



Wasserdurchlässigkeit von Foundationsschichten als Einflussparameter für den Frostwiderstand

**Perméabilité à l'eau des couches de fondation en tant que
paramètre influençant la résistance au gel**

**Water permeability of foundation layers as an influencing
parameter for frost resistance**

BSL Baustofflabor AG
Dr. Benjamin Kaeser

TFB AG
Björn Mühlan
Dr. Katja von Allmen

**Forschungsprojekt VSS 2020 / 335 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

April 2024

1772

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)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Wasserdurchlässigkeit von Foundationsschichten als Einflussparameter für den Frostwiderstand

**Perméabilité à l'eau des couches de fondation en tant que
paramètre influençant la résistance au gel**

**Water permeability of foundation layers as an influencing
parameter for frost resistance**

BSL Baustofflabor AG
Dr. Benjamin Kaeser

TFB AG
Björn Mühlan
Dr. Katja von Allmen

**Forschungsprojekt VSS 2020 / 335 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

März 2024

1772

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Dr. Benjamin Kaeser

Mitglieder

Björn Mühlen

Dr. Katja von Allmen

Federführende Fachkommission

Fachkommission 3: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Volker Wetzig

Mitglieder

Dr. Martin Arrigada

Gerhard Christen

Dieter Fux

Martin Preisig

Patrick Rychen

Fabian Traber

Kilian Gerber

Hans Peter Bucheli

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.....	10
	Summary	12
1	Ausgangslage	15
2	Zielsetzung	17
3	Stand der Forschung und Normierung	19
3.1	Grundlagen zur Wasserdurchlässigkeit und Frostempfindlichkeit	19
3.2	Stand der Normung in der Schweiz	20
4	Vorgehen	23
4.1	Evaluierung	23
4.2	Phase II – Spezifizierung des Prüfverfahrens	23
4.3	Phase III – Standortbestimmung im Labor	24
4.3.1	Wasserdurchlässigkeit «Standardverdichtung» vs. «CBR-Verdichtung»	24
4.3.2	Korrelation Wasserdurchlässigkeit und Tragverhalten (inkl. CBR _F -Versuch).....	25
5	Datenerhebung.....	27
5.1	Vorgehen und Ziel der Marktstudie	27
5.2	Fragebogen	27
5.3	Output der Marktstudie	28
6	Auswahl der Probematerialien	31
6.1	Auswahlkriterien.....	31
6.2	Probenahme und Probenvorbereitung	36
7	Methodik Laborversuche	39
7.1	Materialcharakterisierung	39
7.2	Proctorversuche.....	39
7.3	Tragverhalten (CBR-Versuche)	39
7.4	Durchlässigkeit gemäss SN EN ISO 17892-11	40
7.5	Vergleichsversuche	42
7.5.1	Vergleich Proctorverdichtung.....	42
7.5.2	Vergleich Durchlässigkeitsprüfung.....	43
7.6	Einflussgrössen und Spezifizierung der Labormethode.....	44
7.6.1	Verdichtung des Probekörpers	45
7.6.2	Wahl des Einbauwassergehalts.....	49
8	Resultate Laboruntersuchungen.....	55
8.1	Materialklassifizierung	55
8.1.1	Petrographie und stoffliche Zusammensetzung	55
8.1.2	Korngrössenverteilung	56
8.1.3	Proctorversuche.....	58
8.2	Wasserdurchlässigkeit	60
8.3	CBR-Versuche	62
9	Diskussion.....	65

9.1	Beurteilung der Zusammensetzung der ausgewählten Typ-Materialien	65
9.2	Korrelation Durchlässigkeit und Verdichtung	65
9.3	Korrelation Durchlässigkeit und Korngrößenverteilung	69
9.4	Ergebnisse der CBR-Versuche und Korrelation mit der Durchlässigkeit	77
10	Schlussfolgerungen	83
10.1	Zielerreichung	83
10.2	Empfehlungen für die Normierung	84
10.2.1	Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit	84
10.2.2	Schwellenwerte und Nachweisanforderungen	84
10.3	Übertragbarkeit in die Baustellenpraxis	86
10.3.1	Veränderung der Materialeigenschaften während Umschlag und Einbau	86
10.3.2	Anlieferungs- und/oder Einbauwassergehalt auf der Baustelle	87
11	Ausblick	89
	Anhänge	91
	Glossar	217
	Literaturverzeichnis	219
	Projektabschluss	222

Zusammenfassung

Diverse durch Frosthebungen verursachte Schadensfälle der jüngeren Vergangenheit auf Schweizer Strassen konnten mit einer unzureichenden Wasserdurchlässigkeit der ungebundenen Foundationsschicht unter dem bituminösen Oberbau in Verbindung gebracht werden. Aus diesem Grund wurde die Eigenschaft der «Wasserdurchlässigkeit» bei der Überarbeitung der SN EN 13285 und der VSS 70 119 für die Qualitätssicherung von ungebundenen Gemischen bereits im Jahr 2021 neu im Normenwerk verankert. Für die Festlegung von Grenzwerten bzw. Anforderungen fehlten allerdings bisher die Erfahrungswerte für die im Labor bestimmten Kennwerte und deren Übertragbarkeit in die Praxis. Das vorliegende Forschungsprojekt hatte somit zum Ziel, die Grundlagen für die Festlegung von Leistungsanforderungen an die Durchlässigkeit zu erarbeiten und gleichzeitig das Prüfverfahren für die Anwendung an ungebundenen Gemischen zu spezifizieren. Die Projektidee beruhte dabei auf dem Grundprinzip einer «Standortbestimmung» unter Berücksichtigung einer möglichst repräsentativen Stichprobe von ungebundenen Gemischen, welche sich bisher in der Praxis des Schweizer Verkehrswegebau bewährt haben und an welchen das Entwässerungsverhalten im Labor detailliert geprüft werden kann. Die Ergebnisse sollten ausserdem dazu dienen, allfällige Zusammenhänge mit anderen Eigenschaften aufzuzeigen (z.B. mit der Frostempfindlichkeit).

Die Forschungsarbeit umfasste 3 Projektphasen:

- Die erste Phase diente der Evaluierung und Datenerhebung mittels Umfrage bei verschiedenen Akteuren im Verkehrswegebau (Produzenten, Unternehmungen, Bauherren und Prüfstellen). Diese Erhebungen hatten u.a. zum Ziel, geeignete Materialien für die anschliessenden Laborversuche zu identifizieren. Zudem wurden Informationen zum Gebrauchsverhalten und zu Erfahrungen mit regional verfügbaren ungebundenen Gemischen aus der Strassenbaupraxis gesammelt.
- Die zweite Phase umfasste den methodologischen Teil. Anhand von Vergleichs- und Wiederholversuchen wurde das Prüfverfahren, welches für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit angewendet werden soll (die Bestimmung des k-Werts gem. Norm SN EN ISO 17892-11) überprüft und für die Anwendung an ungebundenen Gemischen spezifiziert. Die Laboruntersuchungen wurden dabei in zwei verschiedenen akkreditierten Prüfstellen durchgeführt, wobei ein Hauptaugenmerk auf eine ausreichend gute Reproduzierbarkeit gelegt wurde.
- In der dritten Phase wurde schliesslich die «Standortbestimmung» an den 13 ausgewählten Typ-Materialien durchgeführt. Nebst der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit unter verschiedenen Prüfbedingungen wurden hierbei ergänzend auch Versuche zur Frostempfindlichkeit durchgeführt (CBR-Versuche).

Im Rahmen der Datenerhebung wurden Kenndaten von insgesamt 38 ungebundenen Gemischen zusammengetragen. Die Daten stammen aus allen geografischen Regionen der Schweiz und repräsentieren auch die wichtigsten geologischen Provenienzen (Jura, Schweizer Mittelland, Voralpen und mehrheitlich alpin geprägte Gebiete im Wallis, Tessin und Graubünden). Anhand der gesammelten Daten wurden schliesslich 13 «Typ-Materialien» für die weiteren Untersuchungen identifiziert, beprobt und charakterisiert. Dabei wurde darauf geachtet sowohl eine regional als auch petrographisch möglichst breite Diversität zu berücksichtigen. Die gewählten Materialien umfassten aus Kiesgruben gewonnenes Material (sowohl Gemische aus Rundkorn als auch gebrochenes Material), aus Steinbrüchen aufbereitetes Felsmaterial und betonhaltige rezyklierte Gesteinskörnungen (RC-Kiesgemische B und RC-Betongranulatgemische). Die 13 Proben repräsentieren ein breit abgestütztes Spektrum an Materialarten, behalten aber unter Berücksichtigung des Projektrahmens und der gleichzeitig sehr grossen Produktvielfalt der Schweizer Gesteinskörnungsindustrie trotzdem einen «Stichprobencharakter». In Bezug auf die Korngrössenverteilung konnte insbesondere der sehr feinkörnige Bereich mit Feinanteilen zwischen 8 und 12 Masse-% nicht berücksichtigt werden. Solche Kiesgemische sind am Markt allerdings eher seltener zu finden und somit für repräsentative "normkonforme" und "erfolgreich eingesetzte" Produkte auch nicht unbedingt relevant.

In der zweiten, methodologischen Projektphase konnte aufgezeigt werden, dass das in der SN EN 13285 festgelegte Prüfverfahren nach SN EN ISO 17892-11 für die Bestimmung der Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen im Laborversuch grundsätzlich geeignet ist. Gleichzeitig zeigte sich, dass eine ausreichende Reproduzierbarkeit im Laborversuch nur erreicht wird, wenn eine Reihe unterschiedlicher Randbedingungen beachtet wird. Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Wiederhol- und Vergleichsversuche sowie eine detaillierte Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurden diverse Elemente identifiziert, welche zur Erreichung einer guten Datenqualität wichtig sind. Zentrale Bestandteile sind dabei die Festlegung der Probekörperverdichtung. Es wird empfohlen, die Verdichtung über eine genau definierte Probenmenge zu steuern («Ziel-Trockendichte») und einen Einbauwassergehalt, der 70% vom optimalen Wassergehalt gemäss Proctorversuch entspricht, zu verwenden. Basierend auf den Ergebnissen wurde eine Arbeitsanleitung erstellt, welche als Basis dienen soll, um die Wasserdurchlässigkeit von ungebundenen Gemischen in den Prüfstellen mit zufriedenstellender Reproduzierbarkeit bestimmen zu können.

Nach dem Abschluss des methodologischen Teils wurde die Durchlässigkeit (k-Werte) an den 13 ausgewählten Typ-Materialien im Laborversuch bestimmt. Dabei wurde auch der Einfluss unterschiedlicher Verdichtungsgrade geprüft (basierend auf der nominellen Verdichtungsenergie des zu Grunde liegenden Proctorversuchs von 0.6 MJ/m^3 «Proctor-Standard» und 1.2 MJ/m^3 wie in der Schweiz für die CBR-Versuche angewendet). Die untersuchten Gemische weisen k-Werte im Bereich von $1.9 \cdot 10^{-6}$ bis $2.8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ (basierend auf Proctor Standard 0.6 MJ/m^3) auf. Die k-Werte, die bei gleicher Verdichtung wie bei den CBR-Versuchen (nominelle Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m^3) ermittelt wurden, liegen mit $5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ erwartungsgemäss in einem etwas niedrigeren Bereich. Im Sinne einer Harmonisierung der Prüfbedingungen für die werkseigene Produktionskontrolle wird empfohlen, die Durchlässigkeit ungebundener Gemische auch weiterhin bei einer nominellen Verdichtung von 1.2 MJ/m^3 zu prüfen.

Eine weitere vertiefte Analyse der Untersuchungsergebnisse zeigte, dass insbesondere die Lagerungsdichte (Verdichtung und resultierender Porengehalt) des geprüften Materials eine massgebende Einflussgrösse auf die Wasserdurchlässigkeit darstellt. Über alle Daten betrachtet zeigt sich eine Tendenz, dass die Durchlässigkeit erwartungsgemäss abnimmt, wenn ein Material bei einer definierten Verdichtungsenergie eine höhere "Verdichtungswilligkeit" zeigt. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass für andere Eigenschaften – insbesondere Kennwerte der Korngrössenverteilung – nur sehr schwache Korrelationen vorhanden sind. Die Durchlässigkeit wird nebst der Sieblinie von einer Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst, welche sich oft zusätzlich überlagern. Im Besonderen zeigte sich, dass der Feinanteil in der Gesamtprobe eines ungebundenen Gemischs kein belastbares Kriterium ist, um die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen abzuschätzen. Die Datenanalysen zeigten, dass dies ebenso für das Tragverhalten (CBR-Versuche) im Labor gilt, welche letztlich für die Beurteilung der Frostsicherheit verwendet werden. Die Verwendung des Feinanteils als Schwellenwert für den Entscheid, ob ein ungebundenes Gemisch in Bezug auf die Durchlässigkeit oder die Frostsicherheit geprüft werden muss, ist also grundsätzlich zu hinterfragen (zumal der Feinanteil im Gesamtmaterial 0/D keinen unmittelbaren Schluss auf den relativen Feinanteil der im Labor geprüften Kornklasse 0/16 mm zulässt).

Die Ergebnisse der Studie werfen also auch neue Fragestellungen auf, welche für die zukünftige Weiterentwicklung des Normenwerks noch vertiefter analysiert werden sollten. Ein zentraler Punkt ist hierbei die Frage der Grundlage, auf der bei der werkseigenen Produktionskontrolle entschieden wird, ob ein ungebundenes Gemisch überhaupt auf Gebrauchstauglichkeitseigenschaften wie die Durchlässigkeit und die Frostsicherheit zu prüfen ist oder nicht. Das vorliegende Forschungsprojekt sowie auch frühere VSS-Studien zeigten auf, dass die bisherigen einfachen Kriterien bzw. Schwellenwerte, welche im Wesentlichen auf der Betrachtung des Feinanteils (Siebdurchgang bei 0.063 mm) in der Gesamtprobe beruhen, hierfür nicht ausreichend sind. Vielmehr zeigt sich, dass die Verdichtungseigenschaften – also die Kenngrössen, welche typischerweise mittels Proctorversuch ermittelt werden – wesentlich relevanter zu sein scheinen.

Résumé

Dans un passé récent, divers dégâts sur des routes suisses causés par des soulèvements dus au gel ont pu être mis en relation avec une perméabilité à l'eau insuffisante de la couche de fondation non liée sous la superstructure bitumineuse. C'est pourquoi, lors de la révision de la SN EN 13285 et de la VSS 70 119 pour l'assurance qualité des graves non traitées, la propriété de la "perméabilité à l'eau" a été nouvellement ancrée dans les normes dès 2021. Pour la définition de valeurs limites ou d'exigences, il manquait toutefois jusqu'à présent des valeurs empiriques pour les valeurs caractéristiques déterminées en laboratoire et leur transposition dans la pratique. Le présent projet de recherche avait donc pour objectif d'élaborer les bases pour la définition d'exigences de performance en matière de perméabilité et de spécifier en même temps la méthode d'essai pour l'application sur des graves non traitées. L'idée du projet reposait sur le principe de base d'un "état des lieux" en tenant compte d'un choix d'échantillons aussi représentatif que possible de graves non traitées qui ont fait leurs preuves jusqu'à présent dans la pratique de la construction routière en Suisse et sur lesquels le comportement de drainage peut être testé en détail en laboratoire. Les résultats devaient en outre servir à mettre en évidence d'éventuelles corrélations avec d'autres propriétés (par exemple avec la sensibilité au gel).

Le travail de recherche comprenait 3 phases de projet :

- La première phase a été consacrée à l'évaluation et à la collecte de données par le biais d'une enquête auprès de différents acteurs de la construction routière (fournisseurs, entreprises, maîtres d'ouvrage et laboratoires d'essais). Ces enquêtes avaient notamment pour but d'identifier les matériaux appropriés pour les essais en laboratoire qui ont suivi. En outre, des informations sur le comportement à l'utilisation et sur les expériences faites avec des graves disponibles au niveau régional ont été collectées dans la pratique de la construction routière.
- La deuxième phase comprenait la partie méthodologique. La méthode d'essai à utiliser pour la détermination de la perméabilité à l'eau (la détermination de la valeur k selon la norme SN EN ISO 17892-11) a été vérifiée à l'aide d'essais de répétabilité et de reproductibilité et spécifiée pour l'utilisation sur des graves non traitées. Les essais en laboratoire ont été réalisés dans deux laboratoires accrédités différents, en veillant à ce que la reproductibilité soit suffisamment bonne.
- Enfin, la troisième phase a consisté à "faire le point" sur les 13 matériaux types sélectionnés. Outre la détermination de la perméabilité à l'eau dans différentes conditions d'essai, des essais de sensibilité au gel (essais CBR) ont été réalisés en complément.

Dans le cadre de la collecte de données, les caractéristiques d'un total de 38 graves non traitées ont été rassemblées. Les données proviennent de toutes les régions géographiques de Suisse et représentent également les principales provenances géologiques (Jura, Plateau suisse, Préalpes et régions alpines du Valais, du Tessin et des Grisons). Sur la base des données collectées, 13 "matériaux types" ont été identifiés, échantillonnés et caractérisés pour les études ultérieures. Ce faisant, nous avons veillé à prendre en compte une diversité aussi large que possible, tant sur le plan régional que sur le plan pétrographique. Les matériaux choisis comprenaient des matériaux extraits de gravières (aussi bien des mélanges de grains ronds que des matériaux concassés), des matériaux rocheux des carrières et des granulats recyclés contenant du béton de démolition (RC-Grave de granulats béton et RC-Grave B). Les 13 matériaux représentent un large éventail de types de matériaux, mais conservent néanmoins un caractère d'échantillon compte tenu du cadre du projet et de la très grande diversité des produits de l'industrie suisse des granulats. En ce qui concerne la répartition granulométrique, il n'a pas été possible de prendre en compte les granulats très fins dont la teneur en fines se situe entre 8 et 12 %-pds. De tels mélanges de graviers sont toutefois plutôt rares sur le marché et ne sont donc pas forcément pertinents pour des produits représentatifs "conformes à la norme" et "utilisés avec succès".

La deuxième phase méthodologique du projet a permis de démontrer que la méthode d'essai définie dans la norme SN EN 13285 selon la norme SN EN ISO 17892-11 est en principe adaptée à la détermination de la perméabilité des graves lors d'essais en laboratoire. En même temps, il s'est avéré qu'une reproductibilité suffisante dans les essais de laboratoire n'est atteinte que si l'on tient compte d'une série de conditions de base différentes. Dans le cadre du projet, de nombreux essais ainsi qu'une recherche bibliographique détaillée a été réalisés. Divers éléments importants pour l'obtention d'une bonne qualité de données ont été identifiés. La définition de la fabrication de l'éprouvette en est un élément central. Il est recommandé de contrôler le compactage par une quantité d'échantillon définie avec précision ("masse volumique sèche cible") et d'utiliser une teneur en eau correspondant à 70% de la teneur en eau optimale selon l'essai Proctor. Sur la base des résultats, un guide de travail a été élaboré, qui doit servir de base pour pouvoir déterminer la perméabilité à l'eau des graves non traitées dans les laboratoires avec une reproductibilité satisfaisante.

Une fois la partie méthodologique terminée, la perméabilité (valeurs k) a été déterminée en laboratoire sur les 13 matériaux types sélectionnés. L'influence des différents degrés de compactage a également été testée (sur la base de l'énergie de compactage nominale de l'essai Proctor précédent de 0.6 MJ/m^3 "Proctor-standard" et de 1.2 MJ/m^3 comme appliqué en Suisse pour les essais CBR). Les graves étudiés présentent des valeurs k comprises entre $1.9 \cdot 10^{-6}$ et $2.8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ (compactage standard de 0.6 MJ/m^3). Les valeurs k déterminées pour un compactage identique à celui des essais CBR (énergie de compactage nominale de 1.2 MJ/m^3) se situent, comme on pouvait s'y attendre, dans une plage légèrement inférieure, soit entre $5.6 \cdot 10^{-7}$ et $3.9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Dans le but d'harmoniser les conditions d'essai pour le contrôle de la production en usine, il est recommandé de continuer à tester la perméabilité des graves non traitées avec un compactage nominal de 1.2 MJ/m^3 .

Une analyse plus approfondie des résultats de l'étude a montré que la compacité (compactage et teneur en pores qui en résulte) du matériau testé constitue une variable déterminante pour la perméabilité à l'eau. En considérant toutes les données, on constate une tendance à la diminution de la perméabilité, comme on pouvait s'y attendre, lorsqu'un matériau présente une "volonté de compactage" plus élevée pour une énergie de compactage définie. En même temps, il faut noter que pour d'autres propriétés - en particulier les caractéristiques de la distribution granulométrique - les corrélations sont très faibles. Outre la courbe granulométrique, la perméabilité est influencée par une multitude d'autres facteurs qui se superposent souvent. Il s'est avéré en particulier que la proportion de fines dans l'échantillon total d'une grave n'est pas un critère fiable pour estimer la perméabilité des mélanges non agglomérés. L'analyse des données a montré qu'il en va de même pour la portance en laboratoire (essais CBR), qui est finalement utilisé pour évaluer la résistance au gel. L'utilisation de la teneur en fines comme valeur seuil pour décider si une grave non traitée doit être testée en termes de perméabilité ou de résistance au gel doit donc être fondamentalement remise en question (d'autant plus que la teneur en fines dans le matériau total 0/D ne permet pas de tirer une conclusion directe sur la teneur relative en fines de la classe granulaire 0/16 mm testée en laboratoire).

Les résultats de l'étude soulèvent donc également de nouvelles questions qui devraient être analysées de manière plus approfondie pour le développement futur des normes. Un point central est ici la question de la base sur laquelle on décide, lors du contrôle de production, si une grave doit être testée ou non quant à ses propriétés d'aptitude à l'emploi telles que la perméabilité et la résistance au gel. Le présent projet de recherche ainsi que des études antérieures de la VSS ont montré que les critères simples ou les valeurs seuils utilisés jusqu'à présent, qui reposent essentiellement sur l'observation de la fraction fine dans l'échantillon global (passage au tamis à 0.063 mm), ne sont pas suffisants à cet égard. Il s'avère au contraire que les propriétés de compactage - c'est-à-dire les paramètres qui sont typiquement déterminés au moyen d'un essai Proctor - semblent être beaucoup plus pertinents.

Summary

Various recent cases of damage on Swiss roads caused by frost heave could be linked to insufficient water permeability of the unbound foundation layer under the bituminous superstructure. For this reason, the property of "water permeability" was newly anchored in the set of standards in the revision of SN EN 13285 and VSS 70 119 for the quality assurance of unbound mixtures in 2021. However, the empirical values for the characteristic values determined in the laboratory and their transferability to practice have been lacking up to now for the definition of limit values or requirements. The aim of this research project was therefore to develop the basis for defining performance requirements for permeability and, at the same time, to specify the test procedure for the application of unbound mixtures. The project idea was based on the basic principle of a "case study", taking into account a choice of unbound mixtures that is as representative as possible, which have so far proven themselves in practice in Swiss road construction and on which the drainage behaviour can be tested in detail in the laboratory. The results should also serve to show any correlations with other properties (e.g. with frost sensitivity).

The research work comprised 3 project phases:

- The first phase served to evaluate and collect data by means of a survey of various players in road construction (producers, companies, public owners and testing laboratories centres). One of the aims of these surveys was to identify suitable materials for the subsequent laboratory tests. In addition, information was collected on the behaviour in use and on experiences with regionally available unbound mixtures from road construction practice.
- The second phase comprised the methodological part. The test method to be used for determining water permeability (determination of the k-value according to SN EN ISO 17892-11) was verified and specified for use on unbound mixtures by means of repeatability and reproducibility tests. The laboratory tests were carried out in two different accredited testing laboratories, with a focus on sufficiently good reproducibility.
- Finally, in the third phase, the "case study" was carried out on the 13 selected type materials. In addition to determining the water permeability under various test conditions, frost sensitivity tests (CBR tests) were also carried out.

Within the scope of the data collection, characteristic data of a total of 38 unbound mixtures were collected. The data came from all geographical regions of Switzerland and also represented the most important geological provenances (Jura, Swiss Plateau, Pre-Alps and predominantly Alpine areas in Valais, Ticino and Grisons). Based on the collected data, 13 "type materials" were identified, sampled and characterised for further investigations. Care was taken to consider the broadest possible diversity, both regionally and petrographically. The selected materials included material extracted from gravel pits (both mixtures of round grains and crushed material), rock material from quarries and recycled aggregates containing concrete (RC gravel mixtures B and RC concrete granulate mixtures). The 13 samples represent a broad spectrum of material types, but nevertheless retain a "random sample character", taking into account the project framework and the simultaneously very large product diversity of the Swiss aggregates industry. Regarding the particle size distribution, it was not possible to consider the very fine-grained range in particular, with fine fractions between 8 and 12 mass %. However, such gravel mixtures are rather rare on the market and thus not necessarily relevant for representative "standard-compliant" and "successfully used" products.

In the second, methodological phase of the project, it was shown that the test procedure according to SN EN ISO 17892-11, which is specified in SN EN 13285, is basically suitable for determining the permeability of unbound mixtures in laboratory tests. At the same time, it was shown that sufficient reproducibility in the laboratory test is only achieved if several different boundary conditions are observed. Within the framework of the project, extensive repeatability and reproducibility tests as well as a detailed literature research were carried out. Various elements were identified that are important for achieving good data quality. A central element is the definition of the specimen compaction. It is recommended to control

the compaction via a precisely defined sample quantity ("target dry density") and to use an water content during compaction that corresponds to 70% of the optimum water content according to the Proctor test. Based on the results, a working instruction was prepared, which should serve as a basis to be able to determine the water permeability of unbound mixtures in the testing labs with satisfactory reproducibility.

