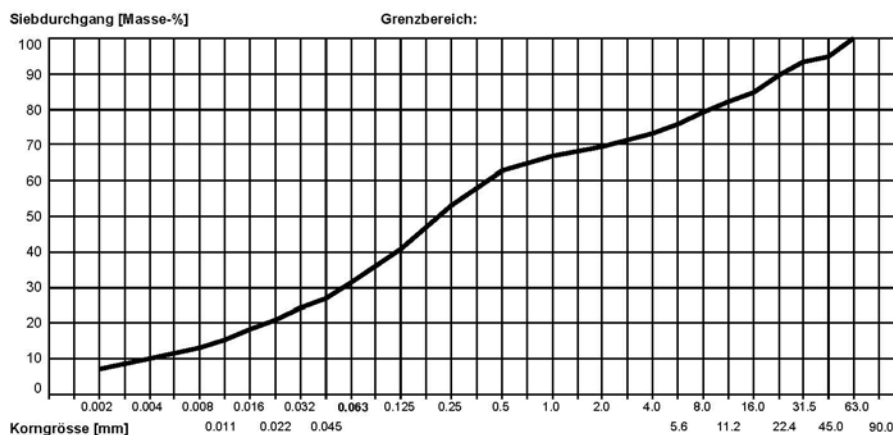


BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 033 346 45 55 / Fax 033 346 45 51
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.16.0499
		Auftragsnummer	16.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Aushubmaterial	Probeneingang	14.07.2016
Probenherkunft	Bürgergut, Steffisburg (BE)	Entnahmedatum	14.07.2016
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/bk
Objekt	Forschungsprojekt VSS 2015/313	Unternehmung	
Bemerkungen	USCS: SM (Siltiger Sand mit Kies)		
Schlammanalyse	SN 670 816 (Durchgänge bezogen auf Gesamtmasse der Probe)		
Korngrösse [mm]	0.002 0.004 0.008 0.011 0.016 0.022 0.032 0.045 0.060	Ton (≤ 0.002 mm)	Ton + Silt (≤ 0.02 mm)
Durchgang [M.-%]	7.2 10.1 13.2 15.4 18.3 21.0 24.2 26.9 30.2	7.2 Masse-%	20.2 Masse-% (interpoliert)
Siebanalyse	SN EN 933-1	Grösstkorn [mm]	57 mm
Siebgrösse [mm]	.063 .125 .25 .5 1 2 4 5.6 8 11.2 16 22.4 31.5 45 63 90 200		
Durchgang [M.-%]	31.2 40.5 53.1 62.6 66.6 69.6 73.1 75.6 79.0 82.2 84.8 89.6 93.5 94.9 100.0		
Grenzbereich			
Oben [M.-%]			
Unten [M.-%]			
Wassergehalt	16.6 M.-% auf Trockenmasse	Konsistenzgrenzen	Fließgrenze
SN EN 1097-5		SN 670 345	29.0 Masse-%
			Ausrollgrenze
			22.4 Masse-%
			Plastizitätsindex
			6.6



Berichtsdatum 03.08.2016
Laborant PL

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfergebnisse. Die übrigen Daten entsprechen den Angaben des Auftraggebers.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnte Probe.
Elektronisch versendete Prüfberichte sind auch ohne Unterschrift gültig. Im Streitfall gilt das unterzeichnete Laborexemplar.

V. 19.01.2016

Seite 1 von 1

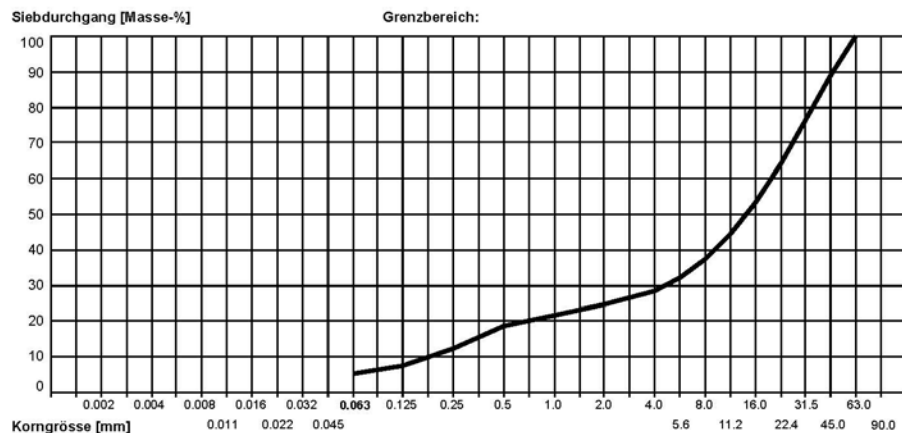
Boden 4 "Diepoldsbach" (GP-GM)

BAUSTOFFLABOR
BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 033 346 45 55 / Fax 033 346 45 51
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.16.0864
		Auftragsnummer	16.00001
		Berichtausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies	Probeneingang	17.10.2016
Probenherkunft	Diepoldsbach	Entnahmedatum	17.10.2016
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Objekt		Unternehmung	
Bemerkungen	VSS - Forschung		
Schlammanalyse	SN 670 816 (Durchgänge bezogen auf Gesamtmasse der Probe)		
Korngrösse [mm]	0.002 0.004 0.008 0.011 0.016 0.022 0.032 0.045 0.060	Ton (≤ 0.002 mm)	Ton + Silt (≤ 0.02 mm)
Durchgang [M.-%]			
Siebanalyse	SN EN 933-1		Grösstkorn [mm] 123 mm
Siebgrösse [mm]	.063 .125 .25 .5 1 2 4 5.6 8 11.2 16 22.4 31.5 45 63 90 200		
Durchgang [M.-%]	5.4 7.5 12.2 18.6 21.8 24.5 28.4 31.9 37.3 44.2 53.4 64.1 76.1 88.6 100.0		
Grenzbereich			
Oben [M.-%]			
Unten [M.-%]			
Wassergehalt	SN EN 1097-5	Konsistenzgrenzen	SN 670 345
		Flie遝grenze	
		Ausrollgrenze	
		Plastizitätsindex	



Berichtdatum 21.10.2016
Laborant PL

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfergebnisse. Die übrigen Daten entsprechen den Angaben des Auftraggebers.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnte Probe.
Elektronisch versendete Prüfberichte sind auch ohne Unterschrift gültig. Im Streitfall gilt das unterzeichnete Laborexemplar.

V. 19.01.2016

Seite 1 von 1

I.2 Bindemittel



GEOROC Doroport

Hydraulischer
Tragschichtbinder
HRB32,5 E

Technische Daten

Tragschichten



Anwendung

GEOROC Doroport TB ist ein Spezialbindemittel zur Herstellung hydraulisch gebundener Tragschichten.

Hydraulisch gebundene Tragschichten finden hauptsächlich Anwendung in den Bereichen Verkehrswegebau und Strassensanierung. Hydraulisch gebundene Baustoffgemische werden aber auch bei Dämmen, beim Flughafen- oder Tunnelbau und vielem mehr angewandt.

Eigenschaften

GEOROC Doroport TB wird durch das Vermahlen von Portlandzementklinker und gebranntem Schiefer nach Norm EN 197-1 hergestellt und besteht ausschliesslich aus hydraulisch reagierenden Bestandteilen.

GEOROC Doroport TB ist äusserst fein aufgemahlen. Die spezifische Oberfläche beträgt etwa 7000 cm²/g. Diese hohe Feinheit ermöglicht eine optimal homogene Durchmischung mit dem Untergrund.

Das Erstarrungsverhalten von Doroport TB ist spezifisch auf die Verarbeitung im Ort-mischverfahren ausgerichtet. Bei optimiertem Wassergehalt ergeben sich praxisgerechte Verarbeitungszeiten des Mineralstoffgemischs von bis zu 8 Stunden (wetterungsabhängig).

GEOROC Doroport TB weist einen hohen Sulfatwiderstand auf. Die Prüfung des Sulfatwiderstands hat bei Lagerung von Flachprismen (4 x 1 x 16 cm) in 4,4%iger Na₂SO₄-Lösung nach 4 1/2 Jahren eine maximale Dehnung von 0,6 mm/m ergeben.

Für Spezialanwendungen mit erhöhten Anforderungen an die Verarbeitungszeiten ist GEOROC Doroport TB in verzögerter (hydrophobierter) Form erhältlich.

Für Anwendungen in Gebieten mit sensiblen Umweltverhältnissen ist GEOROC Doroport als GEOROC Doroport TB pro in staubreduzierter Form erhältlich.

Verarbeitung

Zum Erreichen angestrebter Effekte wie Plattenbildung und Frostbeständigkeit ist eine gute Durchmischung von Bindemittel und Ausgangsmaterial zwingende Voraussetzung.

Zum Stabilisieren von belastetem Ausgangsmaterial wird die Verwendung des Recyclingbinders GEOROC Doroport RB empfohlen. GEOROC Doroport RB bewirkt eine Phenoleinbindung von über 90%. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) werden zu über 95% von GEOROC Doroport RB immobilisiert.

GEOROC Doroport reagiert mit Feuchtigkeit alkalisch. Deshalb bei Berührung gründlich mit Wasser spülen, bei Augenkontakt gegebenenfalls den Arzt aufsuchen.

Technische Daten
Tragschichten

Bei der Dimensionierung eines Oberbaus sind Tragfähigkeit und Frostbeständigkeit die beiden massgebenden Faktoren. Hydraulisch stabilisierte Tragschichten

können in vielen Fällen Material einsparen wie das nachfolgende Anwendungsbeispiel zeigt.

Anwendungsbeispiel

Für die Verkehrslastklasse T4 und einen Untergrund, der aus siltigem Ton (CL-ML) besteht ergibt sich aus den Normen SN 640 324a bzw. SN 670 140b:

Tragfähigkeitsklasse: S1 (gering; $M_E = 6-15 \text{ MPa}$)

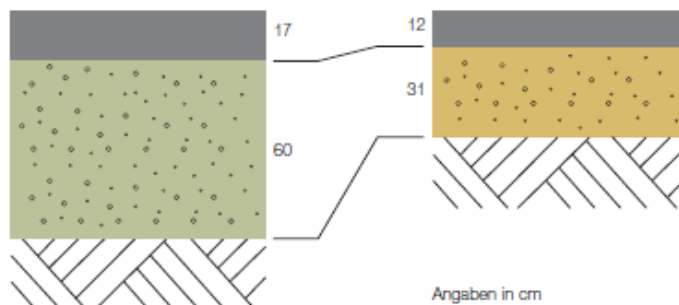
Frostempfindlichkeitsklasse: G4 (stark empfindlich)

Tragfähigkeit

Je nach Ausgestaltung der einzelnen Schichten lässt die Norm SN 640 324a bezüglich Tragfähigkeit verschieden mächtige Oberbautypen zu. Ersetzt man den Kiessand eines Oberbautyps 1 durch eine mit GEOROC Doroport hydraulisch stabilisierte Tragschicht, lässt sich ein Oberbautyp 5 mit einer um 45% verringerten Mächtigkeit einbauen.

Oberbautyp 1
T4 / S1
Asphaltbetonbelag
auf Kiessand

Oberbautyp 5
T4 / S1
Asphaltbetonbelag
auf hydraulisch stabilisierter Schicht



Frostbeständigkeit

Die Frostbeständigkeit ist fallweise zu prüfen. Die hydraulisch stabilisierte Schicht gilt als frostbeständig, wenn sie nach 7 Tagen eine Druckfestigkeit von 2 bis 4 N/mm^2 aufweist. Um die dazu notwendige Dosierung von GEOROC Doroport genau zu definieren, sind Laborversuche unumgänglich.



Verkauf und Beratung

Holcim (Schweiz) AG
GEOROC
Hagenholzstrasse 83
CH-8050 Zürich
Telefon +41 (0)58 850 63 33
Telefax +41 (0)58 850 63 34
info@georoc.com
www.georoc.com

Zertifiziertes Qualitäts- und Umweltmanagement-System

Unsere Produktionswerke verfügen über ein Qualitäts- und Umweltmanagement-System nach Norm ISO 9001 bzw. ISO 14001.