After completion of the methodological part, the permeability (k-values) was determined on the 13 selected type materials in laboratory tests. The influence of different degrees of compaction was also tested (based on the nominal compression energy of the previous Proctor test of 0.6 MJ/m^3 "Proctor standard" and 1.2 MJ/m^3 as applied in Switzerland for the CBR tests). The investigated mixtures show k-values in the range of $1.9 \cdot 10^{-6}$ to $2.8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ (standard compaction of 0.6 MJ/m^3). The k-values determined with the same compaction as in the CBR tests (nominal compaction energy 1.2 MJ/m^3) are, as expected, in a somewhat lower range of $5.6 \cdot 10^{-7}$ to $3.9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. In the sense of harmonising the test conditions for factory production control, it is recommended to continue testing the permeability of unbound mixtures at a nominal compaction of 1.2 MJ/m^3 .

A further in-depth analysis of the test results showed that the bulk density (compaction and resulting pore content) of the tested material is a decisive factor influencing the water permeability. There is a tendency for permeability to decrease, as expected, when a material shows a higher "willingness to compact" at a defined compaction energy. At the same time, it should be noted that for other properties - especially characteristic values of the particle size distribution - only very weak correlations are available. In addition to the screening curve, permeability is influenced by a number of other factors, which often overlap. Particularly, the proportion of fines in the total sample of an unbound mixture is not a reliable criterion for estimating the permeability of unbound mixtures. The data analyses showed that this also applies to the bearing behaviour (CBR tests) in the laboratory, which are ultimately used to assess frost resistance. The use of the fines content as a threshold value for deciding whether an unbound mixture must be tested in terms of permeability or frost resistance must therefore be fundamentally questioned (especially since the fines content in the total 0/D material does not allow any direct conclusion to be drawn about the relative fines content of the 0/16 mm grain class tested in the laboratory).

The results of the study therefore also raise new questions that should be analysed in greater depth for the future development of the set of standards. A central point here is the question of the basis on which it is decided in factory production control whether an unbound mixture is to be tested at all for serviceability properties such as permeability and frost resistance. The present research project as well as earlier VSS studies showed that the previous simple criteria or threshold values, which are essentially based on the consideration of the fine fraction (sieve passage at 0.063 mm) in the total sample, are not sufficient for this purpose. On the contrary, the compaction properties - i.e. the parameters that are typically determined by means of a Proctor test - appear to be much more relevant.

1 Ausgangslage

In den vergangenen Jahren wurde bei diversen Bauschäden auf Schweizer Strassen festgestellt, dass die eingebauten ungebundenen Gemische in der Foundationsschicht eine zu geringe Wasserdurchlässigkeit aufgewiesen haben. Die verwendeten Gemische erfüllten zwar die Anforderungen an die "Frostsicherheit" gem. damals geltender SN 670 119-NA resp. dem Nationalen Anhang (NA) zur SN EN 13285 [27] (Nachweis anhand von CBR-Versuchen), die betroffenen Strassenflächen wiesen jedoch trotzdem "frosttypische" Schadensbilder in Form von Rissen und Deformationen auf. Anhand von geotechnischen Gutachten konnte die Ursache jeweils auf eine unzureichende Entwässerung von eindringendem bzw. bereits in den Kiesgemischen enthaltenem Wasser und damit verbundene Frosthebungen im Winterhalbjahr zurückgeführt werden. Diese Umstände veranlassten u.a. die Ämter der Kantone Aargau und Zürich, nebst den CBR-Versuchen zusätzliche kantonale Anforderungen an die "Wasserdurchlässigkeit" bei der Qualitätsprüfung von ungebundenen Gemischen zu erlassen (siehe [2] und [3]).

Die Wasserdurchlässigkeit bzw. Entwässerung von ungebundenen Gemischen wurde im bisherigen Normenwerk für Foundationsschichten im Strassenbau (vor 2021) nicht spezifisch thematisiert und Anforderungen gab es keine. Die "Wasserempfindlichkeit" wurde lediglich indirekt, mittels CBR-Versuchen berücksichtigt (Tragfähigkeitseinbussen infolge Wasserlagerung und nach Frosteinwirkung).

Bei der Überarbeitung der SN 670 119-NA und der SN EN 13285 [27] aus den Jahren 2011 resp. 2010 wurde in der zuständigen Normierungs- und Forschungskommission (NFK) 3.8 des VSS die Einführung von Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit diskutiert. Die Grundlagen zur Festlegung konkreter Grenzwerte fehlte zu diesem Zeitpunkt jedoch weitgehend. Einerseits waren nur wenige Erfahrungswerte für die im Labor bestimmten Kennwerte und deren Übertragbarkeit auf die "Entwässerungsleistung" der auf der Baustelle eingebauten Gemische vorhanden. Zudem war bis anhin auch kein harmonisiertes Laborprüfverfahren für einen derartigen Nachweis vorhanden. Diese Punkte zeigten den Forschungsbedarf in diesem Feld auf und resultierten im vorliegenden Forschungsprojekt.

In der Zwischenzeit (Ende 2021) wurden die neuen Anforderungsnormen betreffend Inverkehrbringung (SN EN 13285 [42]) und technischer Anforderungen (VSS 70 119 [41]) publiziert. In beiden Normen ist die Wasserdurchlässigkeit neu als explizite Materialeigenschaft enthalten und muss im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle – je nach Materialart und -zusammensetzung – deklariert werden (siehe Details in Kapitel 3). Konkrete Anforderungen (bzw. Grenzwerte) an die Wasserdurchlässigkeit sind jedoch mangels Grundlagen nach wie vor nicht festgelegt worden.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden die oben erwähnten, bisher unzureichend bekannten bzw. zu wenig spezifizierten Punkte adressiert. Zum einen wurde in einem labortechnischen bzw. methodologischen Teil das in der SN EN 13285 [42] referenzierte Prüfverfahren (Durchlässigkeitsversuch nach SN EN ISO 17892-11 [30]) für die Anwendung von ungebundenen Gemischen optimiert und spezifiziert. Zum anderen wurde an ausgewählten "Typ-Materialien" Durchlässigkeitsversuche durchgeführt, um so die fehlenden Erfahrungswerte zu sammeln, welche später für die Interpretation der Wasser- und Frostempfindlichkeit ungebundener Gemische und die Festlegung allfälliger Grenzwerte benutzt werden können.

2 Zielsetzung

In Anbetracht der in der Ausgangslage (Kapitel 1) dargelegten Sachverhalte, ist das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit, Grundlagen für eine künftige Festlegung von Leistungsanforderungen an die Wasserdurchlässigkeit von ungebundenen Gemischen zu erarbeiten und so die Qualitätssicherung dieser für den Verkehrswegebau wichtigen Baustoffe zu verbessern. Die Forschungsarbeit soll zu folgenden Fragestellungen Antworten liefern:

- Wie ist die gewählte Labormethode zu spezifizieren, damit aussagekräftige und vergleichbare Laborresultate erzielt werden können?
- Wie verhalten sich "typische", in der Praxis bisher erfolgreich eingesetzte ungebundene Gemische punkto Entwässerung im Laborversuch?
- Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der Wasserdurchlässigkeit und anderer, im Labor bestimmter Materialkenngrößen, insbesondere im Zusammenhang mit der Prüfung der Frostepfindlichkeit gemäss CBR-Versuchen?
- Können anhand des gewählten Laborprüfverfahrens Anforderungen bzw. Grenzwerte für die Wasserdurchlässigkeit von ungebundenen Gemischen formuliert werden?

3 Stand der Forschung und Normierung

3.1 Grundlagen zur Wasserdurchlässigkeit und Frostempfindlichkeit

Frostschäden in Strassen entstehen, wenn gefrierendes Wasser im Strassenoberbau zu Hebungen und Rissbildungen auf dem Strassenbelag führen. Für die Beschreibung der dafür verantwortlichen physikalischen Vorgänge wird in der Geotechnik grundsätzlich zwischen zwei Prozessen, dem homogenen und nicht homogenem Bodenrost unterschieden (z.B. Schmitt et al., 2021 [11]).

Am kritischsten ist der nicht homogene ("geschichtete") Bodenrost in feinkörnigen bzw. "bindigen" Böden. Aufgrund der kapillaren Saugfähigkeit des Lockergesteins können sich in solchen Böden Eislinen bilden, welche in Frostperioden zu massiven Frosthebungen führen können. Solche Linen entstehen durch einen kapillaren "Pumpeffekt", bei dem zusätzliches Wasser aus dem Untergrund oder durch seitliche Zuflüsse zum Ort der Eisbildung transportiert wird und so die Hebungen mit der Zeit noch zusätzlich akzentuieren. Eislinenbildungen treten typischerweise in feinkörnigen Böden oder stark siltigen Sanden und Kiesen auf (also Materialien, welche i.d.R. in der Foundationsschicht von Strassen nicht eingesetzt werden). In der folgenden Tauperiode kollabieren die Eislinen was zu Tragfähigkeitsverlusten und ggf. Entstehung von Schlaglöchern im darüberliegenden Strassenaufbau führen kann. Die Frostempfindlichkeit von Böden und der Prozess der Eislinenbildung sind sehr komplex. Als Grundvoraussetzung muss eine Wasserquelle vorhanden sein, welche die Akkumulation bzw. "Sammelkristallisation" ermöglicht (siehe oben). Zusätzlich müssen folgende Einflussgrössen beachtet werden (Plehm, 2013, [1]):

- Korngrössenverteilung
- Kornform
- Mineralogische Zusammensetzung des Feinanteils (insbesondere Tonmineralien)
- Verdichtungsgrad (bzw. Porosität)
- Porenwasserdruck an der Eisfront
- Wasserdurchlässigkeit

Grundsätzlich sind Silte und siltige Sande in Bezug auf Eislinenbildungen als am kritischsten einzustufen. Tonige Böden sind weniger kritisch. In solchen kann sich zwar eine hohe kapillare Saugspannung entwickeln. Aufgrund der sehr geringen Durchlässigkeit sind die Wassertransportraten jedoch so klein, dass ausreichend grosse Wasserbewegungen für eine Eislinenbildung während einer Frostphase verunmöglicht werden (siehe z.B. Holtz et al., 2011 [7]). Auf diesen Kriterien basiert z.B. auch die Einteilung der Frostempfindlichkeitsklassen für Böden nach USCS in der Schweizer Norm VSS 70 140 [43].

Homogener (gleichmässig verteilter) Bodenrost tritt dagegen bei Lockergesteinen mit geringer Kapillarwirkung auf (im Wesentlichen bei Kiesen und Sanden). Infolge der volumetrischen Ausdehnung von Wasser beim Übergang von der flüssigen in die feste Phase beträgt die maximale potenzielle Frosthebung etwa 10% des vorhandenen Porenvolumens (im wassergesättigten Zustand). Dabei spielt der Sättigungsgrad eine zentrale Rolle (Yong & Warkentin, 1975 [6]): Bei niedrigen Sättigungsgraden wird die Ausdehnung des gefrierenden Eises durch die vorhandenen Luftporen kompensiert.

Das Auftreten von nicht homogenem Bodenrost und die Bildung von Eislinen in frostempfindlichem Baugrund wird im Strassenbau prinzipiell durch eine sachgemässe Dimensionierung des Strassenaufbaus vermieden. Dies bedingt, dass sich das Planum eines frostempfindlichen Untergrunds (oder Unterbaus) unterhalb der kritischen Frosttiefe befindet und darüber eine Foundationsschicht aus sog. "frostsicheren" ungebundenen Gemischen aufgebaut wird. Die Dimensionierung erfolgt in der Schweiz i.d.R. gemäss den Grundsätzen der Norm VSS 40 324 [44].

Die verbleibende "Frostempfindlichkeit" der Foundationsschicht ist abhängig von deren Zusammensetzung und von der Materialverdichtung (siehe auch Kapitel 4.3.2). Nicht homogener Bodenfrost mit grossvolumigen Eislinnenbildungen ist in Materialien, wie sie für die Herstellung von ungebundenen Gemischen verwendet werden (Kiesgemische mit maximal 12 Masse-% Silt und Ton) i.d.R. nicht zu erwarten, da die kapillare Saugspannung in solchen Lockergesteinen erwartungsgemäss gering ist.

Der homogene Bodenfrost, welcher auch in Kiesgemischen mit prinzipiell geringerer Kapillarität auftreten kann, wird im Strassenbau oft vernachlässigt (Wietek et al. 2017 [14]). Grundsätzlich haben Foundationsschichten im Strassenbau zwei Funktionen. Nebst der lastverteilenden, tragenden Eigenschaft müssen sie zusätzlich die Entwässerung des Strassenkörpers ausreichend gewährleisten (Dachroth, 2007 [10]). Dabei wirkt die Foundationsschicht als Flächendrainschicht und bei aufsteigender Bodenfeuchtigkeit zusätzlich als – idealerweise kapillarbrechende – Frostschuttschicht. Die in der Foundationsschicht eingebauten Gesteinskörnungsgemische müssen zudem durch ihr Wasseraufnahme- und Entwässerungsvermögen in der Lage sein, anfallende Wasserzuflüsse (z.B. von oben oder seitlich) ohne oberflächigen Aufstau abführen zu können (Floss & Berner, 1992 [18]). So schützt die Foundationsschicht den Strassenoberbau vor Frostschäden.

Allerdings haben verschiedene Untersuchungen (z.B. Kaltenböck et al., 1999 [17], Wolf, 2017 [2]) gezeigt, dass selbst bei Kiesgemischen je nach Silt- und Sandanteil nicht zu vernachlässigende kapillare Saugspannungen auftreten können. Daraus folgt, dass auch die im Strassenbau verwendeten ungebundenen Gemische, je nach Zusammensetzung, in erheblichem Masse Wasser ansaugen (aktive Kapillarität) oder zurückhalten (passive Kapillarität) können. In jüngster Zeit dokumentierte Schadenfälle (siehe Kapitel 5) lassen vermuten, dass der Problematik der "Entwässerungsleistung" vermehrt Beachtung geschenkt werden muss. Dies insbesondere bei "ungünstig" zusammengesetzten ungebundenen Gemischen, welche zwar die Normanforderungen punkto Korngrössenverteilung und Tragverhalten (CBR-Versuche) erfüllen, jedoch ggf. eine zu geringe Wasserdurchlässigkeit aufweisen.

3.2 Stand der Normung in der Schweiz

In der bis 2008 gültigen SN 670 120d [46] galt "Kiessand I" *a priori* als ausreichend durchlässig während für "Kiessand II" ein Durchlässigkeitsbeiwert (k -Wert) von mind. 10^{-3} m/s gefordert war. Ein standardisiertes Prüfverfahren war allerdings in der erwähnten Norm nicht beschrieben. Es wurde lediglich erwähnt, dass die Prüfung bei "optimaler Verdichtung nach AASHTO-Standard" durchzuführen ist. Die SN 670 120d [46] wurde im Jahr 2011 mit der Einführung der europäischen Normen durch die SN 670 119-NA [27] und die mitgeltenden SN EN 13242 (Gesteinskörnungen für ungebundene Gemische [49]) und SN EN 13285 (ungebundene Gemische) abgelöst. Mit dieser Ablösung verschwand auch die explizite Nennung der Eigenschaft der Wasserdurchlässigkeit. In der EN 13285:2010 [27] (Ziff. 4.5) wurde nur darauf aufmerksam gemacht, dass "unter bestimmten Umständen" die Durchlässigkeit berücksichtigt werden muss. Die überarbeitete EN 13285:2021 [42] (Ziff. 4.3.6) blieb diesbezüglich unverändert, wobei es heute heisst, dass die Wasserdurchlässigkeit "falls gefordert" zu berücksichtigen sei.

In der Schweiz wurde bis Ende 2021 die Thematik rund um die Einwirkung von Wasser auf das "Gebrauchverhalten" (Wasser- und Frostempfindlichkeit) von ungebundenen Gemischen somit nur noch indirekt, mittels verschiedener Tragfähigkeits-Laborversuche geprüft (CBR₁ ohne Nachbehandlung und CBR₂ nach 4-tägiger Wasserlagerung nach SN EN 13286-47 [45] sowie CBR_F nach Frosthebungsversuch gem. VSS 70 321 [38]). Als Kriterium bzw. Anforderung bei der Qualitätssicherung gilt, dass Tragfähigkeitseinbussen infolge der Einwirkung von Wasser und Frost maximal 50% der unmittelbar nach Verdichtung erzielten Tragfähigkeit betragen dürfen (Verhältnisse CBR₂/CBR₁ und CBR_F/CBR₁ ≥ 0.5).

In den Deutschen Regelwerken (z.B. TL SoB-StB 20; [28]) ist für "Tragschichten ohne Bindemittel" (in der Schweiz analog "ungebundene Foundationsschichten") ein minimaler k -Wert von 10^{-5} m/s festgelegt (Prüfung bei "Proctor-Standard"-Bedingungen). In Deutschland wurden in den letzten Jahren diverse Forschungsvorhaben durchgeführt, welche u.a. zum Ziel hatten, besser geeignete Feldversuche für Kontrollprüfungen der Wasserdurchlässigkeit zu etablieren. Ein guter Überblick hierzu ist in der Dissertation von M. Wolf (2014, Technische Universität Dresden; [2]) vorhanden. Auf die Details dieser Arbeiten wird in Kapitel 7 näher eingegangen. Zusammengefasst zeigen die vorhandenen Erfahrungen aus Forschung und Praxis, dass eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit eine wichtige Grundvoraussetzung für einen frostsicheren Strassenoberbau ist. Entwässerung und Frostbeständigkeit sind deshalb immer gemeinsam zu betrachten.

Mit der Inkraftsetzung der heute gültigen SN EN 13285:2021 [42] und der VSS 70 119 [41] wurde der Parameter der Wasserdurchlässigkeit – u.a. als Folge bekannt gewordener Schadenfälle (siehe Kapitel 1) – auch in der Schweiz wieder explizit ins Normenwerk mit einbezogen. Die beiden Normen wurden von der VSS am 31.10.2021 publiziert. Die SN EN 13285:2021 [42] regelt die Inverkehrbringung von ungebundenen Gemischen und legt die anzuwendenden Prüfverfahren fest. Die VSS 70 119:2021 [41] definiert die technischen Lieferanforderungen, d.h. die spezifischen Leistungsanforderungen und -grenzwerte. Für die Wasserdurchlässigkeit wird zurzeit lediglich das anzuwendende Prüfverfahren (siehe unten) definiert und eine Deklaration der Eigenschaft gefordert. Konkrete Anforderungen bzw. Grenzwerte sind – mit Ausnahme von Kiessand PSS für den Gleisbau – nicht enthalten. Deren Festlegung ist eine der Zielsetzungen der vorliegenden Forschungsarbeit.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass auf kantonaler Ebene bereits vorher Regelungen erarbeitet wurden, welche auch konkrete Anforderungen enthalten. So hat das Tiefbauamt des Kantons Aargau z.B. bereits im Mai 2019 eine Richtlinie publiziert [23], welche Grenzwerte für die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen im Strassenbau definiert. Dabei soll nach Möglichkeit ein Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von $k = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s angestrebt werden (siehe **Abb. 1**). In der aktuell gültigen und überarbeiteten Fassung der Richtlinie [23] wird auch eine Prüfverfahren angegeben, welches sich mit einer vereinfachten Prüfung im Proctortopf B an die SN EN ISO 17892-11 [30] anlehnt.

k-Wert [m/s]			
$\geq 1 \times 10^{-6}$	1×10^{-7}	1×10^{-8}	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Durchlässig; keine Massnahmen	schwach durchlässig; erhöhtes Risiko für Folgeschäden	schlecht durchlässig; erhöhtes Risiko für Folgeschäden	undurchlässig; sehr hohes Risiko für Folgeschäden
	Verlängerung Gewährleistung (7 Jahre)	Abzug 20% auf Einbautonnage; Verlängerung Gewährleistung (7 Jahre)	Ersatz (Aufwendungen zu Lasten UN)

Abb. 1 Anforderungen an die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen für den Strassenbau gem. den kantonalen Vorgaben des Tiefbauamts des Kantons Aargau (Stand 01.06.2022 [23])

Grundsätzlich ist jedoch festzuhalten, dass Erfahrungen zu im Labor ermittelten k -Werten von in der Schweiz verwendeten ungebundenen Gemischen bisher weitgehend fehlten. Dies nicht zuletzt deshalb, weil auch kein standardisiertes Prüfverfahren vorhanden war (siehe Kapitel 1). Mit der SN EN ISO 17892-11:2019 "Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit" [29] wurde eine neue Norm ins Schweizer Normenwerk übernommen, welche die Durchführung von Laborversuchen zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit erstmals einheitlich regelt. Das Verfahren basiert auf der Grundlage der DIN 18130-1 [31], welche beispielsweise auch in Deutschland für die Prüfung von

ungebundenen Gemischen im Strassenbau angewendet wird (siehe TL SoB-Stb 20 [28]). Die Voraussetzungen bzw. die Rahmenbedingungen für eine standardisierte Qualitätsprüfung waren also nunmehr gegeben. Eine Spezifizierung, unter welchen konkreten Laborbedingungen ungebundene Gemische geprüft werden sollen, ist bis anhin jedoch nicht definiert und wurde deshalb im Rahmen der vorliegenden Forschung als Zielsetzung definiert.

Die Entscheidung, ob ein ungebundenes Gemisch bezüglich Frostsicherheit – und seit 2021 nun auch punkto Wasserdurchlässigkeit – geprüft werden muss oder nicht, wird seit Einführung der SN 670 120d [46] im Jahr 1999 auf der Basis der mittels Siebanalyse ermittelten Korngrössenverteilung getroffen (siehe hierzu auch Details in Wietek et al. 2017 [14]). Dabei wird allerdings lediglich der im ungebundenen Gemisch enthaltene Feinanteil (Siebdurchgang bei 0.063 mm) berücksichtigt. In der SN 670 120d [46] wurde zwischen Kiessand I und II unterschieden. Während bei Kiessand I nur Gemische mit mehr als 3% Feinanteilen zu prüfen waren, musste bei Kiessand II CBR-Versuche unabhängig vom Feinanteil durchgeführt werden. Mit der Einführung der SN 670 119-NA [27] im Jahre 2009 wurde hierfür ein allgemein gültiger Schwellenwert von 3 Masse-% festgelegt. Anhand einer umfangreichen Studie von zwischenzeitlich vorhandenen Daten aus der Qualitätssicherung in der Schweiz zeigten Wietek et al. (2017) [14], dass – zumindest für ungebundene Gemische aus natürlichen Gesteinskörnungen – dieser Schwellenwert von 3 auf 5 % angehoben werden kann, ohne dass es zu Qualitätseinbussen im Strassenbau kommen sollte. Dies wurde bei der Erarbeitung der heute gültigen SN EN 13285:2021 [42] und VSS 70 119:2021 [41] berücksichtigt. Seither wird sowohl für den Nachweis der Frostsicherheit als auch der Wasserdurchlässigkeit zwischen ungebundenen Gemischen aus natürlichen und rezyklierten (inkl. industriell hergestellten) Gesteinskörnungen unterschieden. Bei natürlichen Kiesgemischen müssen beide Eigenschaften deklariert werden, sobald der Feinanteil über 5 Masse-% liegt. Bei rezyklierten oder industriell hergestellten Gesteinskörnungen ist nach wie vor eine Prüfung bei einem Feinanteil > 3 Masse-% erforderlich.

Basierend auf den Erkenntnissen des Forschungsprojekts VSS 2011/508 (Rütti & Angst, 2021 [22]) wurde bei der Überarbeitung der Normen zudem neu wieder Anforderungen an Absolutwerte an den Tragfähigkeitsindex festgelegt, wobei der kleinere Wert aus den Versuchen CBR_1 (unmittelbare Tragfähigkeit) und CBR_2 (Tragfähigkeit nach 4 Tagen Wasserlagerung) massgebend ist. Der in der VSS 70 119:2021 [41] festgelegte Mindestwert beträgt 40%. Diese Anforderung ist identisch mit der früheren, bereits in der alten SN 670 120d [46] definierten Anforderung, welche zwischenzeitlich in der SN 670 119-NA [27] fallen gelassen wurde. Diese Anforderung an einen minimalen CBR-Wert hat vordergründig zum Ziel, dass ungebundene Gemische als "nicht konform" eingestuft werden können, wenn zwar die Einwirkung von Frost und/oder Wasser scheinbar unproblematisch ist (also CBR_2/CBR_1 und $CBR_F/CBR_1 \geq 0.5$), jedoch die im Labor ermittelte "absolute" Tragfähigkeit unter einem gewissen Grenzwert liegt.

In der Studie von Rütti & Angst (2021) [22] wurde ebenfalls untersucht, ob gegebenenfalls die Anforderungen an die CBR-Verhältnisse (CBR_2/CBR_1 und CBR_F/CBR_1) angehoben werden sollen (z.B. ≥ 0.7). Auch wurde geprüft ob ergänzende Kriterien wie z.B. die Frosthebungen während des CBR_F -Versuchs für Qualitätssicherungszwecke verwendet werden könnten. Die Ergebnisse der entsprechenden Laborversuche lieferten hierzu jedoch keine eindeutigen Erkenntnisse. Deshalb wurden für die heutige VSS 70 119 [41] die bisher gültigen Kriterien zur Beurteilung der Wasserempfindlichkeit ($CBR_2/CBR_1 \geq 0.5$) und Frostsicherheit ($CBR_F/CBR_1 \geq 0.5$) unverändert beibehalten.

Für die Weiterentwicklung des Normenwerks sollen mittelfristig auch Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit festgelegt werden. Der konkrete Forschungsbedarf für die Qualitätssicherung von ungebundenen Gemischen bestand im Vorfeld des vorliegenden Projekts vordergründig darin, die Zusammenhänge von Wassergehalt, Wasserdurchlässigkeit und Frostbeständigkeit zuerst einmal unter einheitlichen Bedingungen zu erheben. Hierzu sind möglichst repräsentative Erfahrungswerte von in der Schweiz erfolgreich verwendeten Kiesgemischen notwendig. Erst wenn eine solche Standortbestimmung vorliegt, können konkrete Festlegungen für die Durchlässigkeitsprüfung und Anforderungen an k-Werte in Erwägung gezogen werden. Diese Aspekte gehören nebst der Spezifizierung des Prüfverfahrens zu den Hauptzielen des Forschungsprojekts.

4 Vorgehen

Um die in Kapitel 2 definierten Ziele zu adressieren, wurden 3 Projektphasen definiert:

- Phase I – Datenerhebung und Materialauswahl
- Phase II – Spezifizierung des Prüfverfahrens
- Phase III – Standortbestimmung im Labor

Der Inhalt der 3 Projektphasen wird im Folgenden erläutert.

4.1 Evaluierung

Um die definierten Fragestellungen zu beantworten, mussten vordergründig geeignete Materialien identifiziert werden, anhand derer die Aspekte rund um die Durchlässigkeits- und Frostthematik angegangen werden konnten. Hierzu wurde zuerst eine Befragung (kleine "Marktstudie") bei Produzenten, Unternehmern, Bauherren und Prüfstellen aus der ganzen Schweiz zum "Gebrauchsverhalten" und zu Erfahrungen mit regional verfügbaren ungebundenen Gemischen aus der Strassenbaupraxis durchgeführt (siehe Kapitel 5). Diese Umfrage hatte einerseits zum Ziel, einen Überblick zu den derzeit im Strassenbau erfolgreich eingesetzten Materialsorten zu erarbeiten. Nebst Erfahrungen aus der Baupraxis wurden die verschiedenen regionalen Provenienzen (petrographische Zusammensetzung) und die Verfügbarkeit der Produkte berücksichtigt. Mit der Umfrage wurde ebenfalls versucht, weitere Informationen zu Schadenfällen im Zusammenhang mit der Durchlässigkeit von Foundationsschichten im Strassenbau zu sammeln.

Die Erkenntnisse der Umfrage wurden schliesslich dazu verwendet, sogenannte "Typ-Materialien" zu identifizieren. Das Vorgehen wurde explizit so definiert, dass diese Typ-Materialien möglichst gut charakterisierte, "normkonforme" ungebundene Gemische abdecken, anhand derer die Leistungsfähigkeit punkto Wasserdurchlässigkeit näher angeschaut werden kann. Mit diesen Materialien sollte also im Labor eine "Standortbestimmung" zu den Zusammenhängen zwischen der Wasser- und Frostopfindlichkeit (CBR-Versuche) und der Wasserdurchlässigkeit (k-Werte) durchgeführt werden, mit dem Ziel ein möglichst breites Spektrum an heute im Strassenbau erfolgreich eingesetzten ungebundenen Gemischen abzudecken. Gleichzeitig diente dieses Vorgehen dazu, dass künftig anzuwendende Laborprüfverfahren auf einer möglichst breiten Anwendungsbasis zu spezifizieren.

Ebenfalls zur Phase I gehörte die Materialcharakterisierung. Hierbei wurde die Korngrössenverteilung aller ausgewählten Materialien bestimmt sowie die Zusammensetzung und Korneigenschaften charakterisiert (Kornform, Petrographie und stoffliche Zusammensetzung). Zudem wurden die als Grundlage für die Wasserdurchlässigkeits- und Tragfähigkeitsversuche benötigten Verdichtungsversuche (Proctorversuch nach SN EN 13286-2 [37]) durchgeführt.

4.2 Phase II – Spezifizierung des Prüfverfahrens

Die aktuelle SN EN 13285:2021 [42] definiert mit dem Verweis auf die SN EN ISO 17892-11 [30] das Prüfverfahren, welches für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von ungebundenen Gemischen anzuwenden ist. In der Laborpraxis zeigte sich allerdings (z.B. Ringversuch der Vereinigung akkreditierter Baulstoffprüflabors, nicht publizierter Daten aus dem Jahr 2021) [16], dass für eine zielsichere und reproduzierbare Prüfung das Verfahren in wesentlichen Punkten spezifiziert werden muss. Zu diesem Zweck waren im

Rahmen des Projekts Vergleichsversuche zwischen den beiden beteiligten Prüfstellen (BSL Baustofflabor AG und TFB AG) vorgesehen. Im Projektverlauf wurde rasch deutlich, dass diesem Aspekt ein höheres Gewicht beigemessen werden muss als ursprünglich geplant. Entsprechend wurden bei der Ausführung im Einvernehmen mit der Begleitkommission des Forschungsprojekts entsprechende Zeit- und Budgetressourcen in diese Projektphase investiert.

4.3 Phase III – Standortbestimmung im Labor

Sobald eine zufriedenstellende Prüfspezifikation erreicht war (Phase II) wurde mit der eigentlichen Standortbestimmung im Labor begonnen. Dabei wurden 2 Teilaspekte angeschaut:

- Das Niveau der im Labor bestimmten Wasserdurchlässigkeit in Abhängigkeit der gewählten Verdichtungsenergie
- Die Korrelation zwischen der im Labor bestimmten Wasserdurchlässigkeit und dem Tragverhalten inkl. Einwirkungen infolge Frost (CBR₁ und CBR_F-Versuche)

Diese beiden Teilaspekte werden im Folgenden kurz erläutert.

4.3.1 Wasserdurchlässigkeit «Standardverdichtung» vs. «CBR-Verdichtung»

Bei der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit ist generell die Verdichtung bzw. der "Verdichtungsgrad" des Lockergesteins und damit die erzielte Trockendichte des Gemischs von entscheidender Bedeutung. Je höher die Dichte des Gemischs, desto kleiner der zur Verfügung stehende Porenraum und desto kleiner die zu erwartende Durchlässigkeit (siehe z.B. Wolf, 2014 [2] und dort zitierte Arbeiten). In vielen Anwendungsbereichen ausserhalb der "ungebundenen Gemischen" nach SN EN 13285 [42] wird die Durchlässigkeit typischerweise bei einem Verdichtungsgrad bestimmt, welcher der maximalen Trockendichte aus einem Proctor-Standardversuch nach SN EN 13286-2 [37] entspricht. Diese Verdichtung entspricht einer volumenbezogenen Verdichtungsenergie von rund 0.6 MJ/m³. Diese Bedingungen werden u.a. für Kiessand PSS im Gleisbau (R RTE 21110 [12]), für mineralische Abdichtungen im Deponiebau (SIA 203 [32]) oder für ungebundene Schichten im Sportplatzbau (z.B. DIN 18035-4 [33]) angewendet.

Demgegenüber werden CBR-Versuche an ungebundenen Gemischen für den Strassenbau (und somit auch der zugehörige Proctorversuch) im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrollen in der Schweiz schon seit der SN 670 120d [46] stets bei einer doppelt so hohen Verdichtungsenergie (1.2 MJ/m³) geprüft. Im Rahmen der Erarbeitung der heute gültigen SN EN 13285 [42] wurde das Vorgehen harmonisiert und so festgelegt, dass alle 3 Versuchsarten (Proctor-, CBR- und Durchlässigkeitsversuche) bei derselben, höheren (1.2 MJ/m³) Verdichtungsenergie durchgeführt werden. Einerseits soll so der Leistung von moderneren Verdichtungsgeräten im Strassenbau Rechnung getragen werden, welche heute höher ist als bei der Entwicklung des Proctorversuchs in den 1960er-Jahren. Andererseits bringt eine Vereinheitlichung auch Vorteile für den Prüfaufwand bei der Qualitätssicherung. Würden Durchlässigkeit und CBR-Versuche bei unterschiedlicher Verdichtung geprüft, müssten vorgängig konsequenterweise auch zwei separate Proctorversuche als Grundlage ausgeführt werden. Dem wird entgegengewirkt, indem für alle Versuche dieselben Prüfbedingungen gelten.

Bei der künftig geplanten Festlegung von Anforderungen an die Durchlässigkeit muss der Verdichtungsgrad also mitberücksichtigt werden. Um die Unterschiede bzw. den Einfluss der unterschiedlichen Verdichtungsenergien aufzuzeigen, wurden deshalb im Rahmen der Standortbestimmung Durchlässigkeitsversuche bei Referenz-trockendichten durchgeführt, welche sowohl einer "Standardverdichtung" bei 0.6 MJ/m³ als auch der in der Schweiz für CBR-Versuchen üblichen 1.2 MJ/m³ entsprechen.

4.3.2 Korrelation Wasserdurchlässigkeit und Tragverhalten (inkl. CBR_F-Versuch)

Im zweiten Teil wurde an ausgewählten Proben untersucht, inwiefern Korrelationen zwischen der Wasserdurchlässigkeit und dem Tragverhalten der Gemische bestehen. Letztere werden im Rahmen der WPK dazu verwendet, die Frostsicherheit von ungebundenen Gemischen zu beurteilen. Es wurden also zusätzlich Versuche zur Ermittlung der Tragfähigkeitsindices CBR₁ (Tragfähigkeit unmittelbar nach Verdichtung) und CBR_F (Tragfähigkeit nach Frosthebungsversuch gem. VSS 70 321 [38]) durchgeführt. Da im Verlauf des Projekts klar wurde, dass Phase II (Spezifizierung des Prüfverfahrens) mehr Mittel benötigte als ursprünglich geplant (siehe Kap. 7), musste dieser Teil der Phase III gegenüber dem Projektplan etwas gekürzt werden. Die CBR-Versuche wurden deshalb nur an 6 Materialtypen durchgeführt (eine nachträglich beim ASTRA beantragte Zusatzfinanzierung, um sämtliche Proben untersuchen zu können wurde abgelehnt). Gleichzeitig wurde auch auf die zusätzliche Prüfung der Wasserempfindlichkeit (CBR₂ nach 4-tägiger Wasserlagerung) verzichtet.

Ein Vergleich zwischen Durchlässigkeits- und CBR-Werten ist deshalb interessant, weil bei ungebundenen Foundationsschichten zwischen den beiden massgebenden Eigenschaften, nämlich einem möglichst optimalen Tragverhalten und gleichzeitig einer ausreichenden Wasserdurchlässigkeit, ein gewisser Widerspruch bzw. "Interessenskonflikt" besteht (siehe z.B. Wolf, 2014 [10]). Das Tragverhalten wird i.d.R. erreicht, indem mit einer stetig verlaufenden Körnungslinie und einer maximalen Verdichtung ein möglichst hohlraumarmes Kornhaufwerk geschaffen wird (Stichwort "Fullerkurve"). Beide Faktoren – der geringe Hohlraumgehalt und die hohe Verdichtung – wirken sich jedoch grundsätzlich nachteilig auf die Porenstruktur und somit auf die Wasserdurchlässigkeit aus. Eine stark verdichtete, hohlraumarme Foundationsschicht weist eine schlechtere Entwässerung auf als ein lockerer gelagertes, hohlraumreiches Gemisch. Deshalb ist es für das vorliegende Forschungsprojekt von zentraler Bedeutung, diese beiden, für den Strassenbau massgebenden Eigenschaften – das Tragverhalten und die Durchlässigkeit – kombiniert zu betrachten.

5 Datenerhebung

Mit der Datenerhebung sollten vordergründig geeignete Materialien identifiziert werden, anhand derer die Aspekte rund um die Durchlässigkeits- und Frostthematik angegangen werden konnten. Hierzu wurde zuerst eine Befragung (kleine "Marktstudie") bei Produzenten, Unternehmern, Bauherren und Prüfstellen aus der ganzen Schweiz zum "Gebrauchsverhalten" und zu Erfahrungen mit regional verfügbaren ungebundenen Gemischen aus der Strassenbaupraxis durchgeführt. Ausserdem sollten bekannte Schadensfälle und andere Praxiserfahrungen in die Auswahl einfließen können.

5.1 Vorgehen und Ziel der Marktstudie

Die Datenerhebung hatte zum Ziel, einen Überblick über die in der Schweiz gebräuchlichsten ungebundenen Gemische gemäss VSS 70 119 [41] zu erhalten. Der Überblick sollte u.a. ermöglichen, «repräsentative» Gemische auswählen zu können, damit gezielt solche Gemische als sog. «Typ-Materialien» untersucht werden können.

Hierzu wurden diverse Marktteilnehmer aus dem Netzwerk des Projektteams mittels eines standardisierten Fragebogens befragt, damit die Antworten vergleichbar waren.

Die Adressaten können wie folgt zusammengefasst werden:

- Prüfstellen, die ungebundene Gemische untersuchen bzw. deren Produktionskontrolle begleiten,
- Bauherren, die ungebundene Gemische bestellen, bzw. teilweise Vorgaben bzw. Eingrenzungen bei der Ausschreibung machen (z.B. kantonale Fachstellen in Tiefbauämtern),
- Unternehmer, die ungebundene Gemische verwenden und – sofern keine Vorgaben der Ausschreibung einzuhalten sind – typischerweise auf wenige ausgewählte Hersteller zurückgreifen
- Grosse Produzenten für ungebundene Gemische

5.2 Fragebogen

Der von der Forschungsstelle konzipierte und verwendete Fragebogen ist im Anhang I.2 enthalten. Er beinhaltete v.a. Fragen zu:

Praxiserfahrungen:

- gute / schlechte Erfahrungen im Zusammenhang mit spezifischen Materialarten
- Aussagen zu Verarbeitbarkeit, Tragfähigkeit, Frostopfindlichkeit und Durchlässigkeit

Vorschläge zu

- Materialarten und/oder Provenienzen für das Forschungsprojekt
- «gute» oder «kritische» Materialien

Kenntnis bekannter Schadensfälle.

Kontaktiert wurden insgesamt 46 Marktteilnehmer (siehe **Abb. 2**). Substanzielle Rückmeldungen sind von 10 Prüfstellen, 10 öffentlichen Bauherren und 4 Unternehmungen eingegangen.

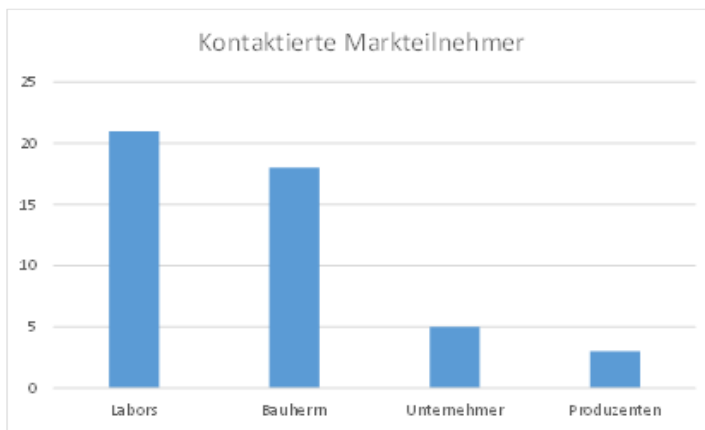


Abb. 2 von der Forschungsstelle kontaktierte Marktteilnehmer

5.3 Output der Marktstudie

Die Forschungsstelle hat aus dem Kontakt mit den Marktteilnehmern wertvolle Informationen erhalten, die in die weitere Konzeption und Bearbeitung des vorliegenden Forschungsprojekts einfließen konnten.

Rückmeldungen der Labors

Aus den Rückmeldungen der kontaktierten Labors ergaben sich Hinweise auf die Durchführung der Wasserdurchlässigkeitsbestimmungen. Insbesondere hat sich gezeigt, dass die unterschiedlichen Labors nur wenige verschiedene Messapparaturen verwenden. Diese Apparaturen erfordern aber teilweise unterschiedliche Vorgehensweisen z.B. beim Einbau und der Abdichtung der Prüfkörper in der Prüfeinrichtung. Hierzu sind u.a. Anmerkungen im Kapitel 7 integriert. Es zeigt sich, dass der relativ «neue Versuch» nach SN EN ISO 17892-11 [30] zur Zeit der Umfrage noch nicht als etabliert bezeichnet werden kann. Mit den wertvollen Erfahrungen, welche zum Wasserdurchlässigkeitsversuch im Rahmen dieses Forschungsprojekts gewonnen wurden, kann die Zuverlässigkeit der Durchlässigkeitsversuche in der Schweiz verbessert werden.

Ausserdem konnten die Erfahrungen einzelner Labors mit bestimmten interessanten ungebundenen Gemischen in die Auswahl der Materialdatenbank bzw. der «Typ-Materialien» einfließen (vgl. Kapitel 6).

Erschwerend für die Auswertung der kleinen "Marktstudie" war, dass aufgrund von Vertraulichkeitsregelungen keine Daten über zertifizierte Lieferanten und Liefermengen von den Fachverbänden und Zertifizierungsstellen zur Verfügung gestellt werden durften.

Rückmeldungen der Unternehmungen

Die Rückmeldungen aus den Unternehmungen, die ungebundene Gemische auf den Baustellen verarbeiten, lieferten Einblicke in wertvolle Praxiserfahrungen und erlaubten ausserdem weitere ungebundene Gemische in die Materialdatenbank aufzunehmen. Es zeigte sich allerdings, dass die Praxiserfahrungen der Unternehmungen weniger im Zusammenhang mit den eher langfristigen Parametern «Entwässerung» und «Frostbeständigkeit» standen als vielmehr mit den eher kurzfristig relevanten Eigenschaften wie «Verarbeitbarkeit» und «Tragfähigkeit». Zudem kam zum Ausdruck, dass vielfach Verfügbarkeit und Preis der Produkte – wie zu erwarten – das Hauptkriterium auf Seite Unternehmung darstellen.

Bauherren

Mit wenigen Ausnahmen kamen nur wenige für das Projekt relevante Informationen von Seiten der Bauherren. Dies liegt v.a. daran, dass durch die Normierung nach VSS 70 119 [41] und die Ausschreibungen bereits strikte Vorgaben zu den ungebundenen Gemischen vorhanden sind (z.B. zertifizierte Produktion).

Schadensfälle

Die Datenerhebung lieferte Rückmeldungen zu verschiedenen mehr oder weniger gut dokumentierten Schadensfällen. Vertiefte Recherchen und eine detaillierte Beurteilung im Einzelfall war nicht Gegenstand des vorliegenden Forschungsprojekts. Der Forschungsstelle wurden zudem auch keine Unterlagen (z.B. gutachterliche Berichte oder dgl.) zu den Schadensfällen zur Verfügung gestellt. I.d.R. wurden auch keine abschliessenden Ursachen für die Frostschäden benannt. Es wurden in erster Linie Vermutungen wiedergegeben, welche darauf hindeuten, dass stets eine Verflechtung von verschiedenen ungünstigen Faktoren zum Schadensereignis geführt haben. In allen betrachteten Fällen gehörte hierbei ein zu hoher Wassergehalt in der Foundationsschicht dazu. Dabei wurde einerseits von Fällen berichtet, wo ungebundene Gemische "zu nass" oder bei "zu nasser Witterung" eingebaut wurden. Andererseits gibt es auch Fälle, wo der Schaden auf später hinzutretendes Wasser (z.B. Hangwasser o.ä.) oder eine zu schlechte Entwässerung der Foundationsschicht für die zu hohe Feuchtigkeit gesorgt haben.

Tendenziell wurden in den Rückmeldungen ungebundene Gemische aus rezyklierten Gesteinskörnungen als problematischer erachtet als natürliche Gesteinskörnungen. Allerdings sind auch bei natürlichen Gesteinskörnungen Schäden festgestellt worden, so dass der Eindruck täuschen kann und möglicherweise auf die aus ökologischen Gründen zuletzt stark zugenommene Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen zurückgeführt werden könnte («Wahrnehmungsproblem»).

Praxiserfahrungen

Nachfolgend werden einige Zitate unternehmerseitiger Praxiserfahrungen "ungefiltert" (d.h. ohne diese speziell zu gewichten oder einzuordnen) wiedergegeben:

Verarbeitbarkeit

- "RC-Material sind tendenziell etwas besser verdichtbar als natürliche Gesteinskörnungen."
- "RC-Kiesgemisch A ist oft schwieriger zu verdichten."
- "Der Verdichtungsaufwand ist bei gebrochenem Material höher als bei eher rundem."

Tragfähigkeit

- "Mit RC-Material kann eine höhere Tragfähigkeit erreicht werden, wenn es nicht zu nass eingebaut wird."
- "Diese hohe Tragfähigkeit stellt sich relativ schnell nach etwa drei Tagen ein, wenn das enthaltene Wasser abgelaufen ist."
- "Betongranulat zeigt sehr hohe Tragfähigkeiten, solange das Material schnell trocknen kann. Im Herbst/Winter kann das enthaltene Wasser nicht gut verdunsten und verbleibt dann im Gemisch. Das Material erreicht keine Festigkeit mehr."

Durchlässigkeit und Frostbeständigkeit

- "Es wurden tendenziell gute Erfahrungen mit natürlichen Kiesgemischen mit niedrigem Feinanteil gemacht."
- "Insbesondere im verdichteten Zustand zeigt Betongranulat eine stark reduzierte Durchlässigkeit."
- "Normalerweise zeigt Betongranulat kaum Frosthebungen, weshalb die Frostbeständigkeit auch meist gegeben ist."

Kritische Erfahrungen

- "Gemische mit (zu) hohem Feinanteil."
- "Je grösser der RC-Anteil im Gemisch, desto eher ist mit Problemen zu rechnen: RC-Kiesgemisch B mit > 20 % Beton, insbesondere Betongranulat."
- "Das Wetter ist beim Einbau von ungebundenen Gemischen zu berücksichtigen. So können Gemische, welche einen höheren Feinanteil aufweisen bei trockener Witterung die Anforderungen erfüllen, während das gleiche Material bei Regen während des Einbaus die Anforderungen nicht mehr erfüllt."
- "Bei feinkörnigem Material besteht bei nassem Wetter die Gefahr von Frostschäden, wenn das Material nass wird und im Winter gefriert."
- "Nicht jedes Gemisch (RC-Gemisch vs. natürliches Kiesgemisch) eignet sich gleich für den Einbau. Dies ist auch abhängig von den Jahreszeiten. Wenn die Durchlässigkeit klein ist, sollte nicht mit hohem Wassergehalt kurz vor dem Winter eingebaut werden. Wenn es eine längere Frostperiode gibt (Ereignis von einem Jahrzehnt), kommt es zu Hebungen der Asphaltdecke. Wenn es keine Frostperiode gibt, so passiert nichts."

Bei den o.g. Zitaten handelt es sich um Einzelwahrnehmungen, welche einen Eindruck aus der Baupraxis vermitteln sollen. Der Umfang der Datenerhebung bzw. die Umfrage bei den Marktteilnehmern kann nicht als "repräsentativ" bezeichnet werden. Deshalb ist es auch nicht zweckmässig, die Aussagen in einen grösseren Kontext zu stellen. Einzelne erwähnte Punkte werden jedoch bei der Diskussion der vorliegenden Laboruntersuchungen wieder aufgegriffen und in Kapitel 10.3 diskutiert.

6 Auswahl der Probematerialien

Ebenfalls im Rahmen der Datenerhebung (siehe Kapitel 5) hat die Forschungsstelle die Kenndaten von insgesamt 38 ungebundenen Gemischen zusammengetragen, die in der Schweiz gemäss VSS 70 119 [41] verwendet werden. Diese Kenndaten stammten aus Prüfergebnissen, die den beteiligten Labors bereits vorlagen (z.B. aus der regelmässigen Produktionskontrolle von Kieswerken), aus der verwendeten Literatur (z.B. Rütli & Angst, 2021 [22]) sowie aus Rückmeldungen der Umfragen bei den Marktteilnehmern (insbesondere aus den Prüfstellen).

6.1 Auswahlkriterien

Bei der Identifizierung von potentiellen "Typ-Materialien", die im Rahmen des Forschungsprojekts analysiert werden sollten, wurde darauf geachtet, ein für den Schweizer Verkehrswegebau möglichst repräsentatives Materialspektrum abzudecken. Einerseits wurde die Provenienz der möglichen Kandidaten beachtet (petrographische bzw. stoffliche Zusammensetzung) sowie regionale Aspekte berücksichtigt. Andererseits wurden quantitative Kenngrössen hinzugezogen (Korngrössenverteilung, USCS-Klassifizierung sowie allfällige Erfahrungen aus der Laborpraxis wie z.B. bereits vorhandene Prüfergebnisse zur Wasserdurchlässigkeit und zu CBR-Werten). Die resultierende Kriterienmatrix für die Materialauswahl ist in **Abb. 3** schematisiert.

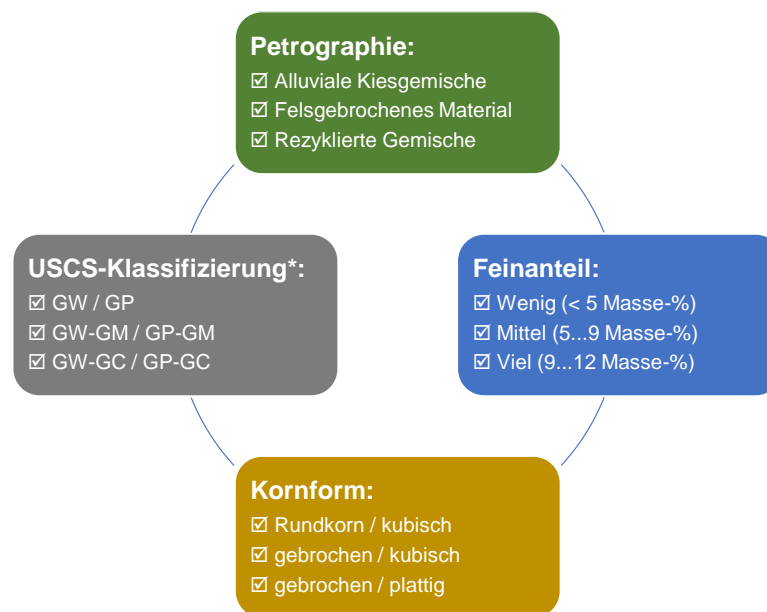


Abb. 3 Kriterienmatrix für die Identifizierung und Auswahl der Typ-Materialien (* USCS-Klassifizierung gem. SN 670 004-2b-NA [47])

Um die regionale Aspekte in ausreichender Form berücksichtigen zu können, wurden die Materialien, zu denen Daten zur Verfügung standen in der nachfolgenden Karte **Abb. 4** dargestellt.