II Prüfkörper der Frost-Auftauprüfungen

II.1 Prüfung nach SN 640 496-NA

II.1.1 Boden 1 "Jaberg" (GC-GM)

Versuche Stabilisierung | VSS-Forschungsprojekt

BSL Baustofflabor AG

1. Versuch - Prüfverfahren nach "alter" Norm SN 640 496-NA

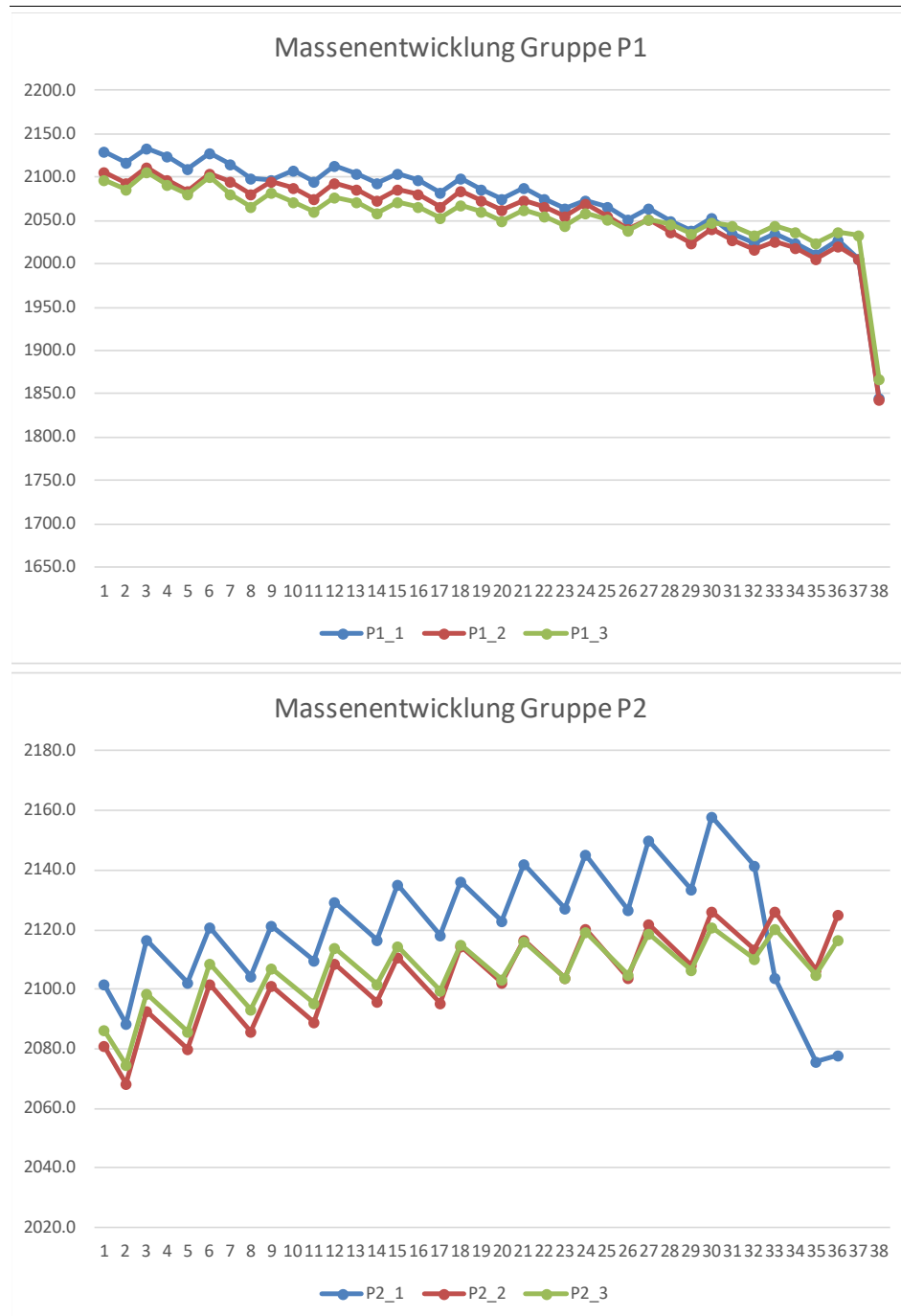
Probe: M.16.0516 "Jaberg" / Boden 1

FT-Zyklus	Parameter	Einheit	Datum	Gruppe P1			Gruppe P2		
				P1_1	P1_2	P1_3	P2_1	P2_2	P2_3
	PK-Herstellung	[-]	17.01.2017	--	--	--	--	--	--
	Wassergehalt	w _{opt} [M.-%]		8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9
	Bindemittelgehalt	b _{mi} [M.-%]		5.0	7.0	9.0	5.0	7.0	9.0
	Höhe	[mm]		116.8	116.8	116.8	116.8	116.8	116.8
	Durchmesser	[mm]		100.8	100.8	100.8	100.8	100.8	100.8

anschl. 7 Tage Lagerung bei 95%rel.LF (Klimabox)

	Masse vor Frost	M _{vor}	[g]	24.01.2017	2130.0	2106.5	2097.1	2101.7	2081.2	2086.6
1	Masse nach Frost	M1-1	[g]	25.01.2017	2116.1	2093.4	2085.3	2088.5	2068.5	2074.5
	Masse nach Auftauen	M2-1	[g]	26.01.2017	2132.9	2110.8	2105.5	2116.4	2092.9	2098.6
	Masse nach Abbürsten	M3-1	[g]	26.01.2017	2123.7	2096.8	2091.9			
2	Masse nach Frost	M1-2	[g]	27.01.2017	2110.3	2084.9	2080.8	2102.5	2079.8	2085.9
	Masse nach Auftauen	M2-2	[g]	29.01.2017	2127.6	2103.7	2100.8	2121.0	2101.5	2108.7
	Masse nach Abbürsten	M3-2	[g]	29.01.2017	2114.5	2094.9	2080.8			
3	Masse nach Frost	M1-3	[g]	30.01.2017	2099.6	2080.2	2066.3	2104.5	2085.7	2093.0
	Masse nach Auftauen	M2-3	[g]	31.01.2017	2097.4	2095.4	2081.7	2121.4	2101.1	2106.9
	Masse nach Abbürsten	M3-3	[g]	31.01.2017	2107.3	2087.6	2071.3			
4	Masse nach Frost	M1-4	[g]	01.02.2017	2094.6	2075.7	2059.7	2109.7	2089.1	2095.2
	Masse nach Auftauen	M2-4	[g]	02.02.2017	2112.9	2093.4	2077.3	2129.1	2108.4	2113.7
	Masse nach Abbürsten	M3-4	[g]	02.02.2017	2104.3	2085.4	2070.8			
5	Masse nach Frost	M1-5	[g]	03.02.2017	2092.8	2073.6	2059.4	2116.4	2096.1	2101.6
	Masse nach Auftauen	M2-5	[g]	04.02.2017	2103.7	2086.4	2072.2	2135.2	2110.7	2114.3
	Masse nach Abbürsten	M3-5	[g]	04.02.2017	2096.1	2080.3	2066.4			
6	Masse nach Frost	M1-6	[g]	06.02.2017	2082.2	2066.5	2052.6	2118.2	2095.6	2099.6
	Masse nach Auftauen	M2-6	[g]	07.02.2017	2099.3	2084.0	2068.1	2136.4	2114.7	2115.1
	Masse nach Abbürsten	M3-6	[g]	07.02.2017	2086.1	2073.6	2060.0			
7	Masse nach Frost	M1-7	[g]	08.02.2017	2074.7	2061.9	2049.0	2122.8	2102.1	2103.3
	Masse nach Auftauen	M2-7	[g]	09.02.2017	2087.0	2073.8	2061.9	2142.1	2116.8	2116.2
	Masse nach Abbürsten	M3-7	[g]	09.02.2017	2074.3	2065.2	2055.5			
8	Masse nach Frost	M1-8	[g]	10.02.2017	2063.3	2054.2	2044.3	2127.3	2103.8	2104.1
	Masse nach Auftauen	M2-8	[g]	11.02.2017	2072.3	2068.7	2057.8	2145.1	2120.5	2119.2
	Masse nach Abbürsten	M3-8	[g]	11.02.2017	2065.4	2054.9	2051.7			
9	Masse nach Frost	M1-9	[g]	13.02.2017	2052.0	2040.5	2038.4	2126.8	2103.8	2104.8
	Masse nach Auftauen	M2-9	[g]	14.02.2017	2063.4	2051.6	2050.4	2150.0	2121.9	2118.5
	Masse nach Abbürsten	M3-9	[g]	14.02.2017	2049.8	2036.0	2045.8			
10	Masse nach Frost	M1-10	[g]	15.02.2017	2039.2	2024.8	2034.8	2133.5	2108.2	2106.4
	Masse nach Auftauen	M2-10	[g]	16.02.2017	2053.5	2039.8	2048.3	2157.8	2126.3	2121.0
	Masse nach Abbürsten	M3-10	[g]	16.02.2017	2034.9	2027.7	2043.4			
11	Masse nach Frost	M1-11	[g]	17.02.2017	2024.0	2016.6	2032.9	2141.4	2113.3	2110.0
	Masse nach Auftauen	M2-11	[g]	18.02.2017	2034.3	2026.5	2043.4	2103.8	2126.0	2120.1
	Masse nach Abbürsten	M3-11	[g]	18.02.2017	2024.5	2018.5	2037.3			
12	Masse nach Frost	M1-12	[g]	20.02.2017	2010.7	2005.3	2024.1	2075.8	2106.5	2104.7
	Masse nach Auftauen	M2-12	[g]	21.02.2017	2027.0	2020.7	2037.6	2078.1	2125.0	2116.6
	Masse nach Abbürsten	M3-12	[g]	21.02.2017	2005.0	2006.1	2033.5			
	Masse ofentrocken	M _i nach	[g]	21.02.2017	1845.6	1843.6	1866.9			
	Masse nach 4h Wasserlagerung		[g]	21.02.2017	--	--	--	1718.8	2012.3	2072.5
	Bruchkraft		[kN]	21.02.2017	--	--	--	3.03	5.77	10.43
	Masseverlust	ΔM _i	[%]		6.8%	6.3%	5.2%	--	--	--
	Druckfestigkeit	R _c	[N/mm ²]		--	--	--	0.38	0.72	1.31

BSL Baustofflabor AG
01.03.2017
B. Kaeser



Bemerkung: Bei Probekörper P2_1 ist beim 11. Zyklus nach dem Auftauen ein Stück abgefallen!

1665 | Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen Gemischen – Grundlagen für die Festlegung nationaler Anforderungen

Versuche Stabilisierung | VSS-Forschungsprojekt

1. Versuch - Prüfverfahren nach "alter" Norm SN 640 496-NA

IMP AG

Probe: 16-12533

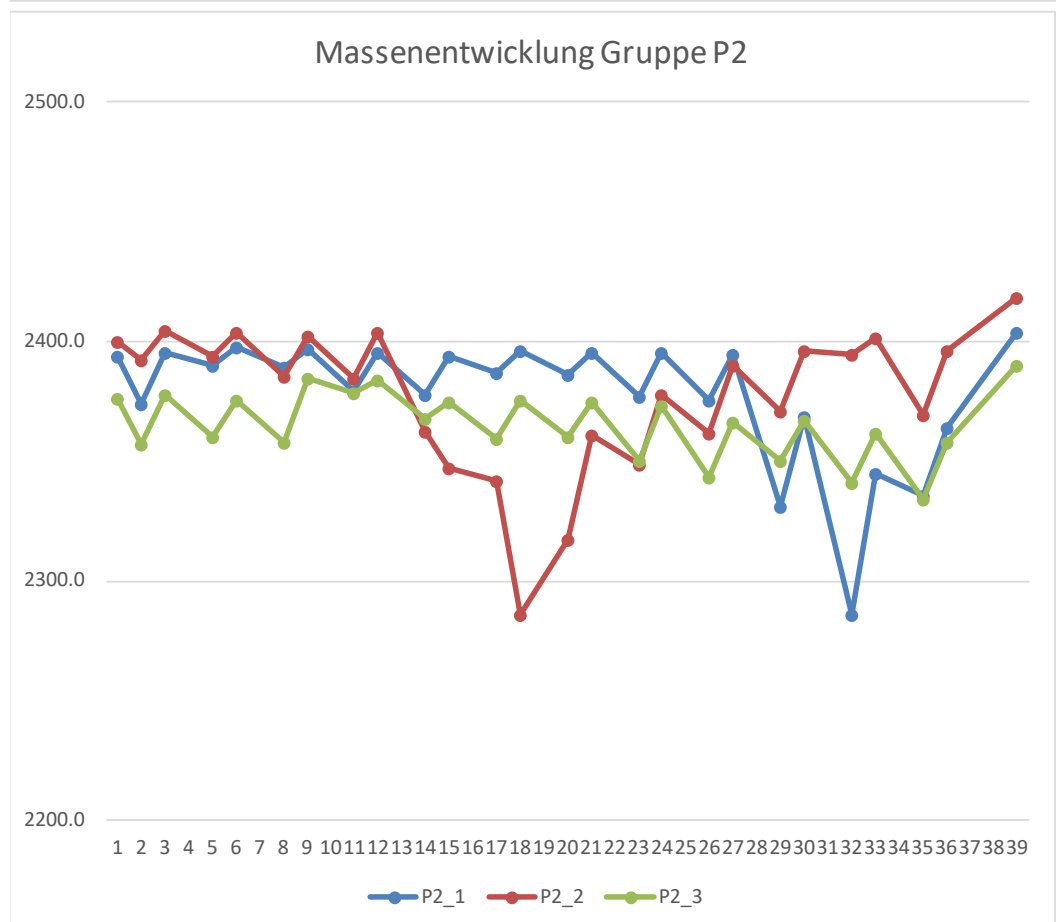
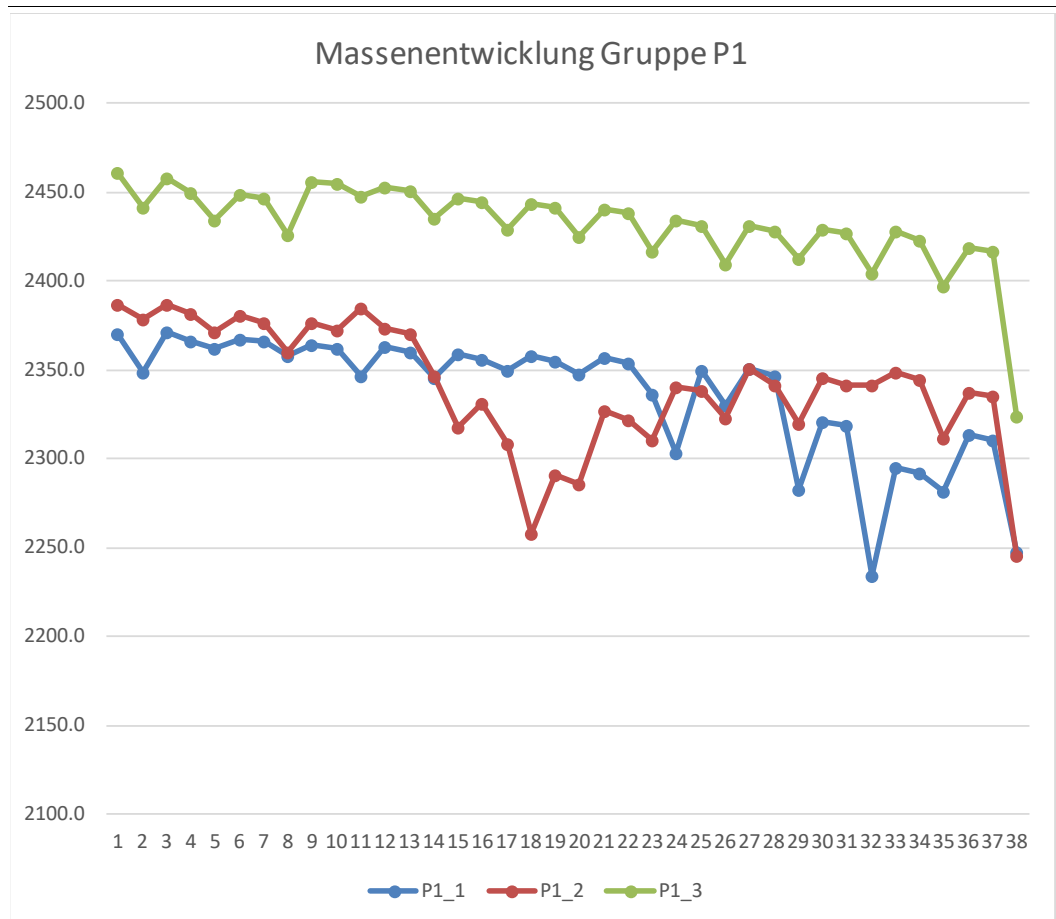
Boden 1