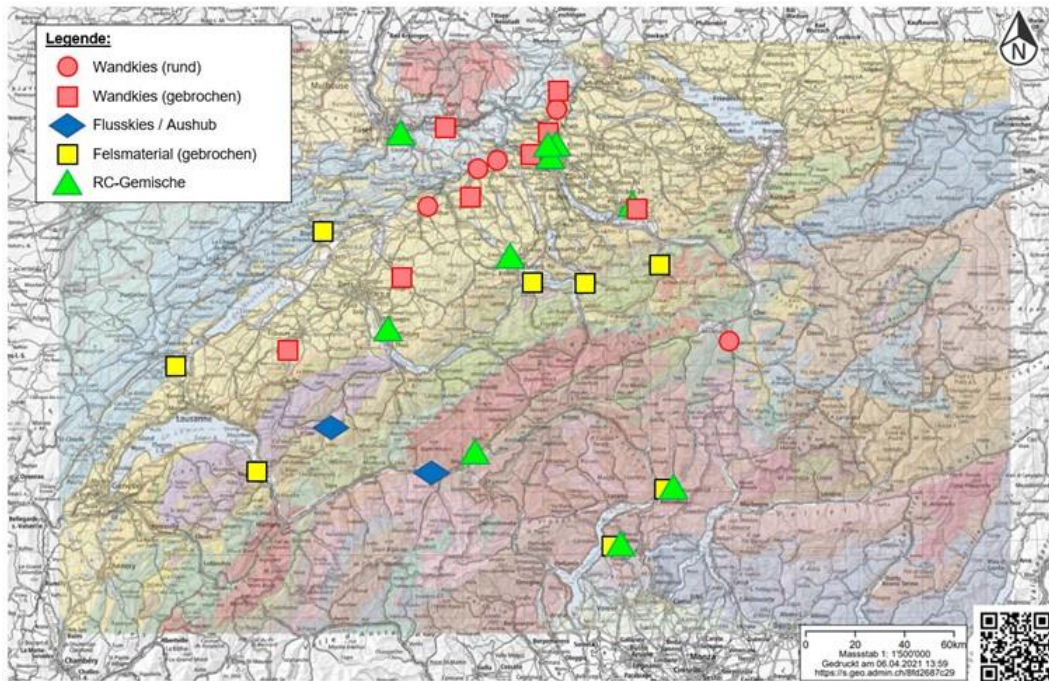


Abb. 4 Tektonische Karte der Schweiz (www.geo.admin.ch, © swisstopo) mit der ungefähren Lokalisierung aller 38 Kandidaten für die Auswahl der «Typ-Materialien»

Basierend auf den Ergebnissen der Datenerhebung (vgl. Kapitel 5) und der Verfügbarkeit der potenziell für die Studie geeigneten ungebundenen Gemischen wurde in etwa folgende Verteilung der Typ-Materialtypen angestrebt:

- Natürliche Gesteinskörnungen bestehend aus primären Kiesvorkommen (alluviale Lockergesteine bzw. "Wandkies"; ggf. teilgebrochen): ca. 3-4 Proben
- Felsgebrochenes Material (Steinbrüche): ca. 2-3 Proben
- Rezyklierte Gesteinskörnungsgemische (RC-Betongranulatgemisch und RC-Kiesgemisch B): ca. 3-4 Proben

Bei den rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen wurde der Fokus explizit auf die betonhaltigen Gemische beschränkt. Auch innerhalb der Begleitkommission des Projekts herrschte Einigkeit, dass asphalthaltige Materialien (z.B. RC-Kiesgemisch A) oder auch RC-Mischabbruchgranulatgemische im Zuge des künftigen Vollzugs im Umgang mit mineralischen Rückbaumaterialien für die Verwendung als ungebundene Gemische kaum mehr relevant sein werden. Solche Materialien wurden im Rahmen dieses Projekts somit nicht weiter berücksichtigt.

Nebst den o.g. Kriterien der regionalen Herkunft und der stofflichen Zusammensetzung (bzw. Petrographie) wurde die nähere Auswahl der Typ-Materialien schliesslich basierend auf einzelnen Parametern der Korngrößenverteilung sowie aus vorliegenden Daten zum Frostverhalten (CBR_F -Versuche) ausgewählt. Diese Charakterisierung ist in den nachfolgenden Abbildungen und Tabellen illustriert:

Korngrößenverteilung (Sieblinie)

In **Abb. 5** sind die Siebkurven aller 38 Kandidaten, farblich sortiert nach Materialart dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen ungebundenen Gemischen aus Alluvialkiesvorkommen (Wandkies "rund" oder "teilgebrochen"), felsgebrochenem Material (Steinbrüche im alpinen Bereich sowie aus dem Jura), aufbereiteten Flussskies oder Aushubmaterialien (inner- oder voralpine Vorkommen) und rezyklierte Gesteinskörnungsgemische (RC-Kiesgemische B, RC-Betongranulatgemische). Die

Sieblinien liegen in einem sehr breiten Feld, welches jedoch für alle betrachteten Materialien innerhalb des Grenzbereichs der Kategorie 0/45 gem. VSS 70119 [41] liegt (was für am Markt etablierte und grösstenteils zertifizierte Produkt natürlich erwartet werden konnte). Für die engere Auswahl der Typ-Materialien wurde gezielt nach ungebundenen Gemischen gesucht, welche möglichst das ganze abgebildete Spektrum abdecken (die Darstellung der schlussendlich im Projekt ausgewählten Typ-Materialien ist in Kap. 8.1 aufgeführt).

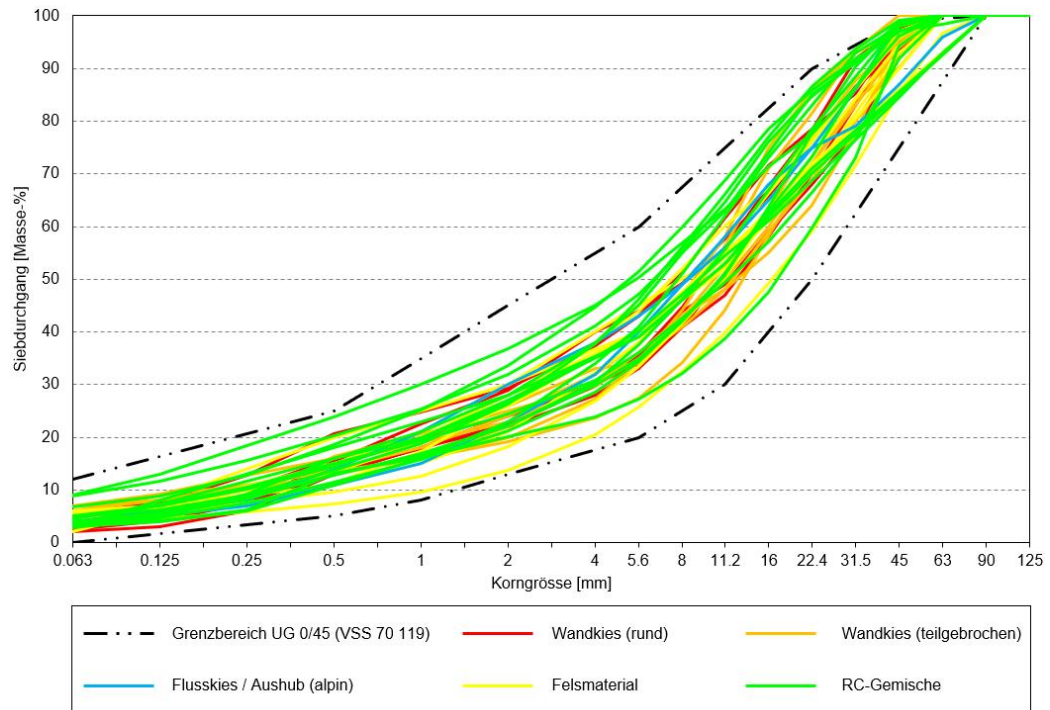


Abb. 5 Korngrössenverteilung der 38 Kandidaten für die Typ-Materialien. Siebcurven liegen innerhalb des Grenzbereichs der Kategorie 0/45 nach VSS 70 119 [41].

Fein- und des Sandanteils

Ein weiteres Kriterium, welches für die Auswahl der Materialien hinzugezogen wurde, ist der Fein- und Sandanteil (Siebdurchgang bei 0.063 mm resp. Anteil 0.063 bis 2 mm). In der Praxis werden ungebundene Gemische mit hohem Feinanteil oder ausgeprägt "sandige" Materialien (welche sich oft durch eine Mittelsandanreicherung im Bereich von 0.5 mm, als ein sog. "Sandhöcker" kennzeichnet) oft als kritischer in Bezug auf die Frostsicherheit angesehen werden (vgl. Kapitel 5). Die Zusammenhänge der Fein- und Sandanteile der 38 Kandidaten sind in **Abb. 6** dargestellt. Es sollten sowohl Materialien mit hohem Sandanteil (ca. 40 %) als auch solch mit mittlerem und geringem Sandanteil (ca. 20-25 %) mitberücksichtigt werden.

Frostverhalten (CBR_F)

Schliesslich wurden zusätzlich Korrelationen zwischen der Korngrössenverteilung (Feinanteil ≤ 0.063 mm) und vorhandene Daten zum Frostverhalten (CBR_F -Werte) für die Auswahl der Kandidaten berücksichtigt (siehe **Abb. 7**). Bei den durchzuführenden Versuchen sollten sowohl Materialien mit hohem CBR_F -Wert (> 115 %), als auch mit mittlerem und niedrigerem CBR_F -Wert (< 75 %) untersucht werden.

Die definitive Auswahl der Typ-Materialien ist in den **Abb. 6** und **Abb. 7** mit rot eingekreisten Symbolen dargestellt und in **Tab. 1** zusammengefasst. Die definitive geografische Verteilung und die unterschiedlichen Materialklassen (stoffliche Zusammensetzung und Petrographie) sind schliesslich in **Abb. 8** illustriert.

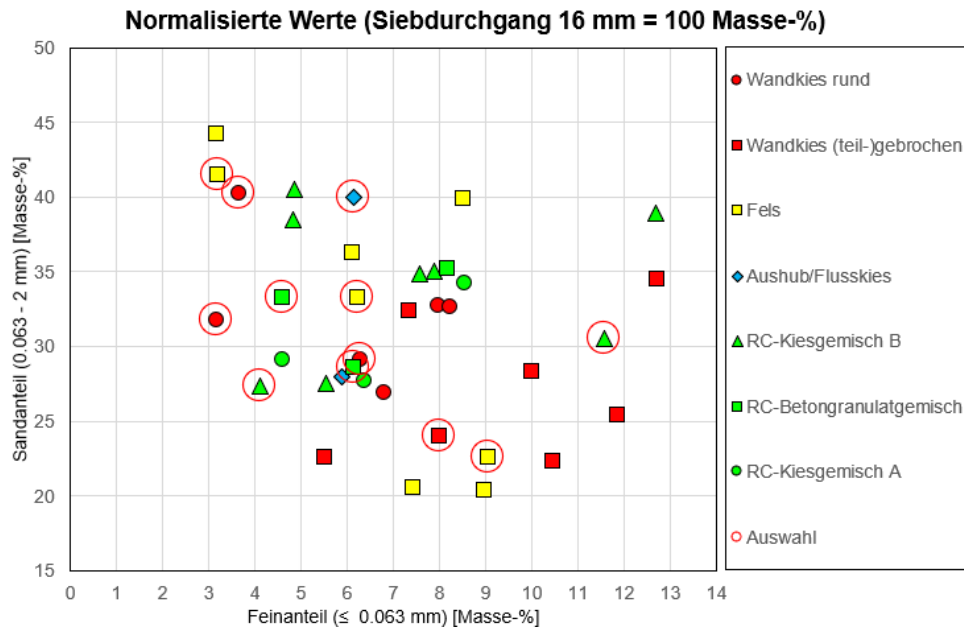


Abb. 6 Gegenüberstellung des Feinanteils (≤ 0.063 mm) und des Sandanteils in den 38 evaluierten Materialarten (Werte auf die Kornfraktion 0/16 mm umgerechnet). Die rot umkreisten Materialien wurden für die Laborversuche ausgewählt.

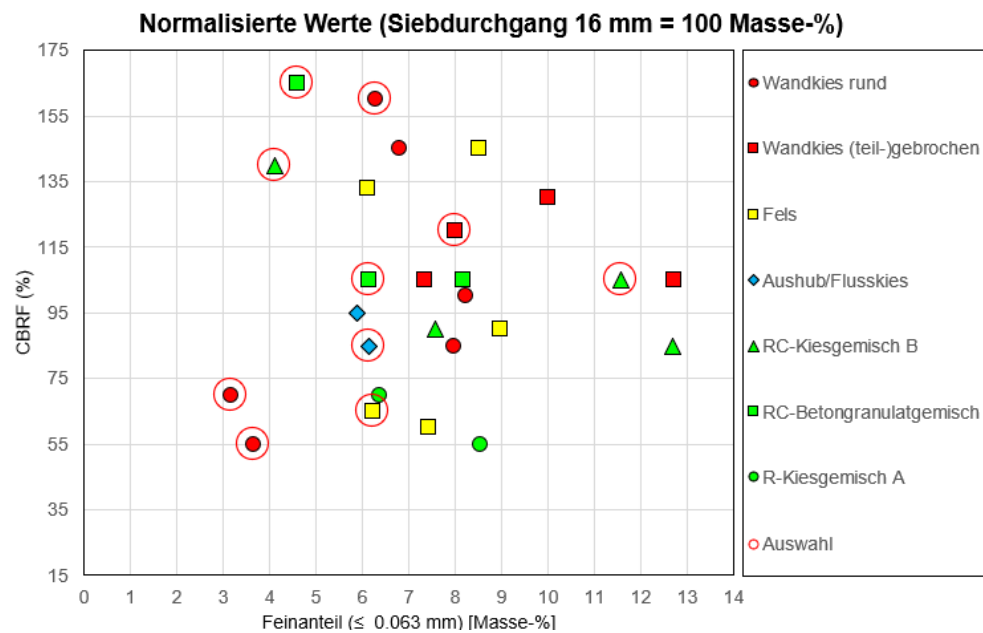


Abb. 7 Gegenüberstellung des Feinanteils (≤ 0.063 mm bezogen auf die Fraktion 0/16 mm) und Angaben zu den CBR_F -Werten. Die rot umkreisten Materialien wurden für die Laborversuche ausgewählt (Bemerkung: Es sind nicht von allen 38 Materialarten CBR_F -Werte vorhanden. Deshalb sind in Abb. 7 weniger Datenpunkte ersichtlich als in Abb. 6).

Tab. 1 Ausgewählte 13 Typ-Materialien

Mat. Nr.	Materialart	Herkunft (Geologie)	Konform	Symbol*
2	Alluvialkies (Wandkies)	CH Mittelland	teilgebrochen	■
3	Alluvialkies (Wandkies)	CH Mittelland	rund	●
4	Flusskies	Wallis	teilgebrochen	◆
5	RC-Kiesgemisch B	-- (rezykliert)	teilgebrochen	▲
9	Alluvialkies (Wandkies)	CH Mittelland	teilgebrochen	■
11	RC-Betongranulatgemisch	-- (rezykliert)	teilgebrochen	■
12	Felsgebrochen	Alpin (Kristallin)	gebrochen	■
16	Felsgebrochen	Jura	gebrochen	■
24	Alluvialkies (Wandkies)	Graubünden	rund	●
26	RC-Betongranulatgemisch	-- (rezykliert)	teilgebrochen	■
29	RC-Kiesgemisch B	-- (rezykliert)	teilgebrochen	▲
33	Felsgebrochen	Kalkalpen	teilgebrochen	■
40	Alluvialkies (Wandkies)	CH Mittelland	rund	●

* die dargestellten Symbole und Farben werden in den nachfolgenden Darstellungen konstant beibehalten

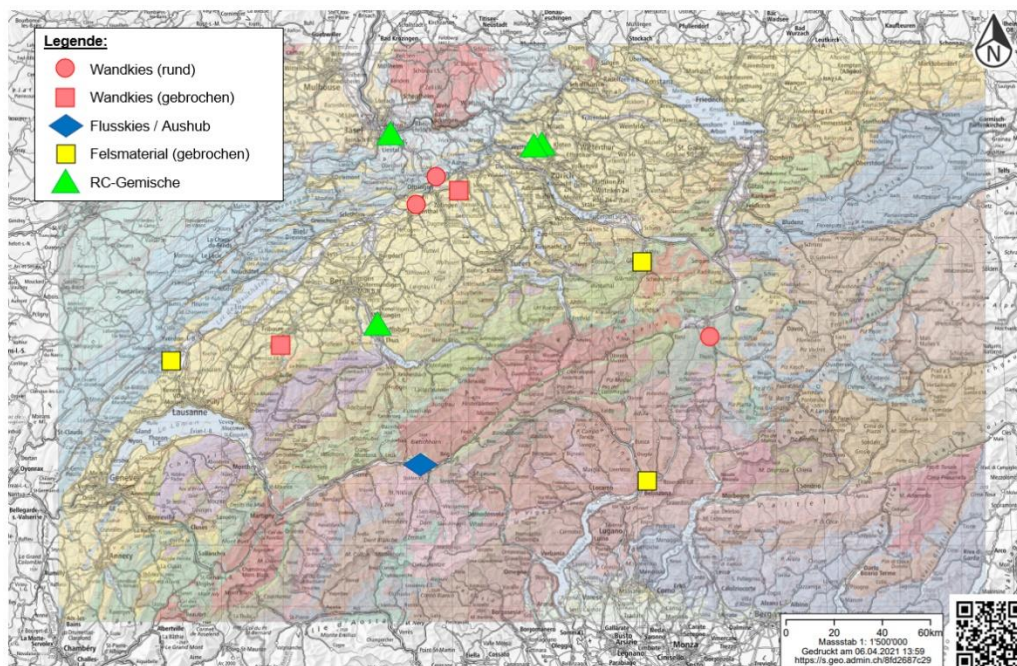


Abb. 8 Tektonische Karte der Schweiz (www.geo.admin.ch, © swisstopo) mit der ungefähren Lokalisierung der 13 ausgewählten «Typ-Materialien»

6.2 Probenahme und Probenvorbereitung

Das Konzept für die Laborprüfungen sah ein mehrstufiges Vorgehen vor. In einem ersten Schritt wurde mittels Vorversuchen eine «Übereinstimmungskontrolle» durchgeführt. Hierzu wurden von allen ausgewählten Materialien (vgl. Kapitel 6.1) folgende Parameter ermittelt:

- Korngrößenverteilung gemäss SN EN 933-1 [34] (ohne Schlämmanalyse)
- Qualitative petrographische Beschreibung der natürlichen Gesteinskörnungsgemische
- Bestimmung der stofflichen Zusammensetzung der Kornklasse 4/16 mm (Einteilung der RC-Bestandteile gem. SN EN 933-1 [35])

Die Resultate dieser Untersuchungen sind in Kapitel 8.1 aufgeführt.

Die Handhabung und Bearbeitung der Proben erfolgte in den beiden beteiligten Prüfstellen grundsätzlich gleich und gemäss folgendem Vorgehen (siehe auch Prinzipskizze in **Abb. 9** und Situationsaufnahme im Labor der TFB AG in **Abb. 10**):

- Die Probenahme wurde beim Lieferanten (Kieswerk) durch das jeweilige Labor durchgeführt, das später auch die Laborversuche an dem betreffenden Material durchführte.
- Die Probenahme erfolgte ab Haufwerk mittels einem Radlader (ca. 3-4 Radladerschaufeln bzw. Einzelproben). Anschliessend wurden die Einzelproben mit dem Radlader durchmischt und auf eine Schicht von ca. 30...40 cm abgezogen. Aus dieser Schicht wurde das Material für die Laboruntersuchungen entnommen (2 Mörtelmulden à ca. 350 kg). Dies entspricht dem Vorgehen nach SN EN 932-1 [40].
- im Labor erfolgten dann folgende Arbeitsschritte:
 - Viertelteilung des Inhalts einer Mörtelmulde (ca. 350 kg) gem. SN EN 932-2 [40] bis hinunter auf ca. 80 kg. An dieser Teilprobe wurde die Siebanalyse durchgeführt und die stoffliche Zusammensetzung bestimmt (siehe **Abb. 9**)
 - restliches Material absieben auf < 16 mm für die weiteren Laboruntersuchungen (Körner > 16 mm wurden verworfen)
 - Die Gesamtmenge der Fraktion 0/16 mm wurde im Labor sorgfältig homogenisiert (mehrmaliges Umschaufeln) und anschliessend mittels fraktionalem Schaufeln gemäss SN EN 932-2 [40] als Teilproben zu ca. 15 kg in Eimer abgefüllt (siehe **Abb. 10**)

Der Ablauf und die Methodik zu den Laborversuchen, welche an den Typ-Materialien schliesslich durchgeführt wurden, ist im folgenden Kapitel 7 beschrieben.

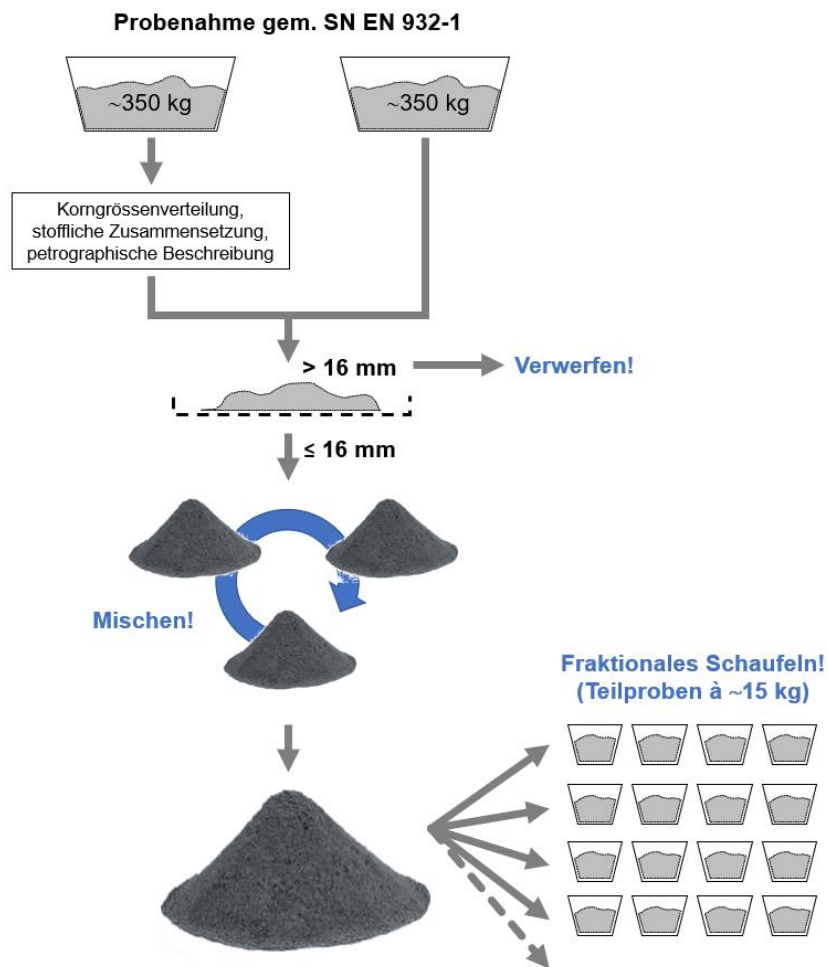


Abb. 9 Prinzipskizze der Probenahme und Probenvorbereitung



Abb. 10 Situationsaufnahme bei der Herstellung der Teilproben im Labor der TFB AG

7 Methodik Laborversuche

Die Materialcharakterisierung (Siebanalysen und stoffliche Zusammensetzung), die für die Durchlässigkeitsversuche notwendigen Proctorversuche sowie die ergänzenden CBR-Versuche (CBR_1 und CBR_F) wurden alle gemäss den in der Qualitätssicherung seit langem bekannten und bewährten Prüfnormen und den üblichen Vorgehensweisen bei der Prüfung von ungebundenen Gemischen durchgeführt. Für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit wurde das in der SN EN 13285 [42] definierte Verfahren mittels zylindrischem Permeameter (starre Wand) und konstantem Druckgefälle (siehe Details in Kap. 7.4) angewendet. Alle Prüfverfahren befinden sich bei beiden beteiligten Prüfstellen (BSL Baustofflabor AG in Uetendorf und TFB AG in Wildegg; im Folgenden kurz "BSL" und "TFB") im jeweilig akkreditierten Geltungsbereich.

Im Folgenden werden die einzelnen Methoden kurz beschrieben (mit Fokus auf die Details bei der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit).

7.1 Materialcharakterisierung

Zwecks Charakterisierung der verwendeten Typ-Materialien wurde vorgängig von jeder Probe die Korngrössenverteilung mittels Siebung nach SN EN 933-1 [34] bestimmt (Waschen und Sieben). Die Korneigenschaften (Kornformen und petrographische Beschaffenheit) wurden visuell in Anlehnung an die VSS 70 115 [36] beurteilt. Bei den rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen wurde zusätzlich die stoffliche Zusammensetzung gem. SN EN 933-11 [35] an der Kornklasse 4/16 mm bestimmt.

7.2 Proctorversuche

Das Verdichtungsverhalten resp. die maximale Trockendichte ($\rho_{d,\max}$) und der optimale Wassergehalt (w_{opt}) der Typ-Materialien wurde mittels Proctorversuchen gemäss SN EN 13286-2 [37] geprüft. Alle Versuche wurden in einem Topf B (nomineller Topfdurchmesser bzw. -höhe: 150 mm resp. 120 mm) durchgeführt. Im Einklang mit den Vorgaben gem. SN EN 13285:2021 [42] wurden alle Proben vorgängig abgesiebt und sämtliche Prüfungen an der Kornklasse 0/16 mm durchgeführt.

An jeder Probe wurden zwei Proctorkurven bestimmt: 1) Verdichtung "Proctor-Standard" mit nomineller Verdichtungsenergie 0.6 MJ/m^3 und 2) Verdichtung "CBR" mit nominell 1.2 MJ/m^3 .

7.3 Tragverhalten (CBR-Versuche)

Das Tragverhalten wurde mittels CBR-Versuchen nach SN EN 13286-47 [47] geprüft. Die Herstellung der Probekörper erfolgte mit der Kornklasse 0/16 mm bei optimalem Wassergehalt (w_{opt}) und einer nominellen Verdichtungsenergie von 1.2 MJ/m^3 (Ziel-Trockendichte = $\rho_{d,\max}$). Der CBR_1 -Wert wurde unmittelbar nach der Probekörperherstellung mit einer Auflast von 7.5 kg bestimmt. Der CBR_F -Wert wurde nach dem Frosthebungsversuch gem. VSS 70 321 [38] ermittelt (ebenfalls mit entsprechender Auflast).

7.4 Durchlässigkeit gemäss SN EN ISO 17892-11

Die Wasserdurchlässigkeit wurde gemäss der neuen SN EN ISO 17892-11 [30] bestimmt. Diese Norm beschreibt verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Durchlässigkeit von Lockergesteinen. Sie wurde per 31.01.2020 in das Schweizer Normenwerk aufgenommen. Die Norm beschreibt grundsätzlich einen klassischen geotechnischen Durchlässigkeitsversuch, der an einem zylindrischen Probekörper durchgeführt wird. Der Probekörper wird einem hydraulischen Differenzdruck ausgesetzt und der Wasserfluss wird entweder bei konstanter oder fallender Druckhöhe gemessen. Die SN EN ISO 17892-11 [30] beschreibt sowohl Geräte mit einer starren Wand als auch Einrichtungen, die mit einer flexiblen Membran begrenzt sind. Für die Prüfung von "kiesig-sandigen" Proben (wie ungebundene Gemische) eignet sich das Verfahren gem. Ziff. 5.2.2.2 im zylindrischen Permeameter mit starrer Wand. Mit diesem Prüfverfahren bestehen in der Schweiz (in leicht abgeändert Art) bereits langjährige Erfahrungen für die Qualitätssicherung von Kiessand PSS für den Gleisbau (R RTE 21110 [12]) oder auch für Lockergesteine im Deponiebau (SIA 203 [32]). Die Prüfung basiert grundsätzlich auf den ursprünglich in der DIN 18130-1 [31] festgelegten Methoden, welche u.a. als Grundlage für die Prüfung für die Herstellung von "Schichten ohne Bindemittel" (\equiv ungebundene Gemische) nach TL SoB-Stb 20 [28] in Deutschland angewendet wird.

Für die Versuche wurden in beiden beteiligten Prüfstellen (BSL und TFB) eine prinzipiell identische Versuchseinrichtung verwendet. Alle Versuche wurden in einem Versuchszyylinder durchgeführt, welcher in punkto geometrischer Abmessungen und Wandstärke einem Proctortopf B gem. SN EN 13286-2 [37] entspricht. An der oberen und unteren Probekörperfläche wurde eine Filterplatte aus Sinterbronze angelegt (Korngrössen 630 bis 1'000 μm ; Porosität 267 μm). Der Wasserdruck wurde mittels 2 seitlich angebrachten Standrohre (Piezometern) gemessen. Der prinzipielle Versuchsaufbau ist in **Abb. 11** dargestellt. Ein Foto der Versuchseinrichtung bei BSL Baustofflabor AG ist in



Abb. 12 dargestellt.

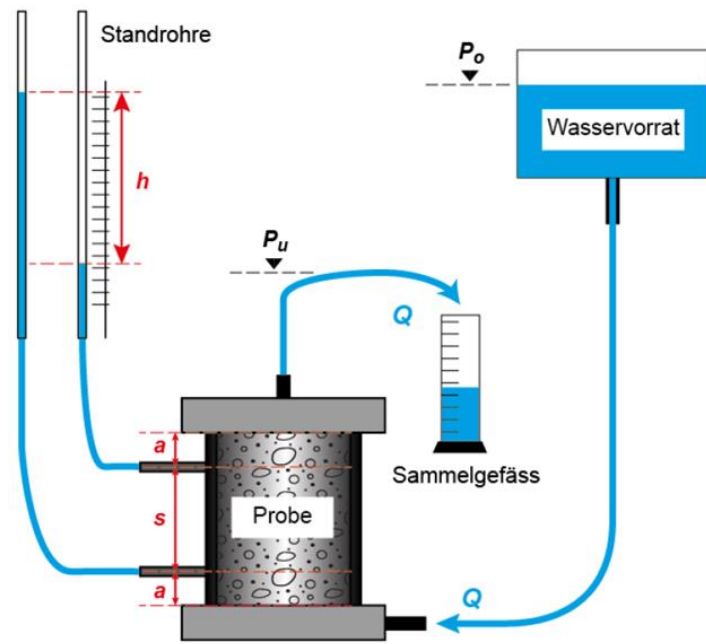


Abb. 11 Prinzipieller Versuchsaufbau des zylindrischen Permeameters mit starrer Wand und konstanter Druckhöhe. P_u = Wasserniveau "Unterwasser" (Ausfluss); P_o = Wasserniveau "Oberwasser" (Zufluss); Q = Durchflussrate (Wassermenge pro Zeiteinheit); s = Sickerstrecke (in cm); a = oberer und unterer Randbereich der Probe (in der Sickerstrecke nicht mitberücksichtigt); h = hydraulischer Höhenunterschied in [cmWS] zwischen dem oberen und dem unteren Ende der Sickerstrecke



Abb. 12 Versuchsaufbau bei BSL Baustofflabor AG (vgl. **Abb. 11** für die prinzipielle Funktionsweise)

Die Herstellung der Probekörper erfolgte mit einem Proctor-Verdichtungsgerät gem. SN EN 13286-2 [37]. Weitere Details zur Probekörperherstellung werden in Kapitel 7.6 erläutert. Zur Verhinderung von Wasser-Umläufigkeiten wurde vor jedem Versuch eine dünne (ca. 0.5 mm dicke) Schicht Vaseline auf die Permeameterwand (Innenseite des Topfs) aufgebracht.

Für die Durchströmung der Probe wurde unter Vakuum entlüftetes Leitungswasser verwendet. Die Durchführung der Durchlässigkeitsversuche erfolgte im Allgemeinen gem. Ziff. 6.2 ff der SN EN ISO 17892-11 [30]. Im Anhang I.1 des vorliegenden Berichts ist eine detaillierte Arbeitsanleitung enthalten, welche wichtige Präzisierungen und Spezifizierung zur Erreichung von reproduzierbaren Daten für ungebundene Gemische enthält (siehe auch Kapitel 7.6).

7.5 Vergleichsversuche

Für die Sicherstellung der Reproduzierbarkeit der Durchlässigkeitsbestimmungen im Labor wurde bereits in der Projektierungsphase festgelegt, dass vor der eigentlichen "Standortbestimmung" zuerst Vergleichsuntersuchungen zwischen den beiden am Projekt beteiligten Prüfstellen TFB und BSL durchgeführt werden müssen. Dies dient einerseits zur Verifizierung der Reproduzierbarkeit der Daten. Andererseits können für die Interpretation so auch die labortechnischen Einflussgrößen und Messunsicherheiten mitberücksichtigt werden.

7.5.1 Vergleich Proctorverdichtung

Da die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit zu einem wichtigen Teil vom Verdichtungsgrad des Probenmaterials gesteuert wird, reichte es nicht aus, nur die Durchlässigkeitsprüfung zu verifizieren. Vorgängig musste auch sichergestellt werden, dass in den beiden beteiligten Labors eine möglichst gute Vergleichbarkeit bei den zu Grunde liegenden Proctorversuchen gewährleistet werden kann. Die Notwendigkeit solcher Vergleiche drängte sich u.a. auch aus Erfahrungen aus dem thematisch und organisatorisch vergleichbaren Forschungsprojekt VSS 2015/313 auf (Mühlán et al., 2019 [15]), wo ebenfalls bodenmechanische Eigenschaften an mittels Proctorverdichtung hergestellter Probekörper geprüft wurden. Aus Gründen der Verfügbarkeit wurde für diese Vergleichsversuche vorab das Probenmaterial Nr. 2 gewählt (natürliches Kiesgemisch aus teilweise gebrochenem Alluvialkies; siehe *Tab. 1*).

Die Ergebnisse der Vergleichsversuche "Proctorverdichtung" (Standard-Verdichtungsenergie 0.6 MJ/m^3) sind in **Abb. 13** dargestellt. Im Labor BSL wurde eine maximale Trockendichte ($\rho_{d,\max}$) von 2.183 Mg/m^3 ermittelt. Im Labor TFB resultierte mit 2.197 Mg/m^3 ein leicht höherer Wert (Differenz $+ 0.014 \text{ Mg/m}^3$). Die Resultate für den optimalen Wassergehalt waren mit 6.8 Masse-% (BSL) resp. 6.9 Masse-% quasi identisch.

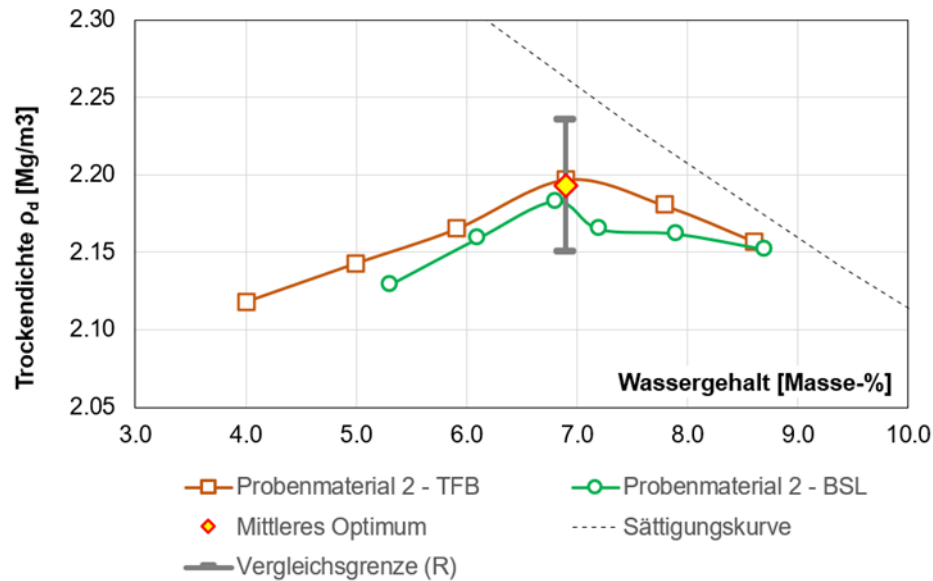


Abb. 13 Ergebnisse des Vergleichsversuchs "Proctor nach SN EN 13286-2" zwischen TFB AG (TFB) und BSL Baustofflabor AG (BSL) an Probe Nr. 2. Der eingezeichnete Fehlerbalken (grau) kennzeichnet die Vergleichsgrenze R gem. ISO 5725-1, welche anlässlich des VAB-Ringversuchs 2019 ermittelt wurde (Details siehe Text)

Für die Bewertung der Vergleichbarkeit wurden Ergebnisse aus einem gross angelegten Ringversuch der Vereinigung akkreditierter Baulabors (VAB) aus dem Jahr 2019 hinzugezogen [16]. In diesem Ringversuch wurde an einem Kiessand PSS von 18 teilnehmenden Labors insgesamt 6 Proctor-Probekörper bei einem vorgegebenen Wassergehalt hergestellt. Anhand dieser Versuche konnte eine Vergleichsgrenze R für das Verfahren "Proctorverdichtung" gem. SN EN 13286-2 von 0.085 Mg/m^3 abgeschätzt werden. Der Differenzbetrag, der im vorliegenden Vergleichsversuch resultierte (0.014 Mg/m^3 ; siehe oben) beträgt nur gerade 16% dieser Vergleichsgrenze. Unter diesem Aspekt kann die Vergleichbarkeit bei der Proctorverdichtung zwischen den beiden beteiligten Prüfstellen BSL und TFB als gewährleistet betrachtet werden.

7.5.2 Vergleich Durchlässigkeitsprüfung

Die Vergleichsversuche der Durchlässigkeitsprüfung erwiesen sich rasch als wesentlich anspruchsvoller als jene für die Proctorverdichtung. Erste Vergleiche wurden ebenfalls mit der Probe Nr. 2 durchgeführt. Als Ziel-Trockendichte wurde der Mittelwert aus dem Proct-Vergleichsversuch festgelegt (2.193 Mg/m^3 ; siehe **Abb. 13**). Die Probekörper wurden bei optimalem Wassergehalt verdichtet ($100\% w_{\text{opt}} = 6.9 \text{ Masse-\%}$). Nachdem in beiden Labors mehrere (4 resp. 3) Resultate vorlagen, zeigte sich rasch, dass sowohl die Wiederholbarkeit in den Prüfstellen als auch die Vergleichbarkeit zwischen den Labors nicht zufriedenstellend ist. Während die Ziel-Trockendichte (2.193 Mg/m^3) mit effektiven Prüfkörperdichten von 2.181 bis 2.194 Mg/m^3 (Streubereich von nur gerade 0.013 Mg/m^3) sehr gut erreicht wurde, waren die entsprechenden Durchlässigkeitsbeiwerte sehr unterschiedlich. Mit k-Werten im Bereich von rund $5 \cdot 10^{-8}$ bis $3 \cdot 10^{-6}$ streuten die Ergebnisse über zwei 10er-Potenzen bzw. um rund Faktor 60, was für eine zielführende Beurteilung der Wasserdurchlässigkeit viel zu gross ist (siehe **Abb. 14**).

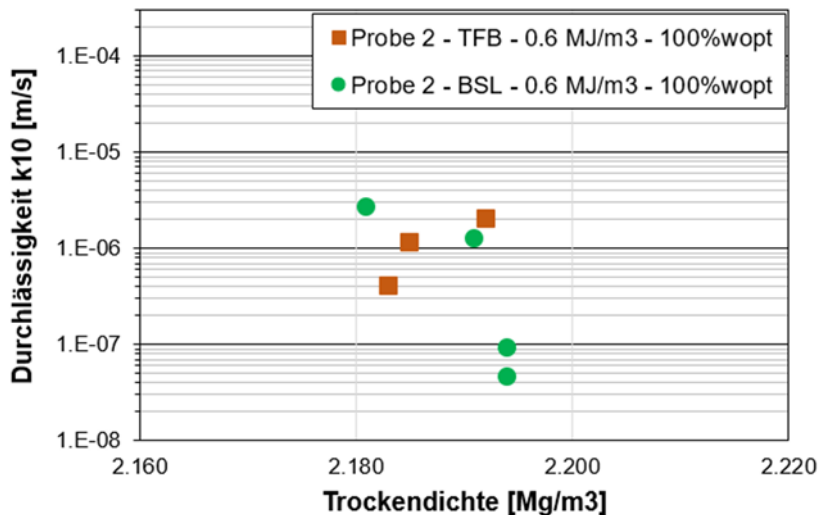


Abb. 14 Ergebnisse des 1. Vergleichsversuchs "Durchlässigkeit (Probekörperherstellung mit 100% w_{opt})" zwischen TFB AG (TFB) und BSL Baustofflabor AG (BSL) an Probe Nr. 2. Der Streubereich über knapp zwei 10er-Potenzen ist deutlich zu gross (Details siehe Text)

Um zu verifizieren, ob es sich bei der schlechten Reproduzierbarkeit vielleicht um einen probenspezifischen "Einzelfall" handelt, wurden als nächstes Wiederholversuche an zwei anderen Proben durchgeführt (Probe Nr. 33 – eine felsgebrochene Gesteinskörnung – bei TFB und Probe Nr. 9 – ein teilweise gebrochener Wandkies – bei BSL). Diese Versuche wurden wieder bei gleichen Bedingungen durchgeführt (Zieldichte gem. Proctor-Standardversuch und Probekörperherstellung bei 100% w_{opt}). Die Ergebnisse waren jedoch nicht besser und die Streuung der k -Werte lag bei beiden Prüfstellen wiederum im Bereich von mehr als einer 10er-Potenz. An diesem Punkt wurde beschlossen, das Laborprüfverfahren vertieft zu analysieren, mit dem Zweck jene Einflussgrößen zu identifizieren, welche für die grossen Streuungen verantwortlich sind. Um das beschränkt zur Verfügung stehende Probenmaterial der gewählten Typ-Materialien für die Projektphase III zu schonen, wurde zu diesem Zweck ein zusätzliches, rasch verfügbares Kiesgemisch aus dem Raum Thun beschafft (Probenmaterial Nr. 41: Planiekies 0/16, bestehend aus natürlichem, teilweise gebrochenem Alluvialkies). Dieses Material wurde anschliessend für 19 zusätzliche Wiederhol- und Vergleichsversuche verwendet, anhand derer schliesslich das definitive Prüfverfahren spezifiziert wurde. Die Erkenntnisse, welche aus diesen Versuchen sowie einer begleitenden Literaturrecherche aus vorhandenen Erkenntnissen aus der Forschung gewonnen wurden, sind im folgenden Kapitel 7.6 im Detail erläutert.

7.6 Einflussgrößen und Spezifizierung der Labormethode

In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche Studien publiziert, welche sich mit der Quantifizierung von k -Werten, sowohl in theoretischen Modellen als auch mit Labor- oder Feldversuchen befassten (siehe z.B. Wolf, 2014 [2] und dort zitierte Arbeiten). Dabei wird deutlich, dass die Durchlässigkeit von Lockergesteinen von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. Einer der mitunter wichtigsten Faktoren dürfte die Korngrößenverteilung sein. Der Wassertransport in Lockergesteinen findet im Zwischenraum zwischen den Bodenteilchen statt, also in untereinander verbundenen Poren des mehr oder weniger dicht gelagerten Haufwerks. Isolierte Poren, welche nicht mit dem Gesamtporensystem verknüpft sind, leiten auch kein Wasser. Es leuchtet deshalb ein, dass sämtliche Faktoren, welche die Bildung dieses Gesamtporensystems beeinflussen auch einen Einfluss auf die Wasserdurchlässigkeit haben. Für die Betrachtung der Reproduzierbarkeit einer Prüfmethode (also prinzipiell Wiederholungen an "gleichen" Materialproben bei "gleichen"

Randbedingungen) sind hierbei die intrinsischen Faktoren massgeblich, also jene Gegebenheiten, die bei der Herstellung des Probekörpers und der Handhabung resp. Bedienung des Prüfgeräts aktiv gesteuert werden können.

Es ist naheliegend, dass bei abnehmendem Gesamtporenvolumen einer Probe auch die Durchlässigkeit kleiner wird. Die Lagerungsdichte des Probenmaterials bzw. die volumenbezogene Verdichtung der Probe wird als Rahmenbedingung des Prüfsystems vorgängig definiert (z.B. mit einer Ziel-Trockendichte oder mit einer volumenbezogenen, einheitlichen Verdichtungsenergie) und kann somit als "konstant" angenommen werden. Dasselbe gilt für die Materialzusammensetzung. Die Probenvorbereitung vor dem Einbau in das Prüfgerät erfolgt gem. den einschlägigen Grundprinzipien gem. der Norm EN 932-2 [40] (Teilung und Herstellung der Messproben mittels fraktionalem Schaufeln; siehe **Abb. 9**), welche gewährleisten, dass einzelne Messproben so homogen wie möglich hergestellt werden können. Hierbei ist anzumerken, dass auch bei sorgfältiger und sachgemässer Probenhomogenisierung und -teilung stets eine gewisse Heterogenität zwischen einzelnen Messproben verbleibt. Diese unvermeidlichen Unterschiede bei der Materialzusammensetzung fliessen somit als "zufällige" Einflussfaktoren in die Betrachtung von Wiederhol- und Vergleichsversuchen mit ein. Geht man nun davon aus, dass im Rahmen von Wiederhol- bzw. Vergleichsversuchen nebst der Lagerungsdichte (siehe oben) auch die Probenzusammensetzung (also die Materialart und deren Korngrössenverteilung) als "konstant" betrachtet werden kann, so verbleiben im Wesentlichen 3 massgebliche Einflussgrössen, die das Prüfergebn bei der Durchlässigkeitsprüfung im Permeameter beeinträchtigen:

- Vorgehen bei der Verdichtung des Probekörpers (Homogenität der Verdichtung im betrachteten Probenvolumen, also laterale und vertikale Dichteunterschiede innerhalb des Permeameters)
- Wahl des Einbauwassergehalts (versuchstechnische Optimierung der Porenstruktur)
- Vorgehen bei der Sättigung (Erreichung eines möglichst hohen Sättigungsgrads während der Prüfung)

Im Folgenden werden diese Punkte kurz erläutert, wobei ebenfalls die Erkenntnisse aus den Vergleichsversuchen und die daraus abgeleiteten Massnahmen für die Spezifizierung des Prüfverfahrens erklärt werden. Dabei sind der Einbauwassergehalt und die Sättigung des Probekörpers eng miteinander verbunden, weshalb diese beiden Einflussfaktoren gemeinsam betrachtet werden müssen.

7.6.1 Verdichtung des Probekörpers

Um Ergebnisse von Wasserdurchlässigkeitsprüfungen verschiedener Kiesgemische untereinander vergleichen zu können, werden die Laborprüfungen bei einer einheitlichen Verdichtung durchgeführt. Gleich wie bei den CBR-Versuchen wird auch bei den k-Wert-Bestimmungen üblicherweise die maximal Trockendichte aus dem Proctorversuch als Ziel-Dichte gewählt.

Die Herstellung des Probekörpers kann dabei nach dem in der SN EN 13286-2 [37] definierten Verfahren über die volumenbezogene Verdichtungsenergie erreicht werden (also mit einem normierten Fallgewicht, einer definierten Anzahl Schichten und Verdichtungsschlägen und einer kontrollierten Fallhöhe des Fallgewichts). Ergebnisse aus Ringversuchen (z.B. [16]) haben jedoch gezeigt, dass dieses streng auf die nominelle Verdichtungsenergie fokussierende Verfahren trotz allem eine relativ grosse Messunsicherheit aufweist. Vorversuche im Rahmen dieses Projekts haben gezeigt, dass die gewünschte Dichte mit einer besseren Reproduzierbarkeit erreicht wird, wenn die für die Probekörperherstellung notwendige Materialmenge vorgängig berechnet wird und das Verdichtungsverfahren anschliessend so gewählt wird, dass die gesamte abgewogene Materialmenge homogen in den Permeameter eingebaut wird. Die für die Probekörperherstellung benötigte Probenmenge kann anhand folgender Formel berechnet werden:

$$M = V \times \rho_d \times \left(1 + \frac{w}{100}\right)$$

mit:

M = Probenmasse in [g]

V = Volumen des Permeameters ("Topf") in [ml]

ρ_d = Zielwert der Trockendichte (i.d.R. die maximale Trockendichte aus dem Proctorversuch) in [Mg/m³]

w = Wassergehalt des Gemischs beim Einbau in [Masse-%]

Dieses Verfahren ist nicht neu, sondern wird z.B. auch für Materialprüfungen von Kiesgemischen im Sportplatzbau gem. DIN 18035-4 [33] angewendet. Auch die Prüfmethode nach SN EN ISO 17892-11 [30] (siehe Normziff. 6.2.2.1) lässt eine derartige Probekörperherstellung explizit zu.

Bei den im Rahmen dieser Forschung durchgeführten Vergleichsuntersuchungen wurde dieses Verfahren getestet. Es zeigte sich, dass die resultierende Trockendichte der Probekörper eine sehr geringe Streuung aufweist und die Zieldichte mit guter Präzision erreicht werden kann (siehe z.B. **Abb. 14**). Bei den weiterführenden Untersuchungen an Probe Nr. 41 im Rahmen der Methodenentwicklung wurde allerdings festgestellt, dass das Verdichtungsverfahren mit dem Proctorgerät je nach Anwendung zu einer heterogenen Dichteverteilung im Probekörper führen kann. Das heisst, die "Gesamttrockendichte" des Probekörpers (also die eingebaute Materialmenge bezogen auf das gesamte Topfvolumen) entspricht zwar dem Zielwert, allerdings ist die Dichteverteilung in kleinerem Massstab (z.B. lateral oder über die Probekörperhöhe betrachtet) nicht homogen. Für die Durchlässigkeitsprüfung bedeutet dies, dass innerhalb des Probekörpers Zonen mit höherer und geringerer Wasserdurchlässigkeit existieren, was sich wiederum negativ auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse auswirken kann. Als Gründe für die Entstehung solcher "Dichtegradienten" sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen (siehe auch schematische Darstellungen in **Abb. 15**):

- **Vertikale Dichtegradienten:** Die Verdichtung des Probenmaterials erfolgt schichtweise. Die Schichtdicken bei der Proctor-Verdichtung sind jedoch nicht zwingendermassen gleich dick (die SN EN 13286-2 [37] schreibt in Ziff. 7.1.3 vor, dass z.B. bei einem 3-schichtigen Einbau pro Schicht so viel des durchfeuchteten Gemisches in den Proctortopf gefüllt wird, dass dieses im verdichteten Zustand "etwa 1/3 der Topfhöhe" einnimmt). Je nach individueller Arbeitsweise können also innerhalb eines Probekörpers unterschiedlich stark verdichtete Schichten resultieren. Diese Einflussgrösse ist zusätzlich materialabhängig. Gemische mit höherem Feinanteil neigen i.d.R. zu höheren vertikalen Dichteunterschieden.
- **Laterale Dichtegradienten:** Je nach verwendetem Proctorverdichtungsgerät existiert an der Mantelfläche der Probe (entlang der Permeameterwand) eine mehr oder weniger breite Randzone, die weniger stark verdichtet wird als der zentrale Bereich des Probekörpers. Der Grund hierfür ist der "geometrische Spielraum" über den die meisten Geräte verfügen, womit verhindert wird, dass der Proctorhammer beim Runterfallen auf den Rand des Probezylinders (Permeameter) aufschlägt.