FT-Zyklus	Parameter	Einheit	Datum	Gruppe P1			Gruppe P2		
				P1_1	P1_2	P1_3	P2_1	P2_2	P2_3
	PK-Herstellung	[-]	08.05.2017	--	--	--	--	--	--
	Wassergehalt w _{opt}	[M-%]		8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9
	Bindemittelgehalt b _{mi}	[M-%]		9.0	5.0	5.0	9.0	5.0	5.0
	Höhe	[mm]		117.4425	117.4425	117.4425	117.6825	117.6825	117.6825
	Durchmesser	[mm]		101.415	101.415	101.415	101.35	101.35	101.35

anschl. 7 Tage Lagerung bei 95%rel.LF (Klimabox)

					D.7.2	D.14.2	D.28.2	D.7.3	D.14.3	D.28.3	
	Masse vor Frost	M _{vor}	[g]	Montag	28.08.2017	2370.4	2386.5	2460.9	2394.1	2400.3	2376.4
1	Masse nach Frost	M1-1	[g]	Dienstag	29.08.2017	2349.1	2378.3	2441.4	2374.0	2392.6	2356.8
	Masse nach Auftauen	M2-1	[g]	Mittwoch	30.08.2017	2371.4	2386.6	2458.6	2395.4	2404.8	2377.8
	Masse nach Abbürsten	M3-1	[g]	Mittwoch	30.08.2017	2366.2	2381.8	2450.3			
2	Masse nach Frost	M1-2	[g]	Donnerstag	31.08.2017	2361.7	2371.2	2434.6	2390.2	2393.8	2360.0
	Masse nach Auftauen	M2-2	[g]	Freitag	01.09.2017	2367.8	2380.3	2448.5	2397.6	2403.7	2375.3
	Masse nach Abbürsten	M3-2	[g]	Freitag	01.09.2017	2365.8	2377.1	2446.5			
3	Masse nach Frost	M1-3	[g]	Samstag	02.09.2017	2358.1	2360.5	2425.9	2388.9	2385.5	2357.6
	Masse nach Auftauen	M2-3	[g]	Sonntag	03.09.2017	2364.7	2376.7	2456.0	2396.9	2402.3	2384.8
	Masse nach Abbürsten	M3-3	[g]	Sonntag	03.09.2017	2362.6	2372.2	2454.9			
4	Masse nach Frost	M1-4	[g]	Montag	04.09.2017	2347.2	2384.9	2447.7	2379.1	2384.7	2378.4
	Masse nach Auftauen	M2-4	[g]	Dienstag	05.09.2017	2363.3	2373.5	2453.5	2395.3	2403.8	2383.8
	Masse nach Abbürsten	M3-4	[g]	Dienstag	05.09.2017	2360.6	2370.6	2450.5			
5	Masse nach Frost	M1-5	[g]	Mittwoch	06.09.2017	2345.2	2347.2	2435.8	2377.6	2362.4	2367.5
	Masse nach Auftauen	M2-5	[g]	Donnerstag	07.09.2017	2359.6	2318.1	2446.3	2393.5	2347.2	2374.8
	Masse nach Abbürsten	M3-5	[g]	Donnerstag	07.09.2017	2355.9	2331.5	2445.1			
6	Masse nach Frost	M1-6	[g]	Freitag	08.09.2017	2350.1	2308.3	2429.5	2386.6	2342.1	2359.7
	Masse nach Auftauen	M2-6	[g]	Samstag	09.09.2017	2358.2	2258.4	2444.2	2395.8	2285.6	2375.5
	Masse nach Abbürsten	M3-6	[g]	Samstag	09.09.2017	2355.4	2291.4	2441.7			
7	Masse nach Frost	M1-7	[g]	Sonntag	10.09.2017	2347.3	2286.1	2425.2	2386.5	2317.6	2360.0
	Masse nach Auftauen	M2-7	[g]	Montag	11.09.2017	2356.6	2326.7	2440.3	2395.5	2361.1	2374.6
	Masse nach Abbürsten	M3-7	[g]	Montag	11.09.2017	2354.1	2321.7	2438.2			
8	Masse nach Frost	M1-8	[g]	Dienstag	12.09.2017	2336.4	2310.4	2416.8	2377.1	2348.4	2350.0
	Masse nach Auftauen	M2-8	[g]	Mittwoch	13.09.2017	2303.6	2340.3	2434.1	2395.5	2378.0	2372.8
	Masse nach Abbürsten	M3-8	[g]	Mittwoch	13.09.2017	2349.9	2338.0	2431.8			
9	Masse nach Frost	M1-9	[g]	Donnerstag	14.09.2017	2330.6	2323.1	2410.0	2375.3	2361.5	2343.5
	Masse nach Auftauen	M2-9	[g]	Freitag	15.09.2017	2350.4	2350.7	2431.5	2394.7	2390.0	2366.6
	Masse nach Abbürsten	M3-9	[g]	Freitag	15.09.2017	2346.8	2341.1	2428.0			
10	Masse nach Frost	M1-10	[g]	Samstag	16.09.2017	2283.2	2319.4	2412.9	2331.2	2370.6	2350.0
	Masse nach Auftauen	M2-10	[g]	Sonntag	17.09.2017	2321.4	2346.0	2429.6	2368.7	2396.4	2367.1
	Masse nach Abbürsten	M3-10	[g]	Sonntag	17.09.2017	2318.6	2341.9	2427.1			
11	Masse nach Frost	M1-11	[g]	Montag	18.09.2017	2234.6	2341.6	2404.1	2285.5	2394.7	2341.2
	Masse nach Auftauen	M2-11	[g]	Dienstag	19.09.2017	2295.6	2349.1	2428.2	2344.5	2401.4	2362.0
	Masse nach Abbürsten	M3-11	[g]	Dienstag	19.09.2017	2291.5	2345.1	2423.4			
12	Masse nach Frost	M1-12	[g]	Mittwoch	20.09.2017	2282.1	2311.9	2397.0	2335.6	2369.7	2334.1
	Masse nach Auftauen	M2-12	[g]	Donnerstag	21.09.2017	2313.3	2337.7	2419.1	2364.0	2396.2	2358.2
	Masse nach Abbürsten	M3-12	[g]	Donnerstag	21.09.2017	2310.2	2335.1	2416.5			
	Masse ofentrocken	M _{nach}	[g]	Donnerstag	21.09.2017	2248.1	2245.4	2324.2			
	Masse nach 4h Wasserlagerung		[g]	Donnerstag	21.09.2017				2403.9	2418.6	2390.0
	Bruchkraft		[kN]	Donnerstag	21.09.2017				21.24	21.49	22.18
	Masseverlust	ΔM _i	[%]			1.0%	1.2%	1.6%	--	--	--
	Druckfestigkeit	R _c	[N/mm2]			--	--	--	2.63	2.66	2.75

IMP Bauteil AG
09.05.2017
R. Nandedkar





Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Standard, Forschung, Sicherheit
Herr Dr. Gerhard Stucki
3003 Bern

Wildeg, den 24. März 2017

Prüfbericht:

Bindemittelloptimierung nach SN 640 496-NA / SOP 3311

Projekt-Nr.: 163708-01

Objekt: VSS 2015/313 Frost-Tau-Wechselbeständigkeit

Bauteil: von hydraulisch gebundenen Gemischen

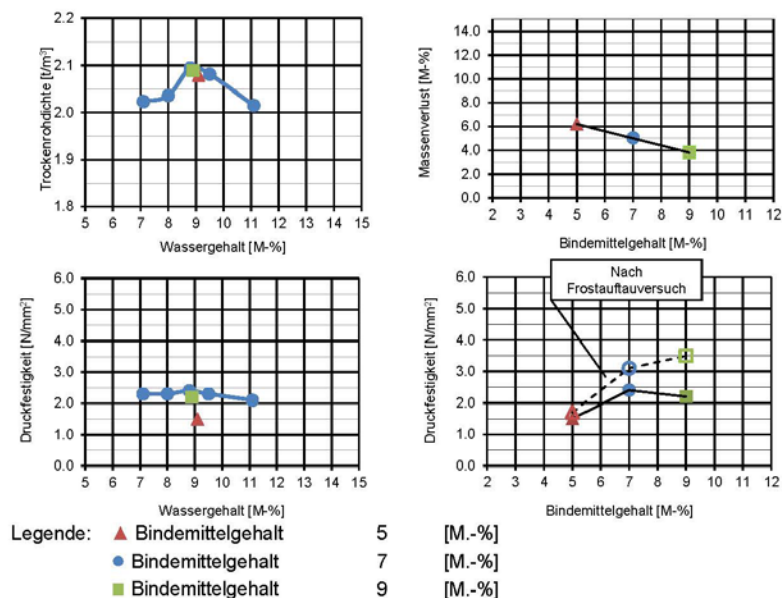
Bindemittel: Doroport

Mat. Bezeichnung: **Boden 1**

Herstelldatum: 06.02.2017

Prüfdatum: 23.03.2017

Prüfalter: **45 Tage**



Labor Erdbau:

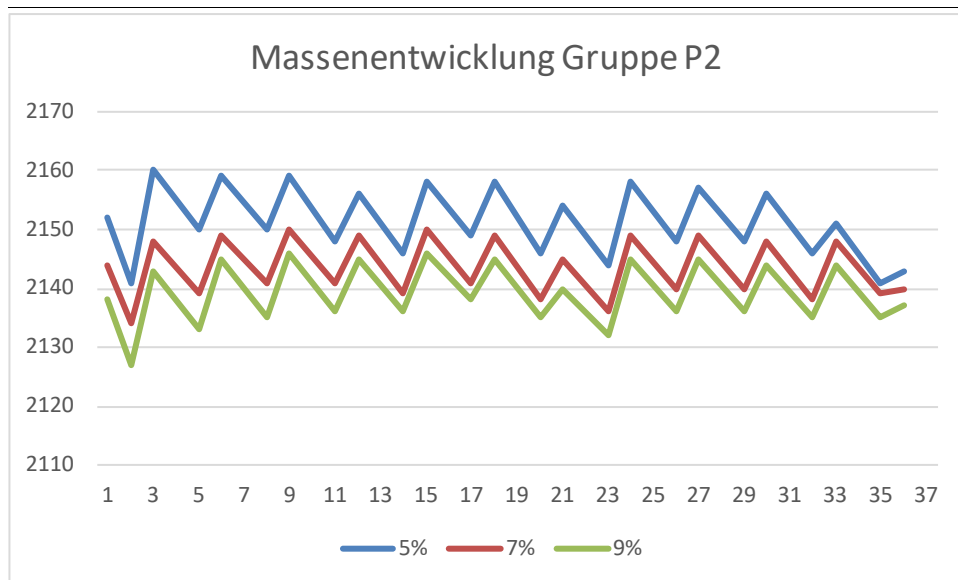
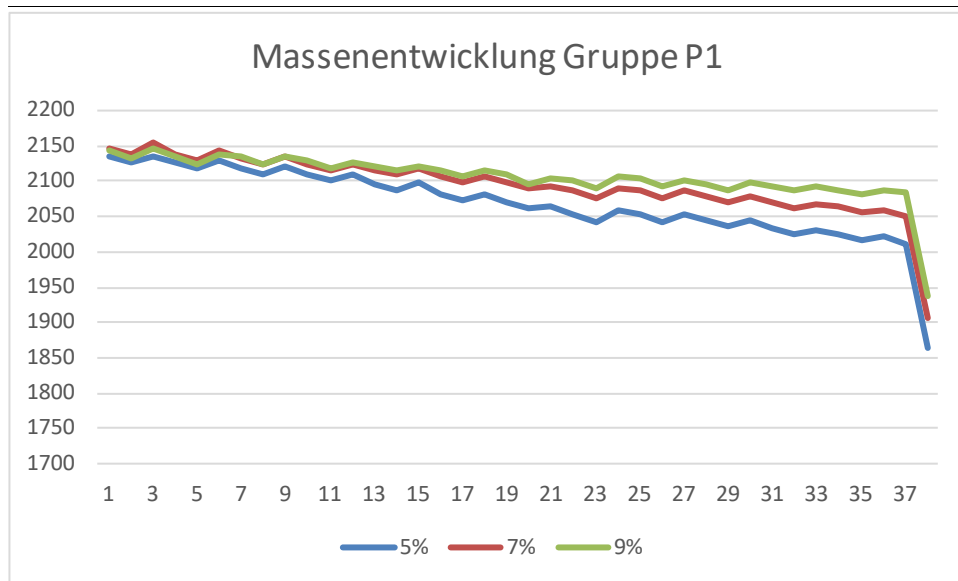
Die Prüfergebnisse haben nur Gültigkeit für die untersuchten Proben. Dieser Bericht darf nicht auszugsweise kopiert werden. Unzerstörte Proben werden nach der Prüfung 2 Monate aufbewahrt. Das Auftragsdossier wird während 13 Jahren archiviert. Der Auftraggeber kann die Dienstleistungen innerhalb von 30 Tagen beanstanden. Bitte beachten Sie die "Allgemeinen Geschäftsbedingungen". Weitere Informationen: www.tfb.ch.