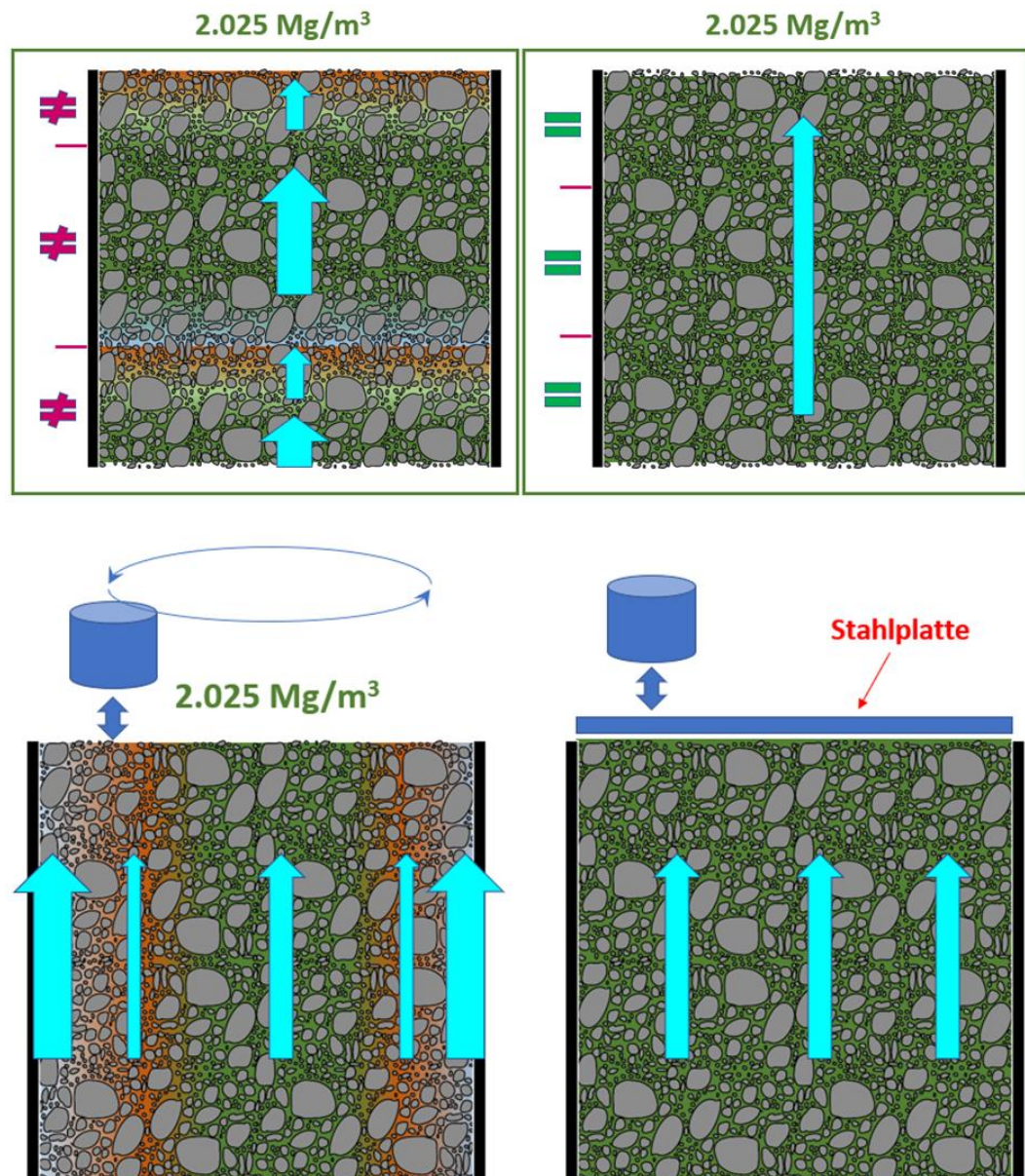


Abb. 15 Schematische Darstellung wie vertikale (links oben) und laterale Dichtegradienten (links unten) im Probekörper für Durchlässigkeitsprüfungen entstehen können und welche Massnahmen im Projekt getroffen wurden um diese zu verhindern (rechts oben und rechts unten; Details siehe Text). Farbunterschiede (Grün-Orange) symbolisieren Dichteunterschiede und die verschieden dicken blauen Pfeile symbolisieren unterschiedliche Durchlässigkeiten.

Solche Dichtegradienten wie oben beschrieben, spielen beim Proctorversuch für die Bestimmung der maximalen Trockendichte und des optimalen Wassergehalts prinzipiell nur eine untergeordnete Rolle. Beim Proctorversuch ist lediglich die Dichte über das Gesamtvolumen ausschlaggebend. Auch beim CBR-Versuch ist diese Einflussgrösse wahrscheinlich weniger relevant, da der Tragfähigkeitsindex schlussendlich immer an der Probenunterseite (also an der *per se* "am stärksten verdichteten" Stelle) geprüft wird. Bei der Durchlässigkeitsprüfung, welche eine homogene und laminare Durchströmung des gesamten Probenvolumens voraussetzt, dürften Dichtegradienten hingegen eine wesentlich wichtigere Rolle spielen. Bei der Datenanalyse ist davon auszugehen, dass zumindest ein Teil der auffälligen (d.h. stark streuenden) Ergebnisse aus den vorgängigen Vergleichsversuchen (siehe Kapitel 7.5 und **Abb. 14**) auf dieses Phänomen zurückzuführen sind. Für die Verbesserung der Reproduzierbarkeit wurden daraus folgende Massnahmen abgeleitet:

- Die Versuche bei TFB und BSL zeigten, dass ein 3-schichtiger Einbau bei der Prüfung von Kiesgemischen zweckmässig ist.
- Die für die Herstellung des Probekörper berechnete und abgewogene Probenmenge (abhängig von der Ziel-Trockendichte) wird in 3 gleich grosse Teilmengen abgewogen (Toleranz $\pm 3...5$ g).
- Bei der Verdichtung wird laufend die Schichtdicke kontrolliert (z.B. Abstich ab Topfkante auf die Stahlplatte). Die 3 Schichten werden auf $\pm 1...2$ mm gleich auf jeweils ein Drittel der Höhe des Permeameters eingebaut (**Abb. 14**, oben rechts). Vor dem Einbau der nächsten Schicht wird die Oberfläche der darunterliegenden Schicht mit einem geeigneten Werkzeug aufgeraut. So werden diskrete Trennschichten innerhalb des Probekörpers vermieden.
- Um laterale Dichtegradien zu vermeiden, wird jede Teilmenge über eine passende Stahlplatte, welche auf die Oberfläche der Schicht gelegt wird, verdichtet (**Abb. 14**, unten rechts)
- Bei der Verdichtung der letzten Schicht wird der Aufsatzring auf dem Permeameter kurz vor Schluss abgenommen (bei ca. 1...2 mm überstehendem Material). Anschliessend wird die restliche Verdichtung über eine Stahlplatte ausgeführt, die einen etwas grösseren Durchmesser aufweist als der Permeameter. So wird gewährleistet, dass die Probenoberfläche zum Schluss bündig zur Oberkante des Permeameters ist.

Es ist naheliegend, dass je nach Materialzusammensetzung (Korngrössenverteilung, Kornform, Petrographie) verschiedene Materialien unterschiedlich auf das Verdichtungsverfahren reagieren. Es ist jedoch nicht das Ziel, ein materialspezifisches Verfahren zu entwickeln und verschiedene Materialtypen bei der Prüfkörperherstellung unterschiedlich zu behandeln. Die o.g. Massnahmen verfolgen vielmehr den Zweck, das Herstellungsverfahren des Prüfkörpers zu standardisieren und so die Reproduzierbarkeit des Versuchs zu verbessern.

7.6.2 Wahl des Einbauwassergehalts

Die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwerts setzt per Definition die Anwendung des Fliessgesetzes von Darcy (1856) [13] für laminare Wasserströmung unter gesättigten Bedingungen voraus. Im Kiesgemisch eingeschlossene Luftblasen und in Kornzwischenräumen physikalisch "gespanntes" Wasser behindern die laminare Durchströmung des Probekörpers, wodurch Durchlässigkeitsbeiwerte resultieren, die um mehrere Grössenordnungen kleiner sein können als der zu erwartende materialspezifische k-Wert nach dem Gesetz von Darcy (z.B. Wolf, 2014 [2]). Wie und bis zu welchem Grad eine vollständige Sättigung des Probekörpers erreicht wird, ist somit eine massgebliche Einflussgrösse bei der Bestimmung des k-Werts. Gem. verschiedener Studien (z.B. Floss & Berner, 1992 [18], Randolph et al., 2000 [20]), kann davon ausgegangen werden, dass sich ein Gemisch bereits ab einer Sättigung von 80%, wie ein vollständig gesättigter Boden verhält. Die im Gemisch enthaltenen Luftblasen sollen von da an in der Lage sein, einen positiven Wasserdruck übertragen zu können, weil sie diskontinuierlich verteilt sind und sich nicht mehr bewegen (Wolf, 2014 [2]).

Die Schwierigkeit der Probensättigung ist also ein zentraler Punkt bei Durchlässigkeitsversuchen. Deshalb wurden die Prüfverfahren in der DIN 18130-1 [31] (welche schliesslich als Grundlage für die heute gültige SN EN ISO 17892-11 [30] diente) in ihrer ursprünglichen Form auch für einen Trockeneinbau des zu prüfenden Bodens entwickelt. So sollte der Einfluss von gespanntem Wasser reduziert werden und durch die Sättigung mit entlüftetem Wasser wurde dem Einführen von Luftblasen entgegengewirkt (siehe Details in Wolf, 2014 [2]). Diese Festlegungen hatten zum Ziel, im Versuch einen Sättigungsgrad von nahezu 100% zu erreichen. Für Kiesgemische ist ein Trockeneinbau jedoch nicht praktikabel. Die Ziel-Dichte (max. Trockendichte gem. Proctorversuch) wäre kaum erreichbar, da das "Schmiermittel" (Wasser) zur Überwindung des Reibungswiderstands zwischen den Gesteinskörnern fehlt. Das Resultat wäre eine wesentlich höhere notwendige Verdichtungsenergie, welche gleichzeitig in einer verstärkten Kornzertrümmerung und Bildung von Feinanteilen resultieren würde, welche wiederum die Wasserdurchlässigkeit des Gemischs beeinflussen würde (siehe Randolph et al. 2020 [20]).

Wird im Gegensatz zum Trockenverfahren ein Probekörper mit einem "optimalen" Verdichtungswassergehalt verdichtet, so wird zwar die notwendige Verdichtungsarbeit für das Erreichen einer Zieldichte reduziert und nachteilige Effekte wie die Kornzertrümmerung werden ebenfalls minimiert. Gleichzeitig werden jedoch unweigerlich Luftblasen, die sich bereits im vorbereiteten Ausgangsgemisch befinden, im verdichteten Probekörper eingeschlossen. Unter Berücksichtigung dieser Effekte hat Keppler (1986) [19] in einer Studie gezeigt, dass der Einbauwassergehalt bei der Verdichtung eines Kiesgemischs – bei konstant gleicher Dichte – einen wesentlichen Einfluss auf die Durchlässigkeit hat. Es zeigte sich, dass zur Herstellung von Probekörpern mit "reproduzierbarem" Porensystem nebst einer "gleichen" Dichte und einer "gleichen" Korngrössenverteilung auch ein "gleicher" Wassergehalt notwendig ist (Wolf, 2014 [2]). Bei der Verdichtung entsteht ein Porensystem, welches eine gewisse Porengrössenverteilung aufweist. Bei höheren Wassergehalten und geringerem Verdichtungswiderstand entsteht gem. den Untersuchungen von Keppler (1986) [19] ein System mit vielen kleinen Poren, welches Wasser in geringerem Umfang abführen kann. Bei niedrigerem Wassergehalt und somit etwas höherem Verdichtungswiderstand entsteht ein besser abgestuftes Porensystem (unterschiedliche Porengrössen), welches ebenfalls gröbere Poren enthält, die untereinander besser vernetzte kommunizierende Hohlräume bilden. In solch einem System kann tendenziell mehr Wasser abgeführt werden.

Ein solches "besser vernetztes" Porensystem ist aus technischer Sicht zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit von Laborversuchen deutlich vorteilhafter. Beim Aufsättigen des Probekörpers vor der 1. Messung der Durchflussrate kann so im Probekörper eingeschlossene Luft wesentlich besser entweichen, als wenn sie als isolierte, kleine Luftbläschen in den Kornzwischenräumen vorliegt. Keppler (1986) [19] kam zum Schluss, dass für Laborversuche eine Probekörperherstellung bei 70% des optimalen Wassergehalts aus dem Proctorversuch zweckmässig ist. Der Nachteil, dass die damit im Laborversuch erzielbaren Sättigungsgrade immer noch geringer sind (< 100%) als bei einem Trockeneinbau, wird durch die bessere Reproduzierbarkeit und die praxisorientierteren Versuchsbedingungen aufgewogen (Wolf, 2014 [2]).

Um die dargelegten Zusammenhänge zu testen, wurden Vergleichsversuche am Probenmaterial Nr. 41 durchgeführt. Dabei wurden k-Werte von Probekörpern, welche sowohl bei 100% als auch 70% optimalem Wassergehalt verdichtet wurden, miteinander verglichen. Dabei ist es für die Anwendung in der Laborpraxis wichtig, die Zusammenhänge zwischen dem Wassergehalt, der erreichbaren Dichte des Gemischs und der anzuwendenden Verdichtungsenergie korrekt zu verstehen. Wird ein Gemisch mit 70% anstatt 100% des optimalen Wassergehalts verdichtet, so wird zur Erreichung der maximalen Trockendichte ("Proctordichte") logischerweise eine etwas höhere Verdichtungsenergie benötigt. Durch den etwas geringeren Wassergehalt erhöht sich der innere Reibungswiderstand des Gemischs. Das heisst, die Verdichtungsleistung ist in absoluten Zahlen etwas höher als beim vorgängig ausgeführten Proctorversuch (wobei das Ausmass wiederum abhängig von der Materialbeschaffenheit ist; siehe oben).

Die Ergebnisse der durchgeführten Vergleiche sind in **Abb. 16** dargestellt. Die Resultate widerspiegeln die Erkenntnisse von Keppler (1986) [19] recht deutlich. Diejenigen Proben, die "trockener" verdichtet wurden weisen im Mittel bei vergleichbarer Trockendichte einen etwas höheren k-Wert (höhere Durchlässigkeit) auf als die Proben, welche bei optimalem Wassergehalt in den Permeameter eingebaut wurden. Gleichzeitig weisen die Prüfungen bei 70% w_{opt} eine deutlich kleinere Streuung auf als die Proben bei 100% w_{opt} . Zudem zeigten die Vergleichsversuche mit der 2. Prüfstelle (TFB; orange Dreiecke), dass mit dieser Prüfmethode eine wesentlich bessere Reproduzierbarkeit zwischen den Labors erzielt werden konnte als bei den Vorversuchen, die bei 100% w_{opt} durchgeführt wurden (siehe Kapitel 7.5.2 bzw. **Abb. 14**). Die Variationsbreite bei den Resultaten mit 70% w_{opt} liegt im Bereich von $7.9 \cdot 10^{-6}$ bis $1.1 \cdot 10^{-5}$ m/s (weniger als Faktor 2 bzw. klar innerhalb einer 10er-Potenz). Der Streubereich ist im Vergleich zu den Ergebnissen bei einer Verdichtung mit 100% w_{opt} also deutlich kleiner (sowohl bei Probenmaterial Nr. 2 als auch Nr. 41 über eine bis zwei 10er-Potenzen). Die bereits von Keppler (1986) [19] aufgezeigten Empfehlung eines reduzierten Einbauwassergehalts führt demnach zu einer deutlich besseren Aussagekraft der Laborprüfung. Es wird also empfohlen – im Gegensatz zur momentanen Festlegung in der SN EN 13285 [42] (Ziff. 13.5.2) – für die Prüfung von ungebundenen Gemischen inskünftig ebenfalls ein Einbauwassergehalt von 70% w_{opt} festzulegen. Wichtig ist nochmals festzuhalten, dass hierbei die Ziel-Dichte trotzdem gemäss dem "Proctoroptimum" (also der max. Trockendichte ρ_d) beibehalten wird. Das heisst, für die Verdichtung des Probenmaterials im Permeameter ist zwangsläufig eine etwas höhere Verdichtungsarbeit nötig. Gemäss den Angaben von Keppler (1986) [19] und auch aufgrund der eigenen Erfahrungen im Forschungsprojekt ist der "Mehraufwand" bei der Verdichtung mit 70% w_{opt} jedoch unproblematisch und ohne nachteilige Auswirkungen auf das Probenmaterial (z.B. Kornzertrümmerung) zu bewerkstelligen (die Details zur Herstellung der Probekörper sind in der Arbeitsanweisung im Anhang I.1 erläutert). Die einzubauende Materialmenge wird gem. den Ausführungen in Kapitel 7.6.1 berechnet und anschliessend gleichmässig (d.h. mit 3 vorgängig abgewogenen Teilmengen in 3 gleich dicken Schichten) in den Permeameter eingebaut werden.

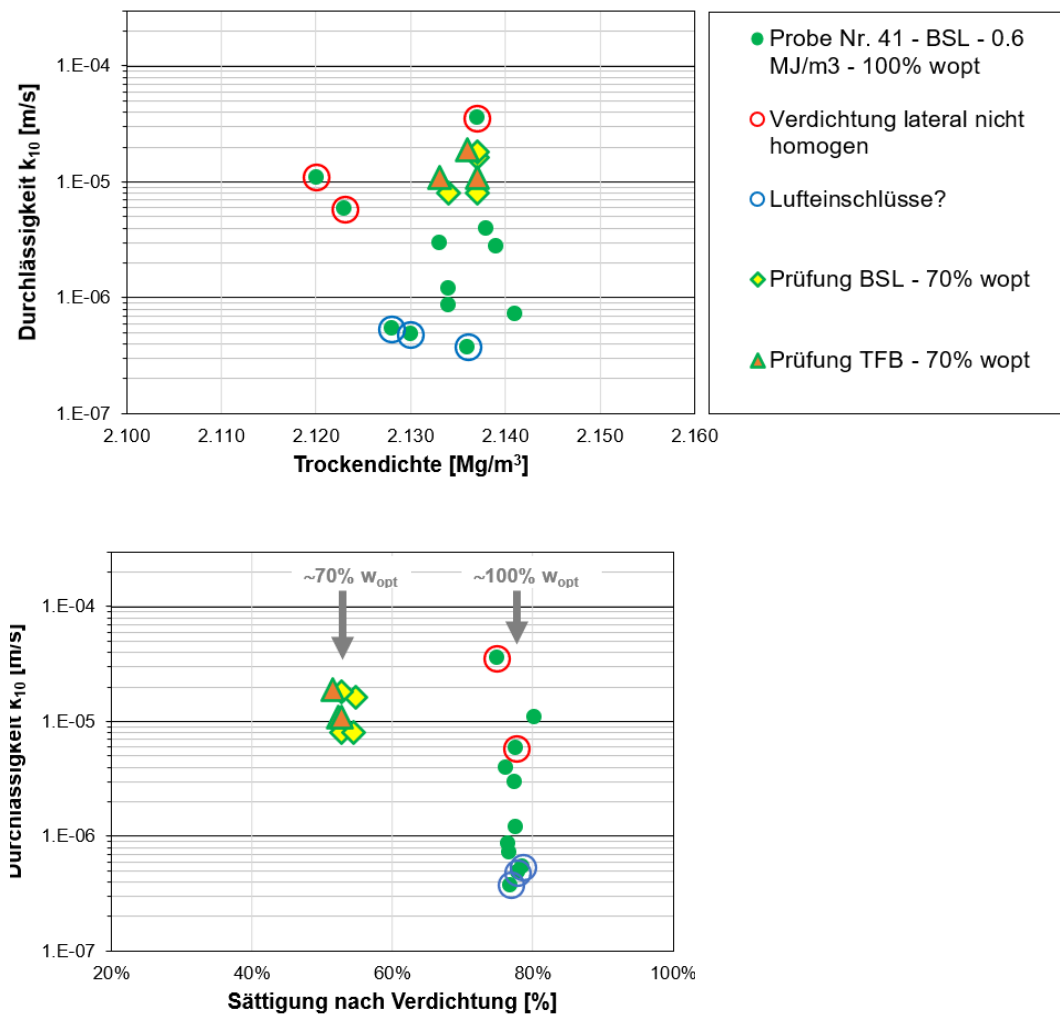


Abb. 16 Ergebnisse der Vergleichsversuche an Probenmaterial Nr. 41. Die rund umrahmten Datenpunkte kennzeichnen Versuche, welche nach nachträglicher Analyse der Daten und Probekörper durch Dichtegradienten oder Lufteinschlüssen (?) beeinträchtigt wurden

Bei den Laborversuchen im Rahmen der Methodenentwicklung wurde neben dem Einbauwassergehalt auch das Verfahren der Probenaufsättigung bis zur 1. Durchflussmessung genauer analysiert. Hierbei handelt es sich um die Arbeitsabläufe, wie die Probe nach der Verdichtung mit dem Proctorhammer in den Durchlässigkeitsprüfstand eingebaut und die Wasserzufuhr angeschlossen wird. Dabei geht es im Wesentlichen darum, den nach der Verdichtung erst teilweise gesättigten Probekörper nach und nach möglichst vollständig aufzusättigen, damit während des Versuchs eine möglichst laminare Strömung im Probekörper erreicht werden kann. Bei den zahlreichen Tests in den beiden Prüfstellen wurden diesbezüglich verschiedene Erkenntnisse gewonnen, welche ebenfalls zu einer besseren Robustheit des Versuchs beitragen. Diese können wie folgt zusammengefasst werden.

- Der Probekörper wird bei der Versuchsanordnung im zylindrischen Permeameter (SN EN ISO 17892-11 [30] Ziff. 5.2.2.2) von unten nach oben mit Wasser durchströmt. Damit beim Aufsättigen der Probe keine Luft von unten im Probekörper eingeschlossen wird, ist es deshalb wichtig, dass der Versuchszylinder mit der verdichteten Probe auf die bereits vorgängig wassergesättigte untere Sinterplatte gestellt wird. Der Fuss bzw. die Grundplatte der Durchlässigkeitszelle muss ebenfalls vorgängig mit Wasser aufgefüllt werden. Damit der Probekörper beim Positionieren auf der Grundplatte nicht aus dem Versuchszylinders "herausrutschen" kann (insbesondere bei nicht bindigen

Proben gefährlich), hat sich die Verwendung einer Transportplatte aus dünnem Stahlblech bewährt (Probekörper und Versuchszylinder stehen auf dem Stahlblech; das Ganze wird auf die Grundplatte der Durchlässigkeitszelle gestellt; anschliessend wird die Stahlblechplatte vorsichtig herausgezogen und der Versuchszylinder satt auf die wassergesättigten Grund- bzw. Filterplatte aufgesetzt).

- Im Gegensatz zur unteren Filterplatte muss die obere Filterplatte vor dem verschliessen der Durchlässigkeitszelle trocken (also luftgefüllt) sein. Wenn die obere Filterplatte ebenfalls wassergesättigt ist, können Luftblasen, die bei der Aufsättigung der Probe ausgetrieben werden, nicht nach oben entweichen. Es bildet sich ein Luftpolster zwischen der Oberseite der Probe und der gesättigten oberen Filterplatte, welches eine laminare Durchströmung der Probe behindert.
- Die Aufsättigung der Probe soll möglichst langsam erfolgen (siehe auch SN EN ISO 17892-11 [30], Ziff. 6.3.1.2). Bei den Tests hat sich bewährt, das Niveau "Oberwasser" (also der Wasserspiegel im Vorratstank) vor dem Anschluss des Wasserzuflusses etwa 1 cm über der Oberkante des Probekörpers einzustellen. Anschliessend wird die Wasserzufuhr (Anschluss an der Grundplatte) geöffnet und gewartet, bis sich auf der Oberfläche der Probe ein Wasserspiegel bildet. Erst dann wird der hydraulische Druck erhöht, um schliesslich mit den Durchflussmessungen zu starten.
- Im Laufe des Versuchs ist zu überprüfen, ob das Durchströmungsverhalten dem Fliessgesetz von Darcy entspricht (linearer Strömungsbereich):

$$k = \frac{v}{i} = \text{konstant}$$

wobei k der Durchlässigkeitsbeiwert in [m/s], v die Filtergeschwindigkeit (Quotient aus Durchfluss Q und zugehöriger Querschnittsfläche A senkrecht zur Fliessrichtung in [m/s]) und i der hydraulische Gradient ist (siehe SN EN ISO 17892-11 [30], Ziff. 7.2). Für diese Kontrolle müssen Durchflussmessungen bei mindestens 3 unterschiedlichen hydraulischen Gradienten durchgeführt werden. Wenn die Messpunkte bei einer Aufzeichnung des hydraulischen Gradienten über die Filtergeschwindigkeit auf einer Geraden liegen, so kann der Strömungsbereich als linear angenommen werden (siehe **Abb. 17**).

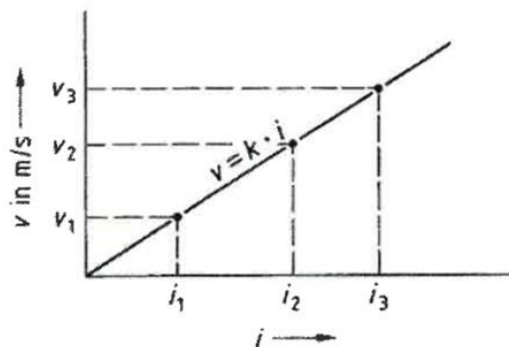


Abb. 17 Beispiel einer Kurve im linearen Strömungsbereich (3 Messpunkte; i = hydraulischer Gradient, v = Filtergeschwindigkeit; Abbildung aus DIN 18130-1 [31])

Bei einer konkaven oder konvexen Kurve ist das Strömungsverhalten nicht linear. So ein Messverlauf deutet i.d.R. auf sich verändernde Randbedingungen in der Probe hin (z.B. Umläufigkeiten, Undichtigkeiten, Kornumlagerungen oder Kolmatierung der Filterplatten). Für Plausibilitätschecks in der Laborpraxis kann eine durch die Messpunkte gelegte lineare Regressionsgerade verwendet werden. Damit die Verhältnisse als "linear" eingestuft werden dürfen, hat sich ein Bestimmtheitsgrad (R^2) von mind. 0.95 bewährt. Messreihen mit $R^2 < 0.95$ sollten genauer analysiert und die Versuche ggf. mit einer neuen Probe wiederholt werden.

- Eine Schwierigkeit der Versuche im zylindrischen Permeameter ist das Erkennen, ob und wann eine Probe "umläufig" ist. Umläufigkeiten entstehen, wenn Wasser entlang der Permeameterwand fliesst und so der Probekörper nicht mehr über den ganzen

Querschnitt bzw. das ganze Volumen gleichmässig durchströmt wird. Der Grund für Umläufigkeiten können Gefügestörungen, Kornumlagerungen oder Mängel bei der seitlichen Abdichtung sein. I.d.R. führen Umläufigkeiten zu einer Überschätzung der Durchlässigkeit. Entsteht eine Umläufigkeit erst während dem Versuch, so kann diese oft über die Kontrolle des linearen Strömungsverhaltens erkannt werden (die Kurve i vs. v wird z.B. plötzlich konvex; siehe oben). Besteht die Umläufigkeit jedoch bereits zu Beginn des Versuchs, so kann das Strömungsverhalten trotzdem "scheinbar linear" erscheinen. Ein Hilfsmittel, welches als Test verwendet werden kann, ob der Probekörper über den gesamten Querschnitt durchströmt wird, ist ein Markierungsfarbstoff bzw. "Tracer". Hierzu werden beim Einfüllen der 2. (mittleren) Schicht vor der Verdichtung 2-3 Tropfen Fluorescein-Lösung (0.1% Fluorescein in Ethanol) in die Mitte des Probekörpers gegeben. Wird nun der Probekörper nach dem Aufsättigen über den gesamten Probenquerschnitt durchströmt, färbt sich das an der Oberseite austretende Wasser gelb (das zufließende Wasser ist farblos). Bleibt die Gelbfärbung aus, so kann davon ausgegangen werden, dass die Probe umläufig ist bzw. nicht vollständig durchströmt wird. Dieses Verfahren wurde bei den Versuchsreihen mit der Probe Nr. 41 erfolgreich getestet und anschliessend bei allen folgenden Versuchen angewendet.

Abschliessend betrachtet besteht also eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen aus den Vergleichsversuchen und der Methodenentwicklung und vorhandener Erkenntnisse aus der Literatur. Dies zeigt, dass die vorgeschlagene Prüfmethode nach SN EN ISO 17892-11 [30] (Permeameter mit starrer Wand) für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von ungebundenen Gemischen geeignet ist. Unter Berücksichtigung der Präzisierungen zur Herstellung der Probekörper (Verdichtungsverfahren), zum Einbauwassergehalt (70% w_{opt}) und zur Aufsättigung der Proben vor der 1. Durchflussmessung konnte die Reproduzierbarkeit der Resultate und somit auch die praxistaugliche Aussagekraft des Verfahrens wesentlich verbessert werden. Basierend auf diesen Erkenntnissen kann das Prüfverfahren somit als ausreichend robust und präzise eingestuft werden um im Projektablauf zur Phase III (Standortbestimmung an den Typ-Materialien) überzugehen.

8 Resultate Laboruntersuchungen

8.1 Materialklassifizierung

8.1.1 Petrographie und stoffliche Zusammensetzung

Für jede der 14 geprüften Proben (13 Typ-Materialien + Zusatzprobe Nr. 41 für die Methodenentwicklung) wurde zwecks Klassifizierung eine visuelle petrographische Beschreibung der Materialart und der enthaltenen Kornformen durchgeführt. Bei den rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen wurde zusätzlich die stoffliche Zusammensetzung der für die Laborversuche relevanten Kornfraktion (4/16 mm) gem. SN EN 933-11 [35] bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 aufgeführt. Für jede Probe ist zudem im Anhang III.1 ein Datenblatt mit zusätzlichen Angaben und einer Fotodokumentation enthalten.

Tab. 2 Zusammensetzung und Kornform der untersuchten Proben

Probe Nr.	Geologische Provenienz	Petrographische / stoffliche Zusammensetzung	Kornformen
2	Alluvialkies, CH Mittelland	Kalksteine, Kieselkalke, Sandsteine und Kristallingesteine; untergeordnet locker verkittete sekundäre Konglomerate	gut gerundet bis angerundet und teilweise gebrochen
3	Alluvialkies, CH Mittelland	Kalksteine, Kieselkalke, Sandsteine und Kristallingesteine	gut gerundet
4	Flusskies, Wallis	Kristallingesteine (Granite, Gneise, Quarzite und Schiefer; z.T. sehr schichtsilikatreich); untergeordnet Kalk- und Sandsteine	angerundet bis kantig
5	RC-Kiesgemisch B	52% Betonabbruch (Rc) 46% natürliche Gesteinskörnung (Ru) 2% Ausbauphosphat (Ra)	(gerundet) angerundet bis kantengerundet sowie teilw. gebrochen
9	Alluvialkies, CH Mittelland	Sandsteine und kieselige bis sandige Kalksteine; untergeordnet helle Kalksteine und Kristallingesteine	angerundet bis kantig und teilweise gebrochen
11	RC-Betongranulat gemisch	82% Betonabbruch (Rc) 17% natürliche Gesteinskörnung (Ru) 0.2% Ausbauphosphat (Ra)	(gerundet) angerundet bis kantengerundet sowie teilw. gebrochen
12	Felsgebrochen Tessin	Kristalline Gesteine (Granite, Gneise, teils schichtsilikatreich) und Quarzite	gebrochene Körner, teilw. gut gerundet bis angerundet
16	Felsgebrochen Jura	Jurakalke	kantig bis scharfkantig
24	Alluvialkies Graubünden	Kristallingesteine (Gneise, Granite, Quarzite und Metabasite), sandige bis kieselige Kalksteine, untergeordnet Sandsteine und Radiolarite	gerundet bis angerundet, vereinzelt gebrochene Körner
26	RC-Betongranulat gemisch	66% Betonabbruch (Rc) 34% natürliche Gesteinskörnung (Ru) 0.6% Ausbauphosphat (Ra)	(gerundet) angerundet bis kantengerundet sowie teilw. gebrochen
29	RC-Kiesgemisch B	57% Betonabbruch (Rc) 43% natürliche Gesteinskörnung (Ru) 0.1% Ausbauphosphat (Ra)	gerundet bis kantengerundet sowie teilw. gebrochen
33	Felsgebrochen Kalkalpen	sandig/kieselige Kalksteine, Kieselkalke, rote Sandsteine und Grauwacken ("Verrucano")	kantig bis scharfkantig
40	Alluvialkies CH Mittelland	Kalksteine, Kieselkalke, Sandsteine und Kristallingesteine	gut gerundet bis angerundet
41*	Alluvialkies CH Mittelland	Kalksteine, Kieselkalke, Sandsteine; untergeordnet Kristallingesteine und Quarzite	kantig bis angerundet

* zusätzliche Probe, welche für den Teil der Methodenentwicklung verwendet wurde (siehe Kapitel 7.6)

8.1.2 Korngrößenverteilung

Von jeder Probe wurde vorgängig die Korngrößenverteilung mittels Nasssiebung gemäss SN EN 933-11 [35] bestimmt. Die Ergebnisse sind tabellarisch im Anhang II.1 aufgeführt und grafisch (Siebkurven) in **Abb. 18** illustriert.

In **Abb. 19** ist zusätzlich das Spektrum der einzelnen Siebkurven in Bezug auf die für die Proctor-, Durchlässigkeits- und CBR-Versuche relevanten Kornklasse 0/16 mm abgebildet.

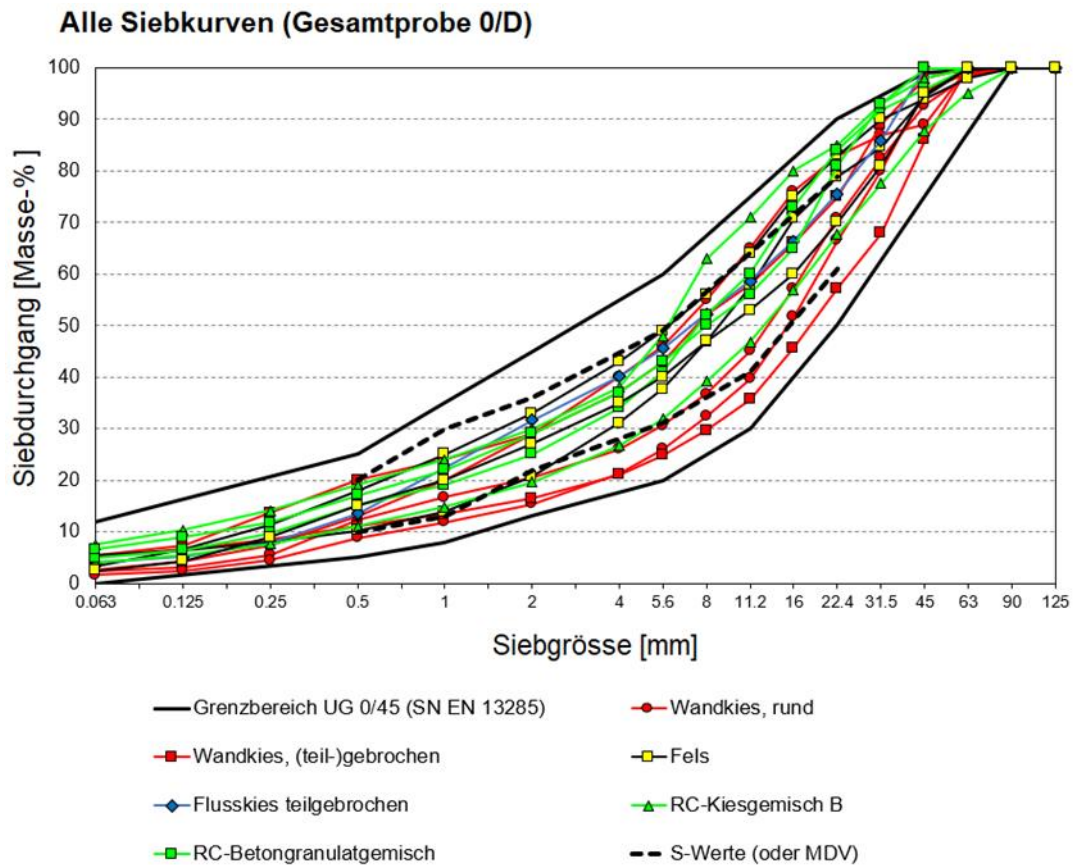


Abb. 18 Siebkurven von allen 13 Typ-Materialien (ungebundene Gemische 0/45) inkl. allgemeiner Grenzbereich 0/45 und MDV (manufacturers declared value)-Bereich gemäss SN EN 13285 [42]

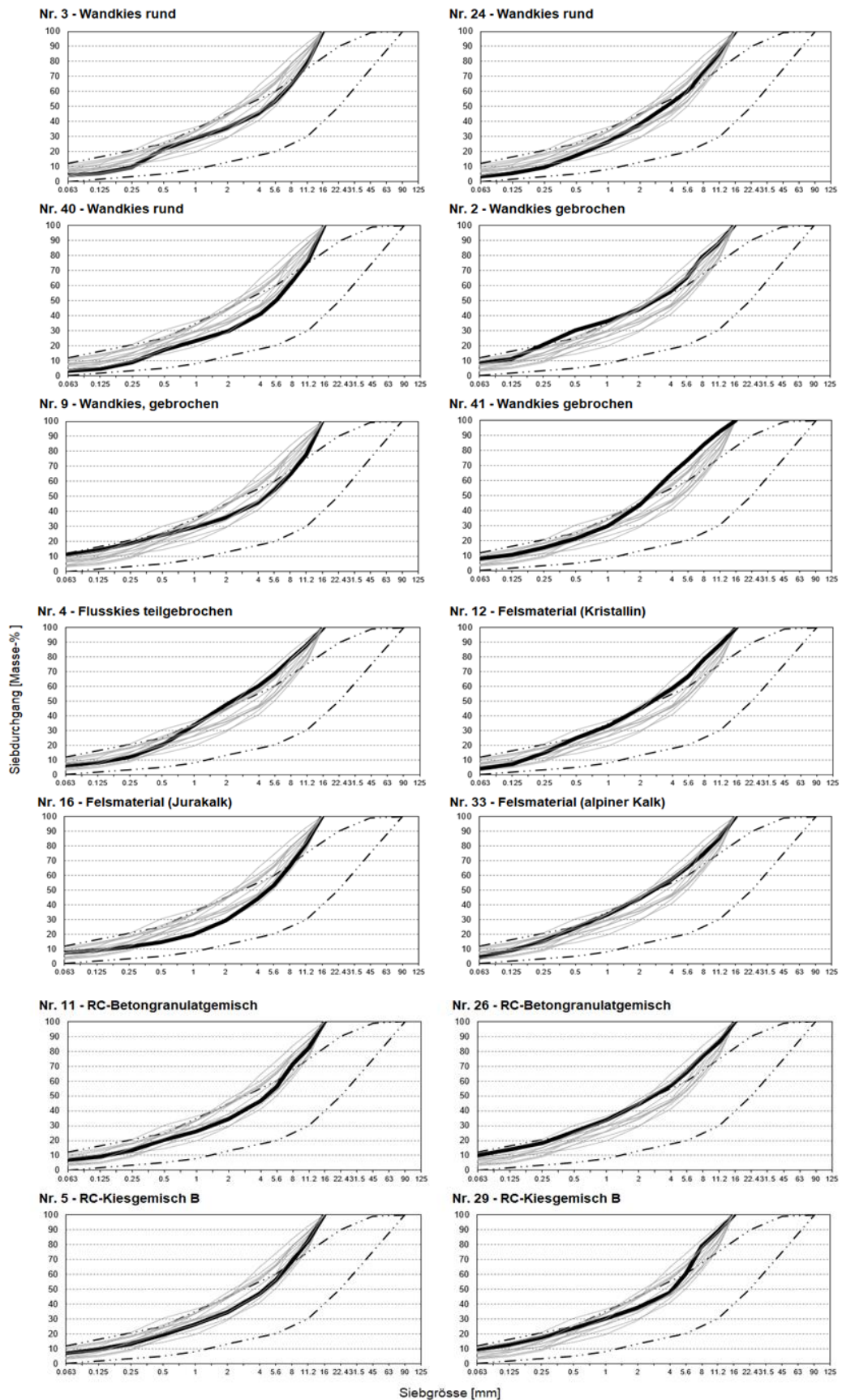


Abb. 19 Normalisierte Siebkurven in Bezug auf die im Labor geprüfte Kornfraktion 0/16 mm (Siebdurchgang bei 16 mm = 100 Masse-%) der untersuchten Proben; die dünnen, grauen Linien kennzeichnen das Gesamtspektrum aller 14 Proben; gestrichelte Linien = Grenzbereich Kategorie 0/45 gem. SN EN 13285

8.1.3 Proctorversuche

Als Grundlage für die Durchlässigkeitsversuche wurde von allen Proben zwei Verdichtungsversuche Proctor gem. SN EN 13286-2 [37] durchgeführt:

- Zuerst ein Proctor-Standardversuch bei einer Verdichtungsenergie von 0.6 MJ/m^3 , wie er als Basis z.B. für die Durchlässigkeitsprüfung von Kiesgemischen im Gleisbau (Kiessand PSS), im Deponiebau oder im Sportplatzbau angewendet wird (siehe Details in Kapitel 4.3.1).
- Anschliessend ein zweiter Proctorversuch bei der doppelten Verdichtungsenergie (1.2 MJ/m^3) wie für die Prüfung von ungebundenen Gemischen gem. SN EN 13285 [42] vorgesehen

Beide Versuche wurden jeweils an der Kornklasse 0/16 mm und im Topf B gemäss SN EN 13285 [42] durchgeführt.

Die Ergebnisse (maximale Trockendichte ρ_d und optimaler Wassergehalt w_{opt}) sind in der Tabelle II.2 im Anhang aufgeführt. Für einen besseren Überblick wurden die Proben in **Abb. 20** nach Materialart aufgeteilt und die Proctorkurven einander gegenübergestellt. Anhand dieser Darstellung lassen sich die geprüften Materialien in 3 Gruppen einteilen.

- Die natürlichen Kiesgemische (unabhängig ob rundes, teilgebrochenes oder felsgebrochenes Material) beschreiben eine relativ eng beieinanderliegende Gruppe mit maximalen Trockendichten im Bereich von $2.08 - 2.26 \text{ Mg/m}^3$ und optimalen Wassergehalten zwischen $5.8 - 8.1 \text{ Masse-\%}$
- Die beiden RC-Betongranulatgemische weisen deutlich geringere Trockendichten ($1.83 - 1.91 \text{ Mg/m}^3$) und wesentlich höhere optimale Wassergehalte auf ($11.6 - 12.7 \text{ M.-%}$)
- Die RC-Kiesgemische B liegen zwischen den natürlichen Kiesgemischen und den RC-Betongranulatgemischen mit Trockendichten von $1.96 - 2.07 \text{ Mg/m}^3$ und optimalen Wassergehalten von $8.3 - 11.8 \text{ Masse-\%}$

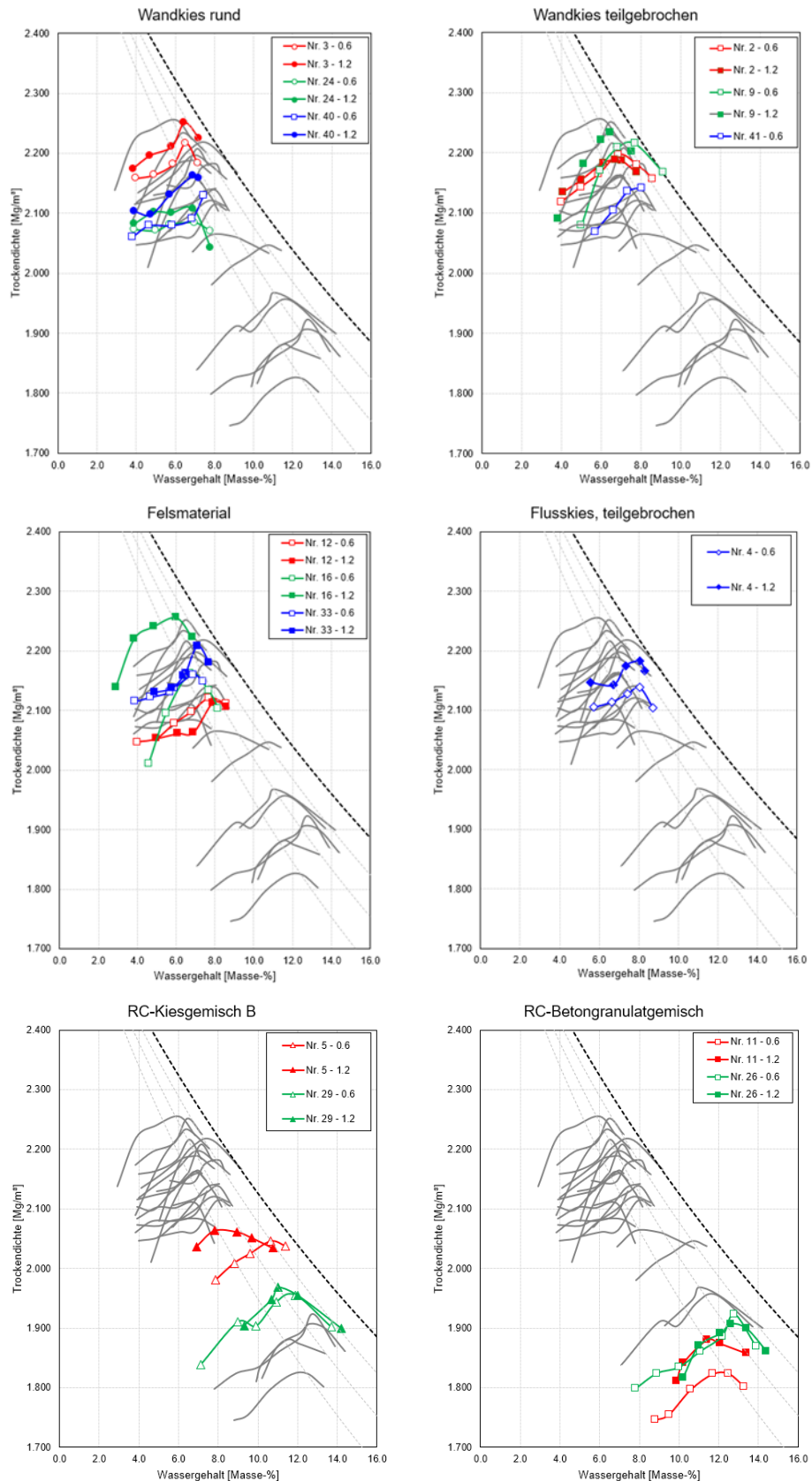


Abb. 20 Gegenüberstellung der Proctorkurven nach Materialart; leere Symbole = Verdichtung mit 0.6 MJ/m³, gefüllte Symbole = Verdichtung mit 1.2 MJ/m³; die grauen Proctorkurven (ohne Symbole) visualisieren jeweils das Gesamtspektrum aller 13 Proben; schwarz gestrichelte Linie = Sättigungslinie (0% Luftgehalt); die \pm parallel dazu liegenden dünnen Linien kennzeichnen die Sättigungsgrade 90, 80 und 70%

Die Unterschiede zwischen den 3 Gruppen bzw. zwischen den verschiedenen rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen korrelieren mit dem Anteil Betonabbruch (R_c) in der geprüften Kornfraktion (0/16 mm). Die Probe Nr. 11 (RC-Betongranulatgemisch) weist den höchsten R_c -Anteil (82 Masse-%; siehe *Tab. 2*) und gleichzeitig die niedrigste Trockendichte und den höchsten optimalen Wassergehalt auf. Die Probe Nr. 5 (RC-Kiesgemisch B) weist mit 52 Masse-% R_c den niedrigsten Betonabbruchanteil auf und liegt am nächsten bei der Gruppe der natürlichen Gesteinskörnungsgemische. Die übrigen beiden RC-Gemische (Proben Nr. 26 und 29) liegen mit 66 und 57 Masse-% R_c -Anteilen dazwischen.

Nebst den 3 Materialgruppen zeigen die Ergebnisse zudem, dass bei den meisten Proben der Proctorversuch mit der erhöhten Verdichtungsenergie – wie zu erwarten – auch in einer etwas höheren maximalen Trockendichte resultierte. Bei 2 Proben (Nr. 2 und 12) wurden bei der höheren Verdichtung entgegen den Erwartungen eine geringfügig kleinere Dichte gefunden. Der Unterschied beträgt jedoch bloss -0.005 resp. -0.007 Mg/m^3 (siehe Tabelle II.2 im Anhang) und dürfte somit im Bereich der methodenbedingten Messunsicherheit liegen. Bei den übrigen Proben liegt die Zunahmen der maximalen Trockendichten im Bereich von +0.006 bis +0.095 (Mittelwert: + 0.036 Mg/m^3).

Um die Plausibilität dieser Resultate besser bewerten zu können, wurden die Ergebnisse mit den Erkenntnissen aus einem früheren VSS-Forschungsprojekt der ETH Zürich verglichen (Rabaiotti et al., 2004 [21]). In dieser Studie wurden die Zusammenhänge zwischen den Verdichtungseigenschaften verschiedener Lockergesteine bei verschiedenen Proctorversuchen im Detail untersucht. Hierzu wurde die Verhältniszahl η definiert, welche den Quotienten aus der Proctordichte bei Standardverdichtung (0.6 MJ/m^3) und einer höheren Verdichtungsenergie beschreibt. Rabaiotti et al. (2004) [21] untersuchten dabei die Zusammenhänge zwischen dem Proctor-Standard (resp. AASHTO-Standard; 0.6 MJ/m^3) und dem Proctor-Modified (resp. AASHTO-Modified; 2.7 MJ/m^3) und fanden für kohäsionslose Kiessande (Bodengruppe GP und GW nach USCS) eine mittlere Verhältniszahl η von 0.97. Bei den im vorliegenden Projekt untersuchten Kiesgemischen (grundsätzlich ebenfalls alles "kohäsionslose Kiessande") resultieren Verhältniszahlen η im Bereich von 0.97 – 1.00 bei einem Mittelwert von 0.98. Der Mittelwert ist somit geringfügig höher als die Ergebnisse von Rabaiotti et al. (2004) [21]. Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass bei den vorliegenden Untersuchungen nicht ein "modifizierter" Proctorversuch mit 2.7 MJ/m^3 , sondern eine "intermediäre" Verdichtung mit 1.2 MJ/m^3 angewendet wurden. Unter diesem Aspekt stimmen die vorliegenden Zusammenhänge zwischen den beiden Proctorversuchen sehr gut mit den vorhandenen Literaturdaten überein und entsprechen somit den Erwartungen.

Der optimale Wassergehalt liegt bei den meisten Proctorkurven im Bereich eines Sättigungsgrads zwischen 70 und 90% (siehe **Abb. 20**). Nur in Einzelfällen (z.B. Probe Nr. 24; siehe Tabelle II.2 im Anhang) wurden Sättigungsgrade ausserhalb dieses Bereichs gefunden. Dieses Gesamtbild stimmt ebenfalls gut mit Angaben aus den Untersuchungen von Rabaiotti et al. (2004) [21] überein, wonach der "absteigende Ast" von Proctorkurven bei einer Sättigung von etwa 75...85% eintreten soll.