3311aPBd-Version 2

163708- Proctorversuch 7% - Boden 1 (GP)-Doroport.xlsx / 24.03.2017



Seite 3 von 5



II.1.2 Böden 2 bis 4

Versuche Stabilisierung | VSS-Forschungsprojekt

BSL Baustofflabor AG

1. Versuch - Prüfverfahren nach "alter" Norm SN 640 496-NA

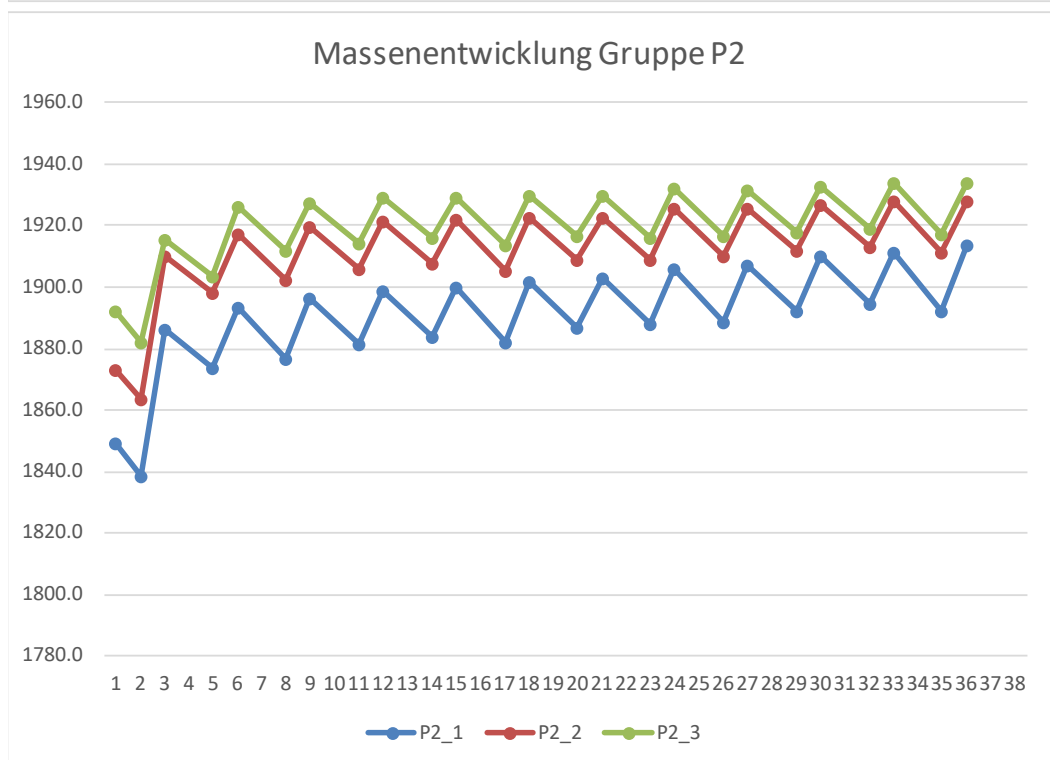
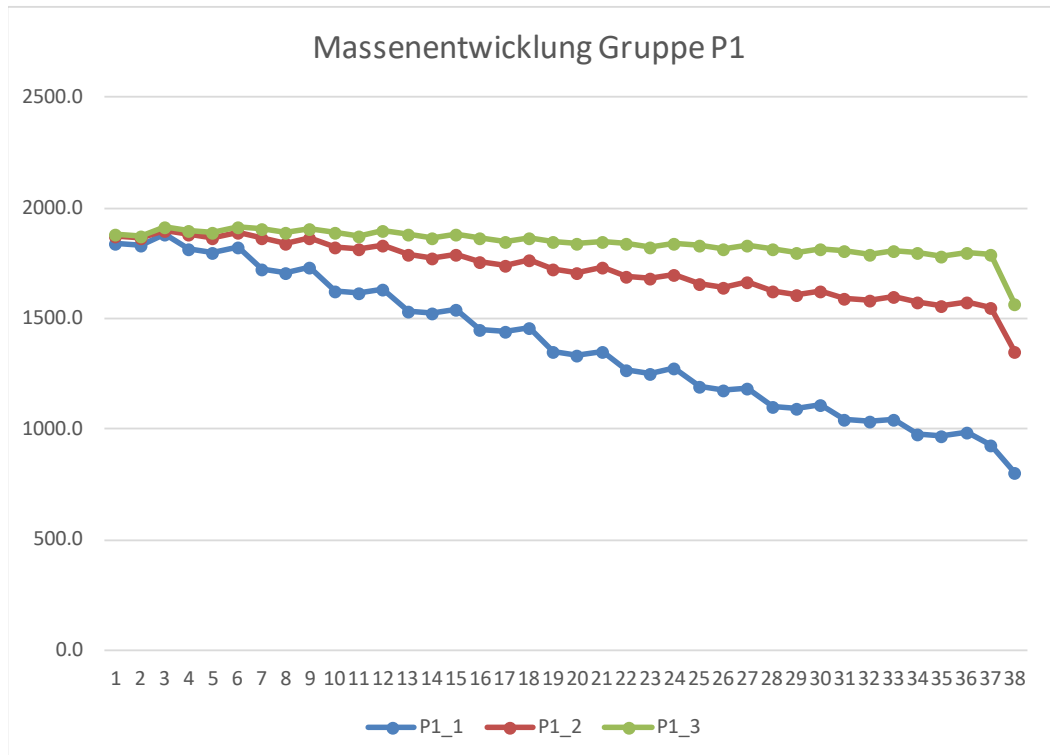
Probe: M.16.0452 "Tuffière" / Boden 2

FT-Zyklus	Parameter	Einheit	Datum	Gruppe P1			Gruppe P2		
				P1_1	P1_2	P1_3	P2_1	P2_2	P2_3
	PK-Herstellung	[-]	18.04.2017	--	--	--	--	--	--
	Wassergehalt	wopt [M.-%]		13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6
	Bindemittelgehalt	bmi [M.-%]		5.0	8.0	11.0	5.0	8.0	11.0
	Höhe	[mm]		116.8	117.2	116.9	116.9	117.1	117.1
	Durchmesser	[mm]		100.5	100.4	100.2	100.1	100.4	100.3

anschl. 7 Tage Lagerung bei 95%rel.LF (Klimabox)

	Masse vor Frost	M _{i vor}	[g]	25.04.2017	1843.4	1873.1	1885.0	1849.5	1873.0	1892.0
1	Masse nach Frost	Mi1-1	[g]	26.04.2017	1831.4	1861.6	1874.5	1838.8	1863.6	1881.9
	Masse nach Auftauen	Mi2-1	[g]	27.04.2017	1885.8	1901.2	1913.4	1886.4	1910.0	1915.5
	Masse nach Abbürsten	Mi3-1	[g]	27.04.2017	1813.2	1879.7	1902.1			
2	Masse nach Frost	Mi1-2	[g]	28.04.2017	1798.1	1864.8	1889.3	1873.8	1898.0	1903.7
	Masse nach Auftauen	Mi2-2	[g]	29.04.2017	1824.1	1892.8	1918.3	1893.2	1917.2	1926.5
	Masse nach Abbürsten	Mi3-2	[g]	29.04.2017	1725.9	1862.7	1904.5			
3	Masse nach Frost	Mi1-3	[g]	01.05.2017	1707.5	1844.8	1888.5	1876.6	1902.2	1911.9
	Masse nach Auftauen	Mi2-3	[g]	02.05.2017	1732.6	1866.0	1907.3	1896.5	1919.8	1927.3
	Masse nach Abbürsten	Mi3-3	[g]	02.05.2017	1629.2	1827.9	1891.2			
4	Masse nach Frost	Mi1-4	[g]	03.05.2017	1614.7	1812.9	1877.3	1881.5	1906.1	1914.3
	Masse nach Auftauen	Mi2-4	[g]	04.05.2017	1636.5	1833.7	1896.0	1899.0	1921.2	1929.0
	Masse nach Abbürsten	Mi3-4	[g]	04.05.2017	1537.3	1790.5	1879.2			
5	Masse nach Frost	Mi1-5	[g]	05.05.2017	1524.0	1776.4	1864.9	1883.6	1907.5	1916.3
	Masse nach Auftauen	Mi2-5	[g]	06.05.2017	1542.8	1793.2	1880.2	1900.2	1921.9	1929.4
	Masse nach Abbürsten	Mi3-5	[g]	06.05.2017	1455.0	1761.2	1866.6			
6	Masse nach Frost	Mi1-6	[g]	08.05.2017	1439.0	1745.1	1849.7	1881.8	1905.3	1913.7
	Masse nach Auftauen	Mi2-6	[g]	09.05.2017	1460.1	1763.9	1869.3	1901.7	1922.6	1929.9
	Masse nach Abbürsten	Mi3-6	[g]	09.05.2017	1351.3	1725.5	1851.8			
7	Masse nach Frost	Mi1-7	[g]	10.05.2017	1338.6	1712.1	1837.6	1886.9	1909.0	1916.8
	Masse nach Auftauen	Mi2-7	[g]	11.05.2017	1355.4	1730.9	1852.4	1902.9	1922.9	1929.6
	Masse nach Abbürsten	Mi3-7	[g]	11.05.2017	1265.9	1693.6	1837.7			
8	Masse nach Frost	Mi1-8	[g]	12.05.2017	1253.8	1680.7	1823.5	1887.9	1909.1	1916.4
	Masse nach Auftauen	Mi2-8	[g]	13.05.2017	1273.3	1697.0	1841.7	1906.1	1925.5	1932.4
	Masse nach Abbürsten	Mi3-8	[g]	13.05.2017	1191.0	1660.6	1829.5			
9	Masse nach Frost	Mi1-9	[g]	15.05.2017	1176.8	1644.7	1812.1	1888.5	1909.9	1916.9
	Masse nach Auftauen	Mi2-9	[g]	16.05.2017	1189.5	1663.7	1829.7	1907.4	1925.9	1931.4
	Masse nach Abbürsten	Mi3-9	[g]	16.05.2017	1106.5	1623.0	1815.3			
10	Masse nach Frost	Mi1-10	[g]	17.05.2017	1094.9	1610.1	1801.2	1892.0	1912.0	1918.0
	Masse nach Auftauen	Mi2-10	[g]	18.05.2017	1110.9	1624.9	1818.0	1910.1	1926.9	1933.0
	Masse nach Abbürsten	Mi3-10	[g]	18.05.2017	1045.2	1595.3	1808.0			
11	Masse nach Frost	Mi1-11	[g]	19.05.2017	1035.0	1583.0	1793.3	1894.4	1913.3	1919.3
	Masse nach Auftauen	Mi2-11	[g]	20.05.2017	1048.7	1600.3	1809.7	1911.6	1927.8	1933.9
	Masse nach Abbürsten	Mi3-11	[g]	20.05.2017	979.5	1575.8	1799.9			
12	Masse nach Frost	Mi1-12	[g]	22.05.2017	967.6	1560.9	1783.0	1892.4	1911.3	1917.6
	Masse nach Auftauen	Mi2-12	[g]	23.05.2017	983.7	1577.4	1802.6	1913.8	1928.3	1933.9
	Masse nach Abbürsten	Mi3-12	[g]	23.05.2017	927.5	1550.4	1788.5			
	Masse ofentrocken	M _{i nach}	[g]	23.05.2017	804.4	1354.8	1565.9			
	Masse nach 4h Wasserlagerung		[g]	23.05.2017	--	--	--	1907.7	1927.1	1935.0
	Bruchkraft		[kN]	23.05.2017	--	--	--	7.98	18.97	28.04
	Trockendichte nach Herstellung		[Mg/m3]		1.760	1.778	1.806	1.775	1.799	1.893
	Feuchtdichte "Start" (M _{i vor})		[Mg/m3]		1.990	2.019	2.045	2.010	2.020	2.045
	Masseverlust	ΔM _i	[%]		51.0%	19.4%	8.2%	--	--	--
	Druckfestigkeit	Rc	[N/mm2]		--	--	--	1.01	2.40	3.55

BSL Baustofflabor AG
13.06.2017
B. Kaeser





Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Standard, Forschung, Sicherheit
Herr Dr. Gerhard Stucki
3003 Bern

Wildeggen, den 16. Mai 2017

Prüfbericht:

Bindemittelloptimierung nach SN 640 496-NA / SOP 3311

Projekt-Nr.: 163708-01

Objekt: VSS 2015/313 Frost-Tau-Wechselbeständigkeit

Bauteil: von hydraulisch gebundenen Gemischen

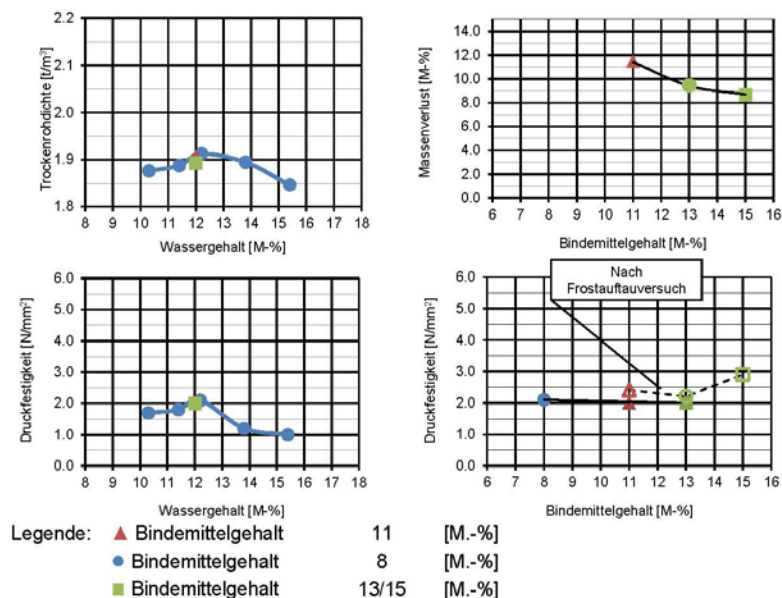
Bindemittel: Doroport

Mat. Bezeichnung: **Boden 3**

Herstelldatum: 06.01.2017

Prüfdatum: 23.03.2017

Prüfalter: **76 Tage**



Labor Erdbau:

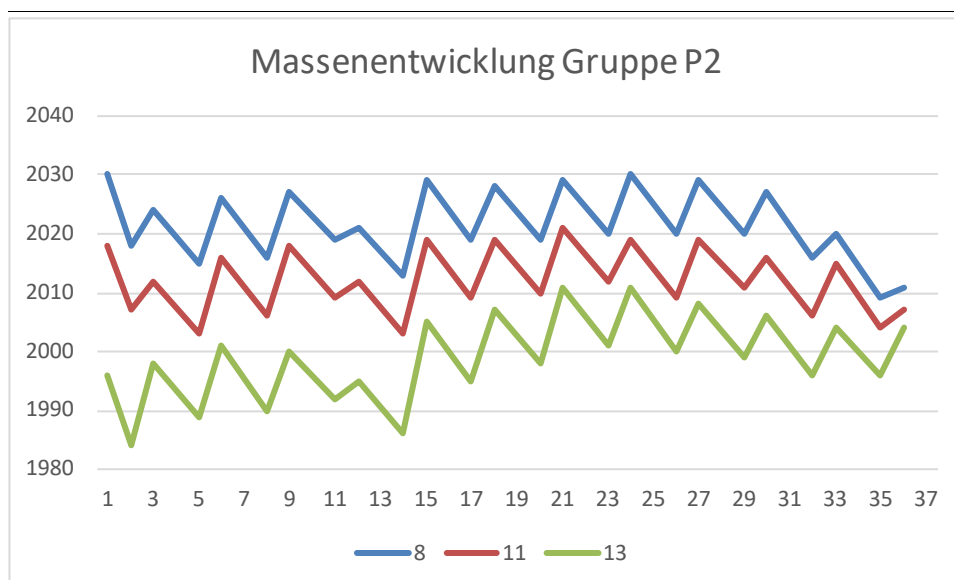
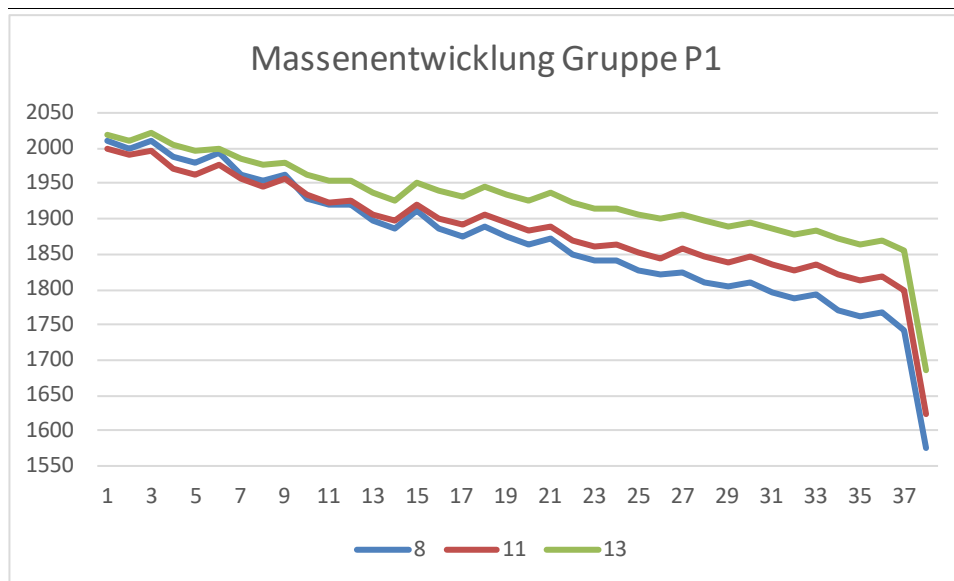
Die Prüfergebnisse haben nur Gültigkeit für die untersuchten Proben. Dieser Bericht darf nicht auszugsweise kopiert werden. Unzerstörte Proben werden nach der Prüfung 2 Monate aufbewahrt. Das Auftragsdossier wird während 13 Jahren archiviert. Der Auftraggeber kann die Dienstleistungen innerhalb von 30 Tagen beanstanden. Bitte beachten Sie die "Allgemeinen Geschäftsbedingungen". Weitere Informationen: www.tfb.ch.

3311aPBd-Version 2

163708- Proctorversuch % - Boden 3 (SM)-Doroport.xlsx / 16.05.2017



Seite 3 von 5



1665 | Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen Gemischen – Grundlagen für die Festlegung nationaler Anforderungen

Versuche Stabilisierung | VSS-Forschungsprojekt

1. Versuch - Prüfverfahren nach "alter" Norm SN 640 496-NA

IMP AG

Probe: 16-12532

Boden 4

FT-Zyklus	Parameter	Einheit	Datum	Gruppe P1			Gruppe P2		
				P1_1	P1_2	P1_3	P2_1	P2_2	P2_3
	PK-Herstellung	[-]							
	Wassergehalt w _{opt}	[M-%]		9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
	Bindemittelgehalt b _{mi}	[M-%]		9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
	Höhe	[mm]		117.6	117.6	117.6	117.6	117.6	117.6
	Durchmesser	[mm]		103.6	103.6	103.6	103.6	103.6	103.6

7 und 14 Tage, jeweils gleichzeitig

anschl. 7 Tage Lagerung bei 95%rel.LF (Klimabox)

					D.7.2	D.14.2	D.28.2	D.7.3	D.14.3	D.28.3
	Masse vor Frost	M _{vor}	[g]	Montag 30.10.2017	2345.0	2382.8	2454.8	2312.1	2537.0	2458.4
1	Masse nach Frost	M1-1	[g]	Dienstag 31.10.2017	2342.8	2379.2	2442.1	2309.4	2534.3	2442.1
	Masse nach Auftauen	M2-1	[g]	Mittwoch 01.11.2017	2352.7	2391.1	2461.0	2319.1	2543.9	2462.3
	Masse nach Abbürsten	M3-1	[g]	Mittwoch 01.11.2017	2338.2	2380.8	2453.6			
2	Masse nach Frost	M1-2	[g]	Donnerstag 02.11.2017	2324.8	2366.6	2435.0	2304.9	2529.7	2440.7
	Masse nach Abbürsten	M2-2	[g]	Freitag 03.11.2017	2339.7	2382.5	2455.4	2319.5	2544.1	2463.2
	Masse nach Abbürsten	M3-2	[g]	Freitag 03.11.2017	2326.9	2377.1	2450.5			
3	Masse nach Frost	M1-3	[g]	Montag 06.11.2017	2300.4	2346.3	2415.1	2291.5	2508.1	2429.2
	Masse nach Auftauen	M2-3	[g]	Dienstag 07.11.2017	2327.0	2377.1	2444.4	2319.1	2540.7	2460.3
	Masse nach Abbürsten	M3-3	[g]	Dienstag 07.11.2017	2319.2	2372.8	2439.9			
4	Masse nach Frost	M1-4	[g]	Mittwoch 08.11.2017	2314.3	2366.2	2416.4	2313.0	2531.2	2433.3
	Masse nach Auftauen	M2-4	[g]	Donnerstag 09.11.2017	2320.3	2372.8	2440.4	2319.7	2543.7	2453.0
	Masse nach Abbürsten	M3-4	[g]	Donnerstag 09.11.2017	2311.5	2368.5	2436.2			
5	Masse nach Frost	M1-5	[g]	Montag 13.11.2017	2290.0	2337.4	2405.2	2292.1	2507.9	2423.1
	Masse nach Auftauen	M2-5	[g]	Dienstag 14.11.2017	2311.4	2369.3	2433.2	2319.9	2540.3	2452.2
	Masse nach Abbürsten	M3-5	[g]	Dienstag 14.11.2017	2299.2	2362.1	2429.6			
6	Masse nach Frost	M1-6	[g]	Mittwoch 15.11.2017	2280.8	2340.7	2421.0	2299.0	2516.4	2441.4
	Masse nach Auftauen	M2-6	[g]	Donnerstag 16.11.2017	2300.4	2362.2	2437.3	2320.2	2544.5	2459.1
	Masse nach Abbürsten	M3-6	[g]	Donnerstag 16.11.2017	2292.2	2357.2	2434.0			
7	Masse nach Frost	M1-7	[g]	Montag 20.11.2017	2264.3	2319.4	2400.6	2286.9	2503.2	2420.7
	Masse nach Auftauen	M2-7	[g]	Dienstag 21.11.2017	2291.5	2352.6	2428.8	2320.3	2539.1	2452.9
	Masse nach Abbürsten	M3-7	[g]	Dienstag 21.11.2017	2283.0	2346.1	2424.7			
8	Masse nach Frost	M1-8	[g]	Mittwoch 22.11.2017	2265.8	2324.8	2413.5	2301.6	2515.5	2439.7
	Masse nach Auftauen	M2-8	[g]	Donnerstag 23.11.2017	2283.4	2346.1	2430.1	2320.6	2543.0	2459.5
	Masse nach Abbürsten	M3-8	[g]	Donnerstag 23.11.2017	2277.4	2341.7	2427.6			
9	Masse nach Frost	M1-9	[g]	Montag 27.11.2017	2252.7	2313.2	2390.6	2293.3	2508.8	2417.4
	Masse nach Auftauen	M2-9	[g]	Dienstag 28.11.2017	2278.0	2343.4	2422.3	2320.7	2541.9	2452.5
	Masse nach Abbürsten	M3-9	[g]	Dienstag 28.11.2017	2268.8	2336.9	2418.4			
10	Masse nach Frost	M1-10	[g]	Mittwoch 29.11.2017	2262.4	2328.7	2408.1	2313.5	2532.4	2440.1
	Masse nach Auftauen	M2-10	[g]	Donnerstag 30.11.2017	2270.0	2340.7	2423.0	2321.3	2545.4	2458.6
	Masse nach Abbürsten	M3-10	[g]	Donnerstag 30.11.2017	2264.0	2333.9	2418.5			
11	Masse nach Frost	M1-11	[g]	Montag 04.12.2017	2237.7	2301.4	2386.6	2290.8	2508.7	2421.3
	Masse nach Auftauen	M2-11	[g]	Dienstag 05.12.2017	2263.5	2330.7	2412.2	2321.1	2541.1	2450.4
	Masse nach Abbürsten	M3-11	[g]	Dienstag 05.12.2017	2256.8	2324.2	2408.3			
12	Masse nach Frost	M1-12	[g]	Mittwoch 06.12.2017	2248.9	2314.2	2397.3	2312.2	2530.2	2440.3
	Masse nach Auftauen	M2-12	[g]	Donnerstag 07.12.2017	2258.3	2327.8	2413.7	2321.5	2545.7	2459.5
	Masse nach Abbürsten	M3-12	[g]	Donnerstag 07.12.2017	2254.8	2322.5	2409.3			
Masse ofentrocken		M _{nach}	[g]	Donnerstag 07.12.2017	2171.4	2241.8	2340.4			
Masse nach 4h Wasserlagerung			[g]	Donnerstag 07.12.2017	--	--	--	2322.0	2549.8	2463.9
Bruchkraft		[kN]	[kN]	Donnerstag 07.12.2017	--	--	--	26.77	25.22	24.13
Masseverlust		ΔM _i	[%]		0.7%	0.8%	2.2%	--	--	--
Druckfestigkeit		R _c	[N/mm2]		--	--	--	3.18	2.99	2.86

IMP Bauteil AG
10.07.2017
R. Nandedkar

II.2 Prüfung nach CEN/TS 13286-54

II.2.1 Boden 1

VSS-Forschungsprojekt 2015-313

Prüfverfahren nach "neuer" Norm CEN/TS 13286-54:2014

BSL Baustofflabor AG

Boden 1 - Grundmoräne Jaberg (Probe M.16.0516)

1. Aushärtungsphase = 7 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Δmw	Trocken [Mg/m3]	Raumdichte		vor 4h-Wasser [Mg/m3]	nach 4h-Wasser [Mg/m3]	Druckfestigkeit [N/mm2]	Anmerkung
		Feucht [Mg/m3]	MW	1. Aushärtung [Mg/m3]								
1.A.7.1	9.0	8.9	2.273		0.026	2.087	2.235	2.244	2.252	0.008	3.3	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
1.A.7.2	9.0	8.9	2.227		-0.010	2.054	2.219	2.235	2.243	0.008		2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.A.7.3	9.0	8.9	2.279		0.031	2.092	2.252	2.262	2.268	0.007		mit Frost (10 Zyklen / Tage)
1.A.7.4	9.0	8.9	2.257		0.009	2.073	2.231	2.238	2.257	0.020		+ 1 Tag Konditionierung vor DF
1.B.7.1	9.0	8.9	2.214		-0.033	2.033	2.220	2.217	2.248	0.031	3.6	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
1.B.7.2	9.0	8.9	2.208	2.248	-0.040	2.027	2.200	2.197	2.232	0.035		2. Aushärtungsphase = 13 Tage
1.B.7.3	9.0	8.9	2.274		0.026	2.088	2.231	2.225	2.239	0.013		ohne Frost
1.B.7.4	9.0	8.9	2.238		-0.009	2.055	2.220	2.215	2.244	0.030		Rot = bei MW nicht berücksichtig
1.C.7.1	9.0	8.9	2.234		-0.014	2.051	2.211	2.209	2.236	0.027	2.7	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
1.C.7.2	9.0	8.9	2.252		0.005	2.068	2.230	2.228	2.251	0.023		2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.C.7.3	9.0	8.9	2.257		0.010	2.073	2.229	2.228	2.251	0.023	3.2	