8.2 Wasserdurchlässigkeit

Wie in den Kapiteln 2 und 3 dargelegt, besteht die zentrale Zielsetzung des Forschungsprojekts in einer "Standortbestimmung" zur Wasserdurchlässigkeit von im Schweizer Strassenbau bisher erfolgreich eingesetzten ungebundenen Gemischen. Als weiterer Punkt sollte der Einfluss verschiedener Verdichtungsenergien auf den k -Wert untersucht werden. Aus diesem Grund wurden alle 13 gewählten Typ-Materialien bei einer Trockendichte geprüft, welche der maximalen Proctor-Trockendichte bei einer nominellen Verdichtungsenergie von 0.6 und 1.2 MJ/m^3 entspricht¹. Die Prüfung wurde bei konstanter

¹ Der tatsächliche Verdichtungsaufwand bei der Herstellung des Probekörpers für den Durchlässigkeit ist etwas höher als beim Proctorversuch, da der Einbau mit nur 70% des optimalen Wassergehalts erfolgt (siehe Details in Kap. 7.6.2)

Wasserdruckhöhe im zylindrischen Permeameter mit starrer Wand gemäss SN EN ISO 17892-11 [30] durchgeführt. Die Spezifizierung des Verfahrens für die Anwendung an ungebundenen Gemischen wurde in Kapitel 7 im Detail erläutert. Aus den Erkenntnissen dieses methodologischen Teils wurden alle Probekörper bei einem reduzierten Wassergehalt von 70% w_{opt} bis zur Erreichung der maximalen Trockendichte gem. Proctorversuch verdichtet.

An den 13 Typ-Materialien wurden in den beiden beteiligten Prüfstellen gesamthaft 37 Durchlässigkeitsversuche durchgeführt. Jede Probe wurde mindestens einmal bei nominell 0.6 und 1.2 MJ/m³ Verdichtung geprüft. Auffällige oder unsichere Ergebnisse wurden teilweise mit zusätzlichen Versuchen verifiziert. Versuche, welche die in Kapitel 7 definierten Qualitätskriterien nicht erfüllten (z.B. punkto laminarer Strömung, Umläufigkeiten oder dgl.) wurden verworfen und für die folgende Diskussion nicht verwendet. Für die Darstellung der Versuche bei Standardbedingungen ($\rho_{d,max}$ gem. Proctor bei 0.6 MJ/m³) wurden ebenfalls die Ergebnisse aus den Vergleichsversuchen an dem zusätzlich zu Testzwecken beschafften Probenmaterial Nr. 41 (Planiekies 0/16) mitberücksichtigt, so dass schlussendlich eine breit abgestützter Datensatz von insgesamt 44 verwertbaren Durchlässigkeitsversuchen zur Verfügung stand (vgl. Labor-Prüfberichte im Anhang III).

Die Prüfergebnisse sind in der Tabelle II.3 im Anhang zusammengefasst. In den folgenden **Abb. 21** und **Abb. 22** werden die Ergebnisse als k_{10} -Wert (normalisiert auf eine Wassertemperatur von 10°C) gegenüber der Trockendichte des Probekörpers dargestellt. Für die Versuche bei Standardverdichtung (Proctor 0.6 MJ/m³) wurden k_{10} -Werte im Bereich von $1.9 \cdot 10^{-6}$ bis $2.8 \cdot 10^{-4}$ m/s bestimmt. Bei erhöhter Verdichtung (Proctor 1.2 MJ/m³) resultierten gesamthaft etwas niedrigere Werte im Bereich von $5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5}$ m/s. Für die detaillierte Interpretation und Einordnung der Daten wird auf Kapitel 9 verwiesen.

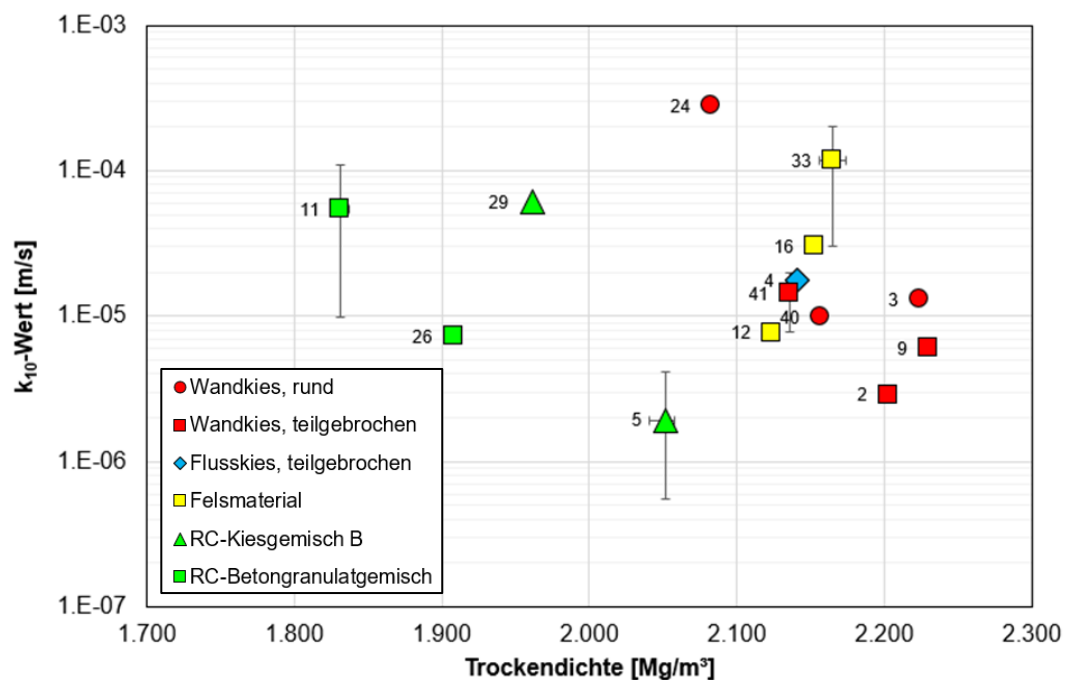


Abb. 21 Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche bei einer Trockendichte, die einer nominellen Verdichtungsenergie "Proctor" von **0.6 MJ/m³** entspricht; die Zahlen links der Datenpunkte entsprechen der Probennummer; Fehlerbalken kennzeichnen den Resultatebereich bei Proben, wo mehr als ein Versuch durchgeführt bzw. berücksichtigt wurde

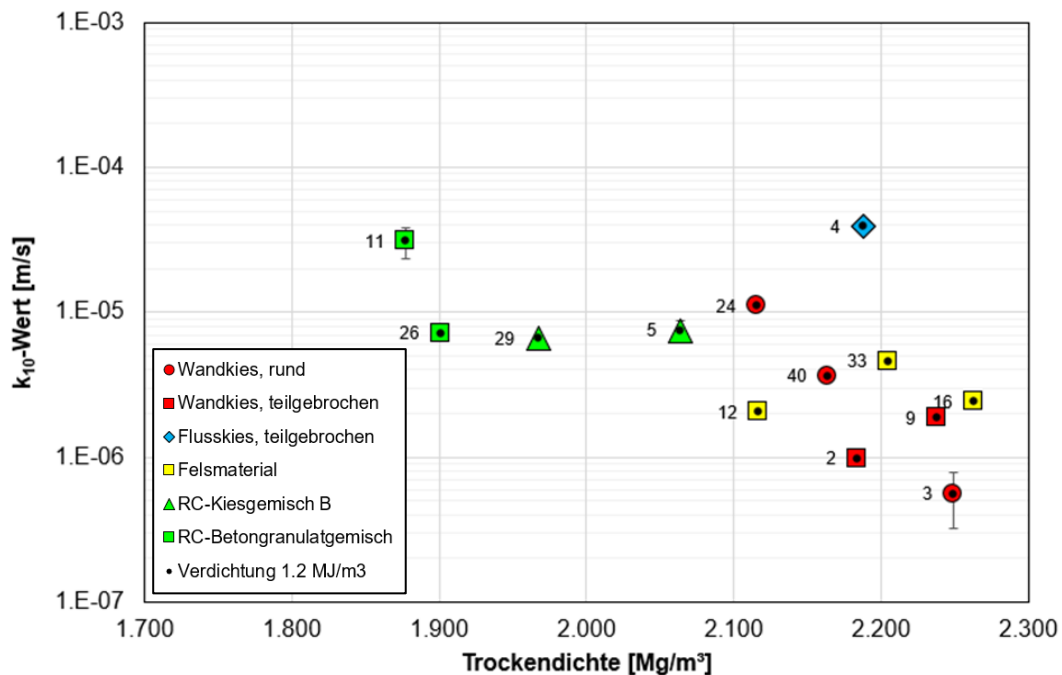


Abb. 22 Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche bei einer Trockendichte, die einer nominellen Verdichtungsenergie "Proctor" von **1.2 MJ/m³** entspricht (Kennzeichnungen gleich wie in **Abb. 21**)

8.3 CBR-Versuche

Wie in Kapitel 4.3 dargelegt, wurden zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen der Wasserdurchlässigkeit ungebundener Gemische und dem Tragverhalten unter Einwirkung von Frost ergänzend CBR-Versuche durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen der Durchlässigkeitsversuche an den 13 Typ-Materialien wurden hierfür 6 Proben ausgewählt².

Die Proben wurden unter folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

- Berücksichtigung möglichst aller im Projekt enthaltenen Materialtypen (runde und teilgebrochene Alluvialkiese, Felsmaterial sowie RC-Kiesgemisch B und RC-Betongranulatgemisch)
- Berücksichtigung des gesamten "Durchlässigkeitsspektrum" (von "stark" bis "schwach" durchlässig gem. **Abb. 21** und **Abb. 22**).

Unter diesen Aspekten wurden folgende 6 Materialproben ausgewählt:

- **Probe Nr. 2:** Wandkies, teilgebrochen; k_{10} (bei 1.2 MJ/m³) = $9.8 \cdot 10^{-7}$ m/s
- **Probe Nr. 3:** Wandkies, rund; k_{10} (bei 1.2 MJ/m³) = $5.6 \cdot 10^{-7}$ m/s
- **Probe Nr. 5:** RC-Kiesgemisch B; k_{10} (bei 1.2 MJ/m³) = $7.5 \cdot 10^{-6}$ m/s
- **Probe Nr. 9:** Wandkies, teilgebrochen; k_{10} (bei 1.2 MJ/m³) = $1.9 \cdot 10^{-6}$ m/s
- **Probe Nr. 11:** RC-Betongranulatgemisch; k_{10} (bei 1.2 MJ/m³) = $3.1 \cdot 10^{-5}$ m/s
- **Probe Nr. 33:** Felsmaterial; k_{10} (bei 1.2 MJ/m³) = $4.6 \cdot 10^{-6}$ m/s

² Im ursprünglichen Projektplan war vorgesehen, an allen Typ-Materialien CBR-Versuche durchzuführen. Im Laufe der Arbeiten zeigte sich jedoch, dass der methodenspezifische Teil wesentlich aufwendiger war als ursprünglich vermutet und mehr Ressourcen des Projekts beanspruchte.

An allen 6 Proben wurde der CBR_1 -Wert nach SN EN 13286-47 [45] (Tragfähigkeitsindex unmittelbar nach der Probenherstellung) und der CBR_F -Wert nach VSS 70 321 [38] (Tragfähigkeitsindex nach Frosthebungsversuch) bestimmt. Auf die Ausführung des CBR_2 -Versuchs (Tragfähigkeit nach 4 Tagen Wasserlagerung) wurde verzichtet (siehe Kapitel 4.3.2).

Die Ergebnisse der CBR-Versuche sind in Tabelle II.4 im Anhang zusammengefasst. Die CBR_1 -Werte liegen im Bereich von 130 bis 210%. Nach dem Frosthebungsversuch wurden CBR_F -Werte im Bereich von 125 bis 175% gefunden. Die Verhältnisse CBR_F/CBR_1 der 6 Proben liegen im Bereich von 0.81 bis 1.25 (Verhältnisse deutlich über 1.0 wurden bei den Proben Nr. 11 und 33 gefunden). Für die Interpretation der Daten und die Zusammenhänge mit der Wasserdurchlässigkeit wird auf Kapitel 9.4 verwiesen.

9 Diskussion

9.1 Beurteilung der Zusammensetzung der ausgewählten Typ-Materialien

In Kapitel 8.1.2 wurde die Zusammensetzung und die Korngrössenverteilung der 13 für diese Studie ausgewählten Typ-Materialien beschrieben. Gem. dem Projektansatz (siehe Kapitel 4) wurde versucht eine möglichst breite Palette an "normkonformen" und in der Praxis bisher "erfolgreich eingesetzten" Produkten auszuwählen, welche sowohl den verschiedenen Materialklassen (natürliche und rezyklierte Gesteinskörnungen) als auch den geologisch/regionalen Unterschiede in der Schweiz Rechnung tragen. Eine solche Auswahl bleibt – auch unter Berücksichtigung der Projektressourcen – stets einigermassen zufällig und behält grundsätzlich lediglich einen Stichprobencharakter. Nichtsdestotrotz zeigt die zusammenfassende Darstellung der Siebkurven (**Abb. 18**), dass die 13 Proben ein sehr breites Feld des Grenzbereichs für ungebundene Gemische der Kategorie 0/45 abdecken. Alle Proben liegen innerhalb des allgemeinen Sieblinienbereichs der Kategorie 0/45 und können somit in Bezug auf die Korngrössenverteilung grundsätzlich als "normkonforme Einzelproben" betrachtet werden. Zudem erfüllen 10 von 13 Proben auch die Anforderungen an die Stetigkeit gem. SN EN 13285 [42] (Normziffer 4.3.4.2). Drei Proben (Nr. 3, 9 und 40) liegen bei der Differenz der Siebdurchgänge im Grobsandbereich (2 und 1 mm) mit 3.1 – 3.7 Masse-% knapp unterhalb des Anforderungsbereichs von 4...15 Masse-%. Bei allen 3 Proben handelt es sich um Wandkiesmaterial, welches im Sandbereich eine leichte Ausfallkörnung – einen sog. "Sandhöcker" – aufweist.

Der Feinanteil (Siebdurchgang bei 0.063 mm) liegt über alle Proben betrachtet im Bereich von 2.4 – 7.5 Masse-%. In den untersuchten Proben ist also einzig der höhere Feinanteilbereich (8...12 Masse-%) nicht vertreten. Solche Materialien sind am Markt – auch aus Risikoüberlegungen der Hersteller – nur sehr selten zu finden und somit für eine repräsentative Selektion "normkonformer" und "erfolgreich eingesetzter" Produkte auch nicht unbedingt relevant.

Von den 9 geprüften natürlichen Gesteinskörnungen weisen 6 Proben einen Feinanteil von < 5 Masse-% auf. Diese Materialien müssten nach geltender SN EN 13285 [42] zurzeit also gar nicht auf die Wasserdurchlässigkeit und Frostepfindlichkeit geprüft werden. Die übrigen 3 Materialien enthalten 5.2 – 5.5 Masse-% Feinanteile und liegen somit nur knapp über dem Schwellenwert.

Die rezyklierten Gesteinskörnungsgemische weisen mit 4.1 – 7.5 Masse-% alle einen Feinanteil über 3 Masse-% (dem niedrigeren Schwellenwert gem. SN EN 13285 [42] für einen Nachweis der Durchlässigkeit und Frostsicherheit für RC-Gemische) auf.

Zusammenfassend decken die gewählten Typ-Materialien also einen grossen Teil des im Schweizer Strassenbau verwendeten Materialspektrums ab. Die Auswahl kann also für die gewünschte Standortbestimmung als ausgewogen betrachtet werden. Einzig der Bereich der erhöht "siltig-sandigen" Materialien konnte leider nicht abgedeckt werden. Dieser dürfte am Markt jedoch ein eher kleines Volumen betreffen.

9.2 Korrelation Durchlässigkeit und Verdichtung

Mit der Gegenüberstellung der Ergebnisse der Proctorversuche bei verschiedenen Verdichtungsenergien (0.6 und 1.2 MJ/m³) und dem Vergleich mit Literaturdaten (Rabaiotti et al. 2004 [21]; siehe Kapitel 8.1.3) konnte eine gute Plausibilisierung der Verdichtungseigenschaften der untersuchten Proben aufgezeigt werden. Diese Bewertung der Proctorversuche ist von entscheidender Bedeutung, da die resultierenden maximalen Trockendichten und optimalen Wassergehalte schlussendlich als Grundlage für die nachfolgenden Durchlässigkeits- und CBR-Versuche verwendet werden. Die Qualität des Proctorversuchs ist somit eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen, damit weitere

Eigenschaften wie die Wasserdurchlässigkeit oder das Tragverhalten mit brauchbarer Aussagekraft bestimmt werden können.

Die **Abb. 21** und **Abb. 22** deuten auf eine zentrale Korrelation der Ergebnisse hin: Aus beiden Abbildungen lässt sich erkennen, dass Kiesgemische mit einer höheren maximalen Trockendichte aus dem Proctorversuch zu einer geringeren Durchlässigkeit tendieren. Werden die beiden Darstellungen miteinander verglichen, so ist zudem erkennbar, dass die Wasserdurchlässigkeit bei höherer nomineller Verdichtung im Mittel auf ein tieferes Niveau sinkt. Über alle Proben betrachtet, beträgt der Unterschied gesamthaft etwa eine Grössenordnung (von $10^{-6} \dots 10^{-4}$ m/s bei 0.6 MJ/m^3 auf $10^{-5} \dots 10^{-7}$ m/s bei 1.2 MJ/m^3).

In nachfolgender **Abb. 23** sind die Resultate bei den beiden Verdichtungsarten in der gleichen Grafik zusammengefasst dargestellt. Auch hier ist die allgemeine Tendenz von niedrigeren k -Werten bei höheren Trockendichten erkennbar. Zusätzlich zeigt sich, dass sich die Mehrheit der untersuchten Proben bei den beiden Verdichtungsarten erwartungsgemäss verhalten: Bei 11 von 13 Proben wurde bei der erhöhten Verdichtung (Proctor 1.2 MJ/m^3) und der damit verbundenen grösseren (oder gleich grossen) Trockendichte wie erwartet auch eine tiefere Durchlässigkeit gefunden (grüne Pfeile in **Abb. 23**). Zwei Proben (Nr. 4 und 5) zeigen ein unerwartetes Verhalten, d.h. die Durchlässigkeit ist bei höherer Trockendichte grösser.

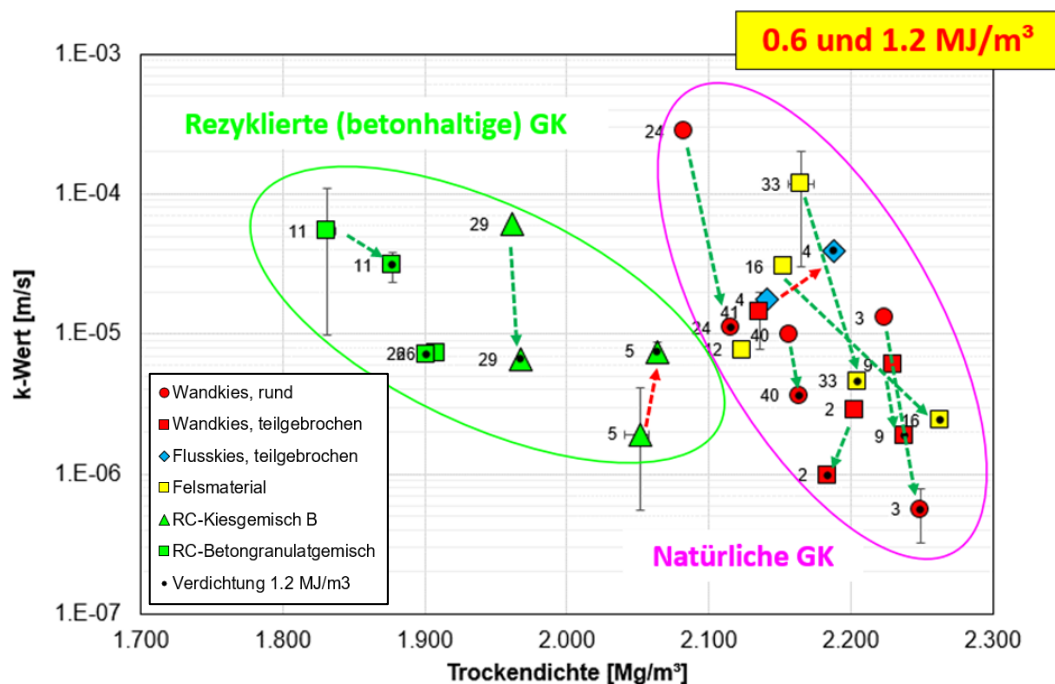


Abb. 23 Kombinierte Betrachtung ("Standard" und "CBR"-Verdichtung) der k -Werte gegenüber der Trockendichte der Probekörper (Legende und Kennzeichnungen, siehe **Abb. 21**); die grünen Pfeile kennzeichnen Wertepaare (0.6 und 1.2 MJ/m^3), die sich "erwartungsgemäss" verhalten, die roten Pfeile kennzeichnen die beiden Proben mit "unerwarteter" Tendenz (höhere Durchlässigkeit bei stärkerer Verdichtung)

In **Abb. 24** ist die berechnete Gesamtporosität³ den k -Werten gegenübergestellt, welche im Vergleich zur Trockendichte eine umgekehrte, generell positive Korrelation aufweist. Diese Darstellung lässt den gegenläufigen Trend bei der Trockendichte (**Abb. 23**) besser einordnen: Wie in Kapitel 7.6 erläutert und aus der Literatur (z.B. Wolf, 2014 [2]) hinlänglich beschrieben, lässt sich die Wasserdurchlässigkeit als Funktion des zur Verfügung stehenden Porengefüges im Korngerüst der Lockergesteins erklären. Grundsätzlich gilt für eine spezifische Materialzusammensetzung: Je höher die Porosität und je besser vernetzt das Porengefüge, desto höher die Durchlässigkeit. Die Verdichtung (und daraus resultierende Trockendichte) ist deshalb die wichtigste Einflussgrösse bei der Beschreibung der Wasserdurchlässigkeit. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass in der Tendenz jene Proben eine tiefere Durchlässigkeit aufweisen, welche sich im Proctorversuch als "besser verdichtbar" zeigen. Interessant ist auch, dass der niedrigste k -Wert bei einer Verdichtung von 1.2 MJ/m^3 an jener Probe resultierte, welche am meisten Rundkorn enthält (annähernd 100% vollständig gerundetes Material; siehe **Tab. 2**). Dies stimmt gut mit anderen Untersuchungen zur Kornform und Oberflächenstruktur überein. Bei gleicher Verdichtung ergibt sich nämlich für eine runde Körnung eine dichtere Packungsdichte als für gebrochenes Material (Wolf, 2014 [2]). Zudem weisen Rundkornmischungen eine oftmals geringere Oberflächenrauigkeit auf, wodurch sich das gesamte Gemisch "verdichtungswilliger" verhält.

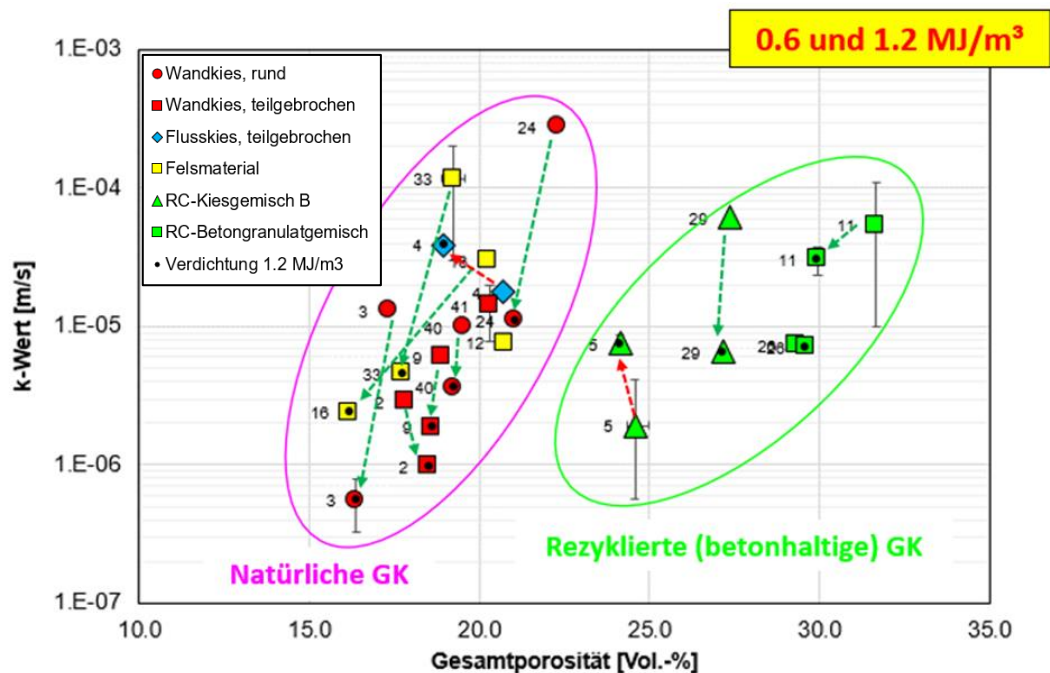


Abb. 24 Kombinierte Betrachtung ("Standard" und "CBR"-Verdichtung) der k -Werte gegenüber der berechneten Gesamtporosität der Probekörper (Legende in **Abb. 21**); die grünen Pfeile kennzeichnen Wertepaare (0.6 und 1.2 MJ/m^3), die sich "erwartungsgemäss" verhalten, die roten Pfeile kennzeichnen die beiden Proben mit "unerwarteter" Tendenz (höhere Durchlässigkeit bei geringerer Gesamtporosität)

³ Berechnung der Gesamtporosität basierend auf der Trockendichte des Probekörpers und der scheinbaren Rohdichte ρ_a gem. SN EN 1097-6 [50] (Erfahrungswerte gem. werkseigenen Daten und Archivdaten aus den Prüfstellen).

Das "unerwartete" Verhalten derjenigen Proben, die in den **Abb. 23** und **Abb. 24** einen "unlogischen" oder "unerwarteten" Zusammenhang zwischen k-Wert und Trockendichte resp. Gesamtporosität aufweisen (rote Pfeile), kann zumindest teilweise mit den bereits in Kapitel 7.6 erörterten Einflüssen aus dem Einbauwassergehalt, der Sättigung und des resultierenden Porengefüges