1. Aushärtungsphase = 14 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Δmw	Trocken [Mg/m3]	Raumdichte		vor 4h-Wasser [Mg/m3]	nach 4h-Wasser [Mg/m3]	Druckfestigkeit [N/mm2]	Anmerkung
		Feucht [Mg/m3]	MW	1. Aushärtung [Mg/m3]								
1.A.14.1	9.0	8.9	2.265		0.015	2.080	2.262	2.273	2.278	0.005	3.7	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
1.A.14.2	9.0	8.9	2.263		0.034	2.097	2.239	2.249	2.253	0.004		2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.A.14.3	9.0	8.9	2.261		0.011	2.076	2.240	2.258	2.264	0.006		mit Frost (10 Zyklen / Tage)
1.A.14.4	9.0	8.9	2.242		-0.007	2.059	2.216	2.221	2.239	0.018		+ 1 Tag Konditionierung vor DF
1.B.14.1	9.0	8.9	2.245		-0.004	2.062	2.223	2.221	2.236	0.014	3.7	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
1.B.14.2	9.0	8.9	2.216	2.250	-0.033	2.035	2.201	2.199	2.230	0.031		2. Aushärtungsphase = 13 Tage
1.B.14.3	9.0	8.9	2.261		0.011	2.076	2.231	2.229	2.246	0.018		ohne Frost
1.B.14.4	9.0	8.9	2.274		0.024	2.088	2.265	2.263	2.272	0.009		
1.C.14.1	9.0	8.9	2.256		0.006	2.072	2.210	2.209	2.239	0.030	3.5	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
1.C.14.2	9.0	8.9	2.242		-0.007	2.059	2.217	2.217	2.247	0.030		2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.C.14.3	9.0	8.9	2.200		-0.049	2.020	2.200	2.200	2.234	0.034	3.9	

1. Aushärtungsphase = 28 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Δmw	Trocken [Mg/m3]	Raumdichte		vor 4h-Wasser [Mg/m3]	nach 4h-Wasser [Mg/m3]	Druckfestigkeit [N/mm2]	Anmerkung
		Feucht [Mg/m3]	MW	1. Aushärtung [Mg/m3]								
1.A.28.1	9.0	8.9	2.287		0.035	2.100	2.262	2.269	2.282	0.012	3.8	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
1.A.28.2	9.0	8.9	2.262		0.011	2.077	2.230	2.239	2.249	0.010		2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.A.28.3	9.0	8.9	2.263		0.012	2.079	2.234	2.247	2.263	0.016		mit Frost (10 Zyklen / Tage)
1.A.28.4	9.0	8.9	2.265		0.014	2.080	2.231	2.239	2.257	0.018		+ 1 Tag Konditionierung vor DF
1.B.28.1	9.0	8.9	2.272		0.021	2.086	2.249	2.246	2.265	0.019	4.3	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
1.B.28.2	9.0	8.9	2.253	2.251	0.001	2.068	2.236	2.234	2.261	0.027		2. Aushärtungsphase = 13 Tage
1.B.28.3	9.0	8.9	2.217		-0.034	2.036	2.204	2.201	2.242	0.041		ohne Frost
1.B.28.4	9.0	8.9	2.254		0.002	2.070	2.215	2.213	2.244	0.031		
1.C.28.1	9.0	8.9	2.247		-0.004	2.063	2.248	2.248	2.264	0.016	3.8	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
1.C.28.2	9.0	8.9	2.231		-0.020	2.049	2.218	2.227	2.257	0.030		2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.C.28.3	9.0	8.9	2.213		-0.038	2.032	2.183	2.208	2.242	0.034	3.5	

Stand: 15.08.2017 / BSL-bk

Stand: 15.08.2017 / BSL, bk

VSS-Forschungsprojekt 2015-313

IMP Bauteil AG

Prüfverfahren nach "neuer" Norm CEN/TS 13286-54:2014

Boden 1 - Grundmoräne Jäberg (Probe16-12533)

1. Aushärtungsphase = 7 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		Trocken		vor 4h-Wasser		nach 4h-Wasser		Anmerkung	
			Feucht [Mg/m ³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m ³]	Δ _{WV}	[Mg/m ³]		[Mg/m ³]		[Mg/m ³]	Δ _{nach/vor Wasser}	Druckfestigkeit [N/mm ²]	MW
1.A.7.1	9.0	8.9	2.247		2.310	0.063	2.063		2.270		2.283	0.013	1.9	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
1.A.7.2	9.0	8.9	2.302		2.388	0.086	2.114		2.276		2.308	0.032	2.2	2. Aushärtungsphase = 2 Tage mit Frost (10 Zyklen / Tage)
1.A.7.3	9.0	8.9	2.237		2.319	-0.007	2.054		2.280		2.323	0.043	1.9	+ 1 Tag Konditionierung vor DF
1.A.7.4	9.0	8.9	2.239		2.315	-0.005	2.056		2.259		2.303	0.044	1.8	
1.B.7.1	9.0	8.9	2.260	2.244	2.315	0.016	2.076		2.239		2.302	0.063	2.3	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
1.B.7.2	9.0	8.9	2.246		2.319	0.001	2.062		2.296		2.297	0.001	2.4	2. Aushärtungsphase = 13 Tage
1.B.7.3	9.0	8.9	2.214		2.303	-0.030	2.033		2.304		2.318	0.014	3.1	ohne Frost
1.B.7.4	9.0	8.9	2.195		2.303	-0.049	2.016		2.284		2.301	0.017	2.9	Rot = bei MW nicht berücksichtigt
1.C.7.1	9.0	8.9	2.257		2.336	0.013	2.073		2.254		2.218	-0.035	1.4	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
1.C.7.2	9.0	8.9	2.260		2.307	0.016	2.076		2.268		2.281	0.013	1.7	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.C.7.3	9.0	8.9	2.230		2.315	-0.014	2.048		2.252		2.313	0.060	2.1	

1. Aushärtungsphase = 14 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		Trocken		vor 4h-Wasser		nach 4h-Wasser		Anmerkung	
			Feucht [Mg/m ³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m ³]	Δ _{WV}	[Mg/m ³]		[Mg/m ³]		[Mg/m ³]	Δ _{nach/vor Wasser}	Druckfestigkeit [N/mm ²]	MW
1.A.14.1	9.0	8.9	2.185		2.278	-0.059	2.006		2.227		2.276	0.050	2.4	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
1.A.14.2	9.0	8.9	2.211		2.293	-0.033	2.030		2.287		2.239	-0.048	2.5	2. Aushärtungsphase = 2 Tage mit Frost (10 Zyklen / Tage)
1.A.14.3	9.0	8.9	2.186		2.275	-0.058	2.007		2.182		2.227	0.045	2.5	+ 1 Tag Konditionierung vor DF
1.A.14.4	9.0	8.9	2.214		2.311	-0.031	2.033		2.222		2.295	0.072	2.5	
1.B.14.1	9.0	8.9	2.143	2.274	2.237	-0.101	1.968		2.247		2.281	0.034	2.3	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
1.B.14.2	9.0	8.9	2.173		2.275	-0.071	1.996		2.248		2.343	0.094	2.6	2. Aushärtungsphase = 13 Tage
1.B.14.3	9.0	8.9	2.197		2.246	-0.047	2.018		2.294		2.326	0.032	2.4	ohne Frost
1.B.14.4	9.0	8.9	2.158		2.266	-0.087	1.981		2.271		2.309	0.038	2.2	
1.C.14.1	9.0	8.9	2.204		2.267	-0.040	2.024		2.247		2.308	0.061	1.9	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
1.C.14.2	9.0	8.9	2.199		2.268	-0.045	2.020		2.233		2.261	0.028	2.1	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.C.14.3	9.0	8.9	3.147		2.253	0.903	2.890		2.221		2.278	0.057	2.2	

1. Aushärtungsphase = 28 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		Trocken		vor 4h-Wasser		nach 4h-Wasser		Anmerkung	
			Feucht [Mg/m ³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m ³]	Δ _{WV}	[Mg/m ³]		[Mg/m ³]		[Mg/m ³]	Δ _{nach/vor Wasser}	Druckfestigkeit [N/mm ²]	MW
1.A.28.1	9.0	8.9	2.165		2.310	-0.079	1.988		2.198		2.286	0.088	2.1	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
1.A.28.2	9.0	8.9	2.182		2.290	-0.062	2.004		2.262		2.288	0.026	2.1	2. Aushärtungsphase = 2 Tage mit Frost (10 Zyklen / Tage)
1.A.28.3	9.0	8.9	2.188		2.372	-0.056	2.009		2.264		2.302	0.038	2.0	+ 1 Tag Konditionierung vor DF
1.A.28.4	9.0	8.9	2.172		2.280	-0.073	1.994		2.280		2.352	0.073	2.9	
1.B.28.1	9.0	8.9	2.182		2.329	-0.063	2.003		2.280		2.306	0.026	2.9	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
1.B.28.2	9.0	8.9	2.200	2.179	2.307	-0.044	2.020		2.268		2.300	0.032	2.6	2. Aushärtungsphase = 13 Tage
1.B.28.3	9.0	8.9	2.173		2.305	-0.071	1.996		2.287		2.324	0.037	2.4	ohne Frost
1.B.28.4	9.0	8.9	2.165		2.300	-0.079	1.988		2.277		2.286	0.009	2.6	
1.C.28.1	9.0	8.9	2.172		2.257	-0.072	1.995		2.306		2.299	-0.007	2.0	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
1.C.28.2	9.0	8.9	2.194		2.289	-0.050	2.015		2.315		2.314	-0.001	2.3	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
1.C.28.3	9.0	8.9	2.179		2.263	-0.065	2.001		2.290		2.300	0.010	3.1	

Stand: 12.01.2018 / IMP_NAP

Stand: 12.01.2018 / IMP, NAR

TFB AG

VSS-Forschungsprojekt 2015-313
Prüfverfahren nach "neuer" Norm CEN/TS 13286-54:2014
Boden 1 - Grundmoräne Jaberg (Probe M.16.0516)

1. Aushärtungsphase = 7 Tage									
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		Druckfestigkeit		Anmerkung
			Feucht [Mg/m³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m³]	Trocken [Mg/m³]	vor 4h-Wasser [Mg/m³]	nach 4h-Wasser [Mg/m³]	Δ nachher Wasser [N/mm²]
1.A.7.1	9.0	8.7	2.136		2.114	1.965	2.113	2.128	0.015
1.A.7.2	9.0	8.7	2.105		2.079	1.937	2.078	2.085	0.017
1.A.7.3	9.0	8.8	2.148		2.124	1.974	2.122	2.144	0.022
1.A.7.4	9.0	8.4	2.090		2.070	1.928	2.070	2.084	0.014
1.B.7.1	9.0	8.8	2.187		2.169	2.010	2.167	2.183	0.016
1.B.7.2	9.0	8.8	2.148	2.136	2.134	2.012	2.132	2.154	0.022
1.B.7.3	9.0	8.4	2.149		2.120	1.982	2.119	2.140	0.021
1.B.7.4	9.0	8.4	2.115		2.089	1.951	2.087	2.109	0.022
1.C.7.1	9.0	8.7	2.176		2.176	2.002	2.177	2.219	0.042
1.C.7.2	9.0	8.7	2.163		2.161	1.990	2.160	2.215	0.055
1.C.7.3	9.0	8.4	2.082		2.080	1.921	2.078	2.148	0.070
1. Aushärtungsphase = 14 Tage									
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		Druckfestigkeit		Anmerkung
			Feucht [Mg/m³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m³]	Trocken [Mg/m³]	vor 4h-Wasser [Mg/m³]	nach 4h-Wasser [Mg/m³]	Δ nachher Wasser [N/mm²]
1.A.14.1	9.0	8.9	2.251		2.247	2.067	2.247	2.283	0.016
1.A.14.2	9.0	8.9	2.296		2.289	2.108	2.289	2.307	0.018
1.A.14.3	9.0	8.9	2.265		2.273	2.098	2.273	2.286	0.013
1.A.14.4	9.0	8.9	2.247		2.252	2.063	2.254	2.268	0.014
1.B.14.1	9.0	8.9	2.237		2.256	2.054	2.254	2.269	0.015
1.B.14.2	9.0	8.9	2.267	2.270	2.278	2.082	2.278	2.283	0.015
1.B.14.3	9.0	8.9	2.264		2.243	2.079	2.241	2.283	0.022
1.B.14.4	9.0	8.9	2.299		2.253	2.111	2.251	2.268	0.017
1.C.14.1	9.0	8.9	2.316		2.304	2.127	2.301	2.315	0.014
1.C.14.2	9.0	8.9	2.253		2.285	2.089	2.283	2.293	0.010
1.C.14.3	9.0	8.9	2.252		2.295	2.068	2.295	2.266	0.011
1. Aushärtungsphase = 28 Tage									
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		Druckfestigkeit		Anmerkung
			Feucht [Mg/m³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m³]	Trocken [Mg/m³]	vor 4h-Wasser [Mg/m³]	nach 4h-Wasser [Mg/m³]	Δ nachher Wasser [N/mm²]
1.A.28.1	9.0	8.9	2.307		2.281	2.118	2.279	2.294	0.055
1.A.28.2	9.0	8.9	2.274		2.215	2.088	2.213	2.253	0.040
1.A.28.3	9.0	8.9	2.270		2.243	2.084	2.241	2.266	0.025
1.A.28.4	9.0	8.9	2.289		2.263	2.102	2.263	2.284	0.021
1.B.28.1	9.0	8.9	2.245		2.230	2.082	2.232	2.253	0.021
1.B.28.2	9.0	8.9	2.258	2.269	2.275	2.073	2.275	2.294	0.019
1.B.28.3	9.0	8.9	2.279		2.226	2.093	2.223	2.261	0.038
1.B.28.4	9.0	8.9	2.258		2.250	2.073	2.211	2.270	0.059
1.C.28.1	9.0	8.9	2.255		2.244	2.071	2.242	2.268	0.016
1.C.28.2	9.0	8.9	2.246		2.256	2.062	2.256	2.276	0.020
1.C.28.3	9.0	8.9	2.275		2.269	2.089	2.267	2.283	0.016

Stand: 30.11.2017 / TFB. mb

II.2.2 Böden 2 bis 4

VSS-Forschungsprojekt 2015-313

Prüfverfahren nach "neuer" Norm CENTS 13286-54:2014

Boden 2 - Sand Tuffiere (Probe M.16.0452)

BSL Baustofflabor AG

Stand: 26.10.2017 / BSL_bk

1. Aushärtungsphase = 7 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		vor 4h-Wasser		nach 4h-Wasser	Druckfestigkeit	Anmerkung
			Feucht [Mg/m³]	MW	Trocken [Mg/m³]	Δ _{MW}	1. Aushärtung [Mg/m³]				
2.A.7.1	11.0	13.6	2.041		1.796	-0.015	2.016	2.018	2.049	0.031	4.3
2.A.7.2	11.0	13.6	2.041		1.797	-0.014	2.049	2.050	2.075	0.025	4.4
2.A.7.3	11.0	13.6	2.060		1.813	0.005	2.018	2.017	2.066	0.022	4.7
2.A.7.4	11.0	13.6	2.037		1.793	-0.018	2.030	2.029	2.061	0.032	4.5
2.B.7.1	11.0	13.6	2.047	2.065	1.802	-0.008	2.033	2.032	2.055	0.023	5.2
2.B.7.2	11.0	13.6	2.063		1.816	0.008	2.017	2.016	2.042	0.026	4.8
2.B.7.3	11.0	13.6	2.038		1.794	-0.017	2.038	2.037	2.059	0.022	5.4
2.B.7.4	11.0	13.6	2.076		1.828	0.021	2.044	2.044	2.070	0.025	4.5
2.C.7.1	11.0	13.6	2.060		1.813	0.005	2.015	2.014	2.037	0.023	3.8
2.C.7.2	11.0	13.6	2.095		1.845	0.040	2.028	2.028	2.053	0.025	4.2
2.C.7.3	11.0	13.6	2.049		1.803	-0.007					

1. Aushärtungsphase = 14 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		vor 4h-Wasser		nach 4h-Wasser	Druckfestigkeit	Anmerkung
			Feucht [Mg/m³]	MW	Trocken [Mg/m³]	Δ _{MW}	1. Aushärtung [Mg/m³]				
2.A.14.1	11.0	13.6	2.038		1.794	0.001	2.036	2.044	2.070	0.026	5.2
2.A.14.2	11.0	13.6	2.035		1.791	-0.002	2.038	2.045	2.068	0.023	4.5
2.A.14.3	11.0	13.6	2.061		1.814	0.024	2.034	2.038	2.065	0.027	4.4
2.A.14.4	11.0	13.6	2.039		1.795	0.002	2.030	2.038	2.057	0.020	5.0
2.B.14.1	11.0	13.6	2.054	2.037	1.808	0.017	2.032	2.031	2.057	0.026	5.0
2.B.14.2	11.0	13.6	2.006		1.766	-0.030	2.038	2.037	2.071	0.034	4.7
2.B.14.3	11.0	13.6	2.032		1.789	-0.005	2.015	2.012	2.044	0.030	5.1
2.B.14.4	11.0	13.6	2.021		1.779	-0.016	2.023	2.022	2.048	0.026	4.9
2.C.14.1	11.0	13.6	2.041		1.797	0.004	2.009	2.009	2.043	0.034	4.7
2.C.14.2	11.0	13.6	2.072		1.824	0.035	2.032	2.032	2.059	0.027	5.0
2.C.14.3	11.0	13.6	2.008		1.767	-0.029	2.020	2.020	2.056	0.037	4.3

1. Aushärtungsphase = 28 Tage

PK-Nr.	Bindemittel-gehalt [M-%]	Wasser-gehalt [M-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		vor 4h-Wasser		nach 4h-Wasser	Druckfestigkeit	Anmerkung
			Feucht [Mg/m³]	MW	Trocken [Mg/m³]	Δ _{MW}	1. Aushärtung [Mg/m³]				
2.A.28.1	11.0	13.6	2.030		1.787	-0.004	2.017	2.022	2.047	0.026	5.1
2.A.28.2	11.0	13.6	2.028		1.785	-0.007	2.022	2.024	2.046	0.022	4.7
2.A.28.3	11.0	13.6	2.037		1.793	0.003	2.021	2.029	2.052	0.023	4.5
2.A.28.4	11.0	13.6	2.003		1.763	-0.031	2.030	2.036	2.068	0.032	4.8
2.B.28.1	11.0	13.6	2.025	2.034	1.782	-0.010	2.016	2.015	2.052	0.037	5.2
2.B.28.2	11.0	13.6	2.029		1.786	-0.005	2.025	2.024	2.060	0.036	5.0
2.B.28.3	11.0	13.6	2.039		1.795	0.004	2.030	2.029	2.059	0.029	5.5
2.B.28.4	11.0	13.6	2.069		1.821	0.034	2.036	2.036	2.061	0.026	5.1
2.C.28.1	11.0	13.6	2.049		1.804	0.015	2.043	2.042	2.065	0.023	4.9
2.C.28.2	11.0	13.6	2.038		1.794	0.003	2.032	2.031	2.057	0.025	5.2
2.C.28.3	11.0	13.6	2.033		1.789	-0.002	2.018	2.017	2.040	0.023	4.8

Stand: 26.10.2017 / BSL, bk

TFB AG

VSS-Forschungsprojekt 2015-313
Prüfverfahren nach "neuer" Norm CEN/TS 13286-54:2014
Boden 3 - Burgergut, Steffisburg (Probe M.16.0499)

1. Aushärtungsphase = 7 Tage									
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Trocken		Raumdichte		Anmerkung
			Feucht [Mg/m ³]	MW	Δ_{MW}	[Mg/m ³]	1. Aushärtung [Mg/m ³]	nach 4h-Wasser [Mg/m ³]	
3.A.7.1	13.0	12.5	2.044		-0.011	2.040	2.031	2.030	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
3.A.7.2	13.0	12.5	2.068		0.012	2.061	2.053	2.051	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
3.A.7.3	13.0	12.1	2.070		0.015	2.066	2.054	2.052	mit Frost (10 Zyklen / Tage)
3.A.7.4	13.0	12.7	2.046		-0.009	2.044	2.035	2.033	+ 1 Tag Konditionierung vor DF
3.B.7.1	13.0	12.5	2.061		0.006	2.061	2.047	2.045	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
3.B.7.2	13.0	12.5	2.070	2.056	0.015	2.068	2.059	2.058	2. Aushärtungsphase = 13 Tage
3.B.7.3	13.0	12.7	2.032		-0.023	2.026	2.005	2.004	ohne Frost
3.B.7.4	13.0	12.7	2.059		0.004	2.057	1.999	1.999	
3.C.7.1	13.0	12.5	2.074		0.018	2.067	2.070	2.068	1. Aushärtungsphase = 7 Tage
3.C.7.2	13.0	12.1	2.062		0.007	2.058	2.066	2.075	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
3.C.7.3	13.0	12.1	2.023		-0.032	2.021	2.039	2.038	
1. Aushärtungsphase = 14 Tage									
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Trocken		Raumdichte		Anmerkung
			Feucht [Mg/m ³]	MW	Δ_{MW}	[Mg/m ³]	1. Aushärtung [Mg/m ³]	nach 4h-Wasser [Mg/m ³]	
3.A.14.1	13.0	12.2	2.100		-0.026	1.872	2.081	2.084	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
3.A.14.2	13.0	12.2	2.138		0.012	1.906	2.104	2.118	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
3.A.14.3	13.0	12.2	2.125		-0.001	1.894	2.119	2.117	mit Frost (10 Zyklen / Tage)
3.A.14.4	13.0	12.2	2.140		0.014	1.907	2.133	2.144	+ 1 Tag Konditionierung vor DF
3.B.14.1	13.0	12.2	2.100		-0.026	1.872	2.095	2.093	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
3.B.14.2	13.0	12.2	2.097	2.126	-0.029	1.869	2.107	2.105	2. Aushärtungsphase = 13 Tage
3.B.14.3	13.0	12.2	2.119		-0.007	1.889	2.115	2.113	ohne Frost
3.B.14.4	13.0	12.2	2.133		0.007	1.901	2.133	2.141	
3.C.14.1	13.0	12.2	2.098		-0.028	1.870	2.100	2.098	1. Aushärtungsphase = 14 Tage
3.C.14.2	13.0	12.2	2.217		0.091	1.976	2.120	2.117	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
3.C.14.3	13.0	12.2	2.121		-0.008	1.890	2.107	2.105	
1. Aushärtungsphase = 28 Tage									
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Trocken		Raumdichte		Anmerkung
			Feucht [Mg/m ³]	MW	Δ_{MW}	[Mg/m ³]	1. Aushärtung [Mg/m ³]	nach 4h-Wasser [Mg/m ³]	
3.A.28.1	13.0	12.2	2.098		-0.041	1.870	2.079	2.077	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
3.A.28.2	13.0	12.2	2.119		-0.020	1.889	2.093	2.091	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
3.A.28.3	13.0	12.2	2.141		0.002	1.908	2.113	2.129	mit Frost (10 Zyklen / Tage)
3.A.28.4	13.0	12.2	2.172		0.033	1.936	2.144	2.142	+ 1 Tag Konditionierung vor DF
3.B.28.1	13.0	12.2	2.140		0.001	1.907	2.100	2.098	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
3.B.28.2	13.0	12.2	2.142	2.139	0.003	1.909	2.140	2.138	2. Aushärtungsphase = 13 Tage
3.B.28.3	13.0	12.2	2.126		-0.013	1.895	2.122	2.120	ohne Frost
3.B.28.4	13.0	12.2	2.148		0.009	1.914	2.146	2.144	
3.C.28.1	13.0	12.2	2.159		0.020	1.924	2.131	2.129	1. Aushärtungsphase = 28 Tage
3.C.28.2	13.0	12.2	2.109		-0.030	1.880	2.109	2.107	2. Aushärtungsphase = 2 Tage
3.C.28.3	13.0	12.2	2.170		0.031	1.934	2.122	2.122	

Stand: 30.11.2017 / TFB mb

IMP Bauteil AG													
VSS-Forschungsprojekt 2015-313													
Prüfverfahren nach "neuer" Norm CENTS 13286-54:2014													
Boden 4 - Wandkies Diepodsbach (Probe 16-12532)													
1. Aushärtungsphase = 7 Tage													
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		nach 4h-Wasser		Druckfestigkeit		Anmerkung		
			Feucht [Mg/m ³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m ³]	Trocken [Mg/m ³]	vor 4h-Wasser [Mg/m ³]	nach 4h-Wasser [Mg/m ³]	Δ [N/mm ²]	MW			
1.A.7.1	9,0	9,6	2.170		0.002	1.980	2.242	2.295	0.053	2,6	1. Aushärtungsphase = 7 Tage		
1.A.7.2	9,0	9,6	2.167		-0.011	1.977	2.271	2.296	0.055	3,6	2. Aushärtungsphase = 2 Tage		
1.A.7.3	9,0	9,6	2.193		0.015	2.000	2.257	2.324	0.067	3,8	3. Aushärtungsphase = 10 Zyklen / Tage		
1.A.7.4	9,0	9,6	2.200		0.022	2.007	2.261	2.332	0.071	3,0	+ 1. Tag Konditionierung vor DF		
1.B.7.1	9,0	9,6	2.179		0.002	1.988	2.276	2.287	-0.010	3,0	1. Aushärtungsphase = 7 Tage		
1.B.7.2	9,0	9,6	2.185	2.177	-0.013	1.975	2.272	2.292	0.020	2,9	2. Aushärtungsphase = 13 Tage		
1.B.7.3	9,0	9,6	2.157		-0.020	1.968	2.232	2.276	0.043	2,5	ohne Frost		
1.B.7.4	9,0	9,6	2.171		-0.006	1.981	2.313	2.286	-0.026	2,9	Rot = bei MW nicht berücksichtigt		
1.C.7.1	9,0	9,6	2.192		0.015	2.000	2.236	2.281	0.045	2,0	1. Aushärtungsphase = 7 Tage		
1.C.7.2	9,0	9,6	2.183		0.006	1.992	2.256	2.274	0.018	2,8	2. Aushärtungsphase = 2 Tage		
1.C.7.3	9,0	9,6	2.174		-0.003	1.984	2.264	2.216	-0.048	2,5			
1. Aushärtungsphase = 14 Tage													
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		nach 4h-Wasser		Druckfestigkeit		Anmerkung		
			Feucht [Mg/m ³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m ³]	Trocken [Mg/m ³]	vor 4h-Wasser [Mg/m ³]	nach 4h-Wasser [Mg/m ³]	Δ [N/mm ²]	MW			
1.A.14.1	9,0	9,6	2.118		-0.059	1.932	2.231	2.287	0.056	3,3	1. Aushärtungsphase = 14 Tage		
1.A.14.2	9,0	9,6	2.177		0.000	1.987	2.240	2.299	0.059	2,7	2. Aushärtungsphase = 2 Tage		
1.A.14.3	9,0	9,6	2.157		-0.021	1.968	2.300	2.300	0.111	3,2	mit Frost (10 Zyklen / Tage)		
1.A.14.4	9,0	9,6	2.170		-0.007	1.980	2.273	2.301	0.063	3,7	+ 1. Tag Konditionierung vor DF		
1.B.14.1	9,0	9,6	2.202		0.025	2.010	2.292	2.270	-0.022	4,5	1. Aushärtungsphase = 14 Tage		
1.B.14.2	9,0	9,6	2.194	2.187	0.017	2.002	2.306	2.290	-0.016	4,2	2. Aushärtungsphase = 13 Tage		
1.B.14.3	9,0	9,6	2.220		0.042	2.025	2.294	2.294	0.029	3,7	ohne Frost		
1.B.14.4	9,0	9,6	2.185		0.008	1.994	2.314	2.288	-0.025	4,2	1. Aushärtungsphase = 14 Tage		
1.C.14.1	9,0	9,6	2.197		0.019	2.004	2.276	2.293	0.042	2,6	2. Aushärtungsphase = 2 Tage		
1.C.14.2	9,0	9,6	2.194		0.017	2.002	2.279	2.282	-0.017	3,3			
1.C.14.3	9,0	9,6	2.238		0.061	2.042	2.299	2.275	-0.023	3,7			
1. Aushärtungsphase = 28 Tage													
PK-Nr.	Bindemittel- gehalt [M.-%]	Wasser- gehalt [M.-%]	Raumdichte nach Einbau		Raumdichte		nach 4h-Wasser		Druckfestigkeit		Anmerkung		
			Feucht [Mg/m ³]	MW	1. Aushärtung [Mg/m ³]	Trocken [Mg/m ³]	vor 4h-Wasser [Mg/m ³]	nach 4h-Wasser [Mg/m ³]	Δ [N/mm ²]	MW			
1.A.28.1	9,0	9,6	2.141		-0.036	1.954	2.230	2.317	0.086	3,1	1. Aushärtungsphase = 28 Tage		
1.A.28.2	9,0	9,6	2.121		-0.056	1.935	2.241	2.307	0.043	2,4	2. Aushärtungsphase = 2 Tage		
1.A.28.3	9,0	9,6	2.148		-0.029	1.960	2.315	2.273	0.065	3,6	3. Aushärtungsphase = 10 Zyklen / Tage		
1.A.28.4	9,0	9,6	2.124		-0.054	1.938	2.293	2.330	0.069	3,9	+ 1. Tag Konditionierung vor DF		
1.B.28.1	9,0	9,6	2.153		-0.024	1.964	2.305	2.270	0.042	3,1	1. Aushärtungsphase = 28 Tage		
1.B.28.2	9,0	9,6	2.159	2.154	-0.018	1.970	2.308	2.288	0.027	3,7	2. Aushärtungsphase = 13 Tage		
1.B.28.3	9,0	9,6	2.178		0.001	1.987	2.282	2.341	0.053	4,0	ohne Frost		
1.B.28.4	9,0	9,6	2.157		-0.021	1.968	2.296	2.277	0.055	3,9	1. Aushärtungsphase = 28 Tage		
1.C.28.1	9,0	9,6	2.211		0.034	2.017	2.268	2.278	0.010	3,0	2. Aushärtungsphase = 2 Tage		
1.C.28.2	9,0	9,6	2.174		-0.003	1.983	2.307	2.314	0.003	3,8			
1.C.28.3	9,0	9,6	2.130		-0.048	1.943	2.263	2.276	0.019	3,2			

Stand: 10.12.2017 / IMP, NAR

Glossar

Begriff	Bedeutung
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
DF	Druckfestigkeit(-sprüfung)
$D_{Pr.}$	Optimale Trockendichte (mittels Proctor-Versuch bestimmt)
f_A	Mittlere Druckfestigkeit der Gruppe A (mit Frostbeanspruchung nach CEN/TS 13286-54)
f_B	Mittlere Druckfestigkeit der Gruppe B (ohne Frostbeanspruchung)
SN	Schweizer Norm (SN)
TS	Technical Standard (Prüfvorschrift)
VAB	Vereinigung Akkreditierter Baustoffprüflabors
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
$w_{opt.}$	Optimaler Wassergehalt (mittels Proctor-Versuch bestimmt)

Literaturverzeichnis

Normen

- [1] Europäisches Komitee für Normung (2014), «**Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische** – Teil 54: Prüfverfahren zur Bestimmung der Frostempfindlichkeit – Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen», *CEN/TS 13286-54*
- [2] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), (2012): " **Technische Prüfverfahren für Boden und Fels im Strassenbau** – Teil B 11.1 – Eignungsprüfung bei Bodenverfestigungen mit Bindemitteln", *TP BF-StB – Teil B 11.1*
- [3] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV), (2010): " **Technische Prüfverfahren für Boden und Fels im Strassenbau** – Teil B 11.3 – Eignungsprüfung bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln", *TP BF-StB – Teil B 11.3*
- [4] Forschungsgesellschaft Strasse, Schiene, Verkehr FSV (2009): "**Mit Bindemittel stabilisierte Tragschichten**", *RVS 08.17.01*
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2017), „**Betonbau**“, *Norm SIA 262-C1:2017*.
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2015), „**Hydraulisch gebundene Gemische: Anforderungen** – Teil 1: Zementgebundene Gemische, Teil 5: Tragschichtbindergebundene Gemische“, *SN 640496-NA*.
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2006), „**Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische** – Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Trockenrohdichte und des Wassergehalts - Proctorversuch“, *SN 670330-2a*.
- [8] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2011), "**Prüfverfahren für thermische Eigenschaften und Verwitterungsbeständigkeit von Gesteinskörnungen** – Teil 4: Bestimmung der Trockenschwindung“, *SN 670904-4b*.

Dokumentation

- [9] Caprez, M. (1983): "**Projektbezogene Untersuchung der Tragwirkung von zementstabilisierten Bodenmaterialien**"; *Forschungsauftrag VSS 10/79, Bericht VSS Nr. 54*
- [10] Jacot, A. (1985): "**Langzeitverhalten und Dimensionierung von Zementstabilisierungen**"; *Forschungsauftrag VSS 8/83, Bericht VSS Nr. 113*
- [11] Yang, F. (1987): "**Einfluss von Rissen auf die Tragfähigkeit des zementstabilisierten Oberbaues**"; *Forschungsauftrag VSS 26/80, Bericht VSS Nr. 130*
- [12] Fetz, L. (1988): "**Bodenstabilisierung mit Zement, Vergleichsuntersuchungen Labor – Feld**"; *Forschungsauftrag VSS 25/80, Bericht VSS Nr. 146*
- [13] Yang, F. (1995): "**Einfluss von verschiedenen Zementsorten auf die Rissbildung zementstabilisierten Schichten**"; *Forschungsauftrag VSS 28/88, Bericht VSS Nr. 349*
- [14] Yang, F. (1995): "**Einfluss von verschiedenen Zementsorten auf die Rissbildung zementstabilisierten Schichten**"; *Forschungsauftrag VSS 04/97, Bericht VSS Nr. 474*
- [15] Vereinigung Akkreditierter Baustoffprüflabors VAB/ALA (2017): "**Ringversuch Kiesgemisch PSS / Essai croisé Grave PSS: Proctor intermediate**" *SN EN 13286-2:2010*", *Ringversuch 4-1-012-1117a*.

Projektabschluss

31. Okt. 2019



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 20.06.2019

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2015/313
Projekttitel: Frost-Tau-Wechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen
Enddatum: 30.06.2019

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

In den meisten Fällen ist erwartungsgemäss eine Abnahme der Absolutwerte der Druckfestigkeit nach der Frost-Auftaubeanspruchung zu verzeichnen. In den meisten Fällen ist aufgrund der erwarteten Gefügeschädigung durch die Frostbelastung eine leichte Abnahme der Absolutwerte zu verzeichnen. Die Verhältnisse der Druckfestigkeiten mit und ohne Frost-Auftaubeanspruchung liegen im Bereich von 0.91 (Mittelwert für Boden 1) und 0.88 bis 0.91 für die Böden 2-4. Diese Abnahme ist offenbar nicht abhängig von der Dauer der 1. Aushärtungsphase (7, 14 und 28 Tage) und liegt im Bereich der herstellungsbedingten Schwankungen der Probekörper (Proctorverdichtung).

Daher erscheint es als gerechtfertigt, dass die Prüfung nach CEN/TS 13286-54 im Sinne der Praxistauglichkeit auch bereits mit einer 1. Aushärtungsphase von 7 Tagen (anstelle 28 Tage) durchgeführt werden könnte.

Die erwähnten Einflüsse auf die Ermittlung der Druckfestigkeit – insbesondere die Grundproblematik der Probekörperherstellung – und deren Auswirkung auf das Prüfverfahren können mit den vorliegenden Daten aus 4 ausgewählten Böden nicht abschliessend beurteilt werden. Hierzu müssen also weitere Forschungsergebnisse abgewartet werden. Zudem ist das Verfahren der Probekörperherstellung mittels herkömmlicher Proctorverdichtung als kritisch einzustufen bzw. zu hinterfragen.

Aufgrund dieser nicht eindeutigen Resultate und den Erkenntnissen zur Streuung der Druckfestigkeiten aufgrund der Probekörperherstellung mittels Proctorverdichtung, die zum Zeitpunkt des Forschungsantrags nicht bekannt waren, können daher gegenwärtig keine exakten Grenzwerte für die Beurteilung der Frostbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen mit der Prüfung nach CEN/TS 13286-54 vorgeschlagen werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die Projektziele konnten nur teilweise erreicht werden.

Einfluss Lagerungsdauer (1. Aushärtungsphase): ja
Eine 1. Aushärtungsphase von 7 Tagen erscheint mit den gewählten Bindemitteln
ausreichend lange.

Verbindliche Grenzwerte für eine Frostbeständigkeit können mit den vorhandenen Daten
nicht vorgegeben werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Probekörperherstellung

Die Einflüsse aus der Probekörperherstellung mittels herkömmlicher Proctorverdichtung haben sich in Bezug
auf die Druckfestigkeit als sehr kritisch erwiesen. Daher sollten Versuchsreihen zur Proctorverdichtung und zur
Druckfestigkeit von Gemischen mit Bindemittel durchgeführt werden, um die Streuungen besser beurteilen zu
können.

Grenzwerte für Frostbeständigkeit

Um Grenzwerte für eine Frostbeständigkeit nach CEN/TS 13286-54 vorschlagen zu können, sollten zusätzliche
Versuche durchgeführt werden. Um die Prüfstreuungen zu minimieren, sollten Versuche mit kontrollierten
Kornmischungen, die aus verschiedenen Korngruppen zusammengesetzt werden, durchgeführt werden.
Ausserdem sollten auch Versuche mit erwiesenermaßen nicht frostbeständigen Böden bzw. Kornmischungen
durchgeführt werden, um minimale Grenzwerte festlegen zu können.

Publikationen:

- Schlussbericht
- Fachartikel
- Vorträge bei TFB-/Bau&Wissen-Fachveranstaltungen

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Mühlen

Vorname: Björn

Amt, Firma, Institut: TFB AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die beiden übergeordneten Ziele - Evaluation von Druckfestigkeitsprüfung (neue CEN/TS 13286-54) gegenüber Masseverlust durch Abbürsten (bisherige SN 640 496-NA) und Verkürzung der Prüfdauer im Labor durch Verkürzung der Aushärtungsphase - konnten erreicht werden. Hingegen erwies sich die Aufteilung auf 3 Labors als problematisch: die Streuungen bei Trockendichte und Druckfestigkeit sind aufgrund unterschiedlicher Prüfkörperherstellung hoch. Dadurch ist das Festlegen von Grenzwerten zur Beurteilung der Frostbeständigkeit nicht möglich. Andererseits wird festgestellt, dass sich die systematischen Abweichungen zwischen den Labors in etwa im Rahmen des VAB/ALA Ringversuchs "Proctor PSS" bewegen (VAB/ALA Dokument Nr. 4-1-014-1217a vom 14.12.2017). Im Bericht sind diese Erschwernisse offen thematisiert. Der Forschungsauftrag ist unter den gegebenen Umständen erfüllt.

Umsetzung:

Die Möglichkeit der Verkürzung der 1. Aushärtungsphase auf 7 Tage und die Umstellung von manuellem Abbürsten auf maschinelle Druckfestigkeitsprüfung machen das Verfahren robuster und schneller, und somit praxistauglicher. Die Schweiz kann dem CEN somit grundsätzlich empfehlen, die CEN/TS 13286-54 zu überarbeiten und als EN-Norm zu publizieren, sowie die 1. Aushärtungsphase von 28 Tagen auf 14 oder 7 Tage zu reduzieren (oder eine Wahlmöglichkeit zu schaffen).

weitergehender Forschungsbedarf:

Versuchsreihen im VAB/ALA zur Proctorverdichtung basierend auf gleicher Masse, bzw. Trockendichte aller Prüfkörper. Das Ziel ist die Minimierung der Streuungen zwischen den verschiedenen Labors. Versuche im Rahmen eines Forschungsprojekts zum Festlegen von Grenzwerten für die Frostbeständigkeit. Die Korngemische sollten dazu kontrolliert zusammengesetzt werden. Auch sollten erwiesenermassen nicht frostbeständige Böden geprüft werden.

Einfluss auf Normenwerk:

Sobald die EN 13286-54 publiziert ist, diese in der Schweiz übernehmen und anwenden. SN 640 496-NA wird um den Teil Frostprüfung gekürzt (Eignungsprüfung Bindemitteldosierung wird in SN EN 14227-1 /-5 festgelegt, ebenso die Anforderungen an Druckfestigkeit und die CH-spezifische Aushärtungsdauer). Zudem muss das Vorwort der SN EN 13286-50, Ziffer 5 angepasst werden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Christen

Vorname: Gerhard

Amt, Firma, Institut: Baudirektion Kanton Zürich

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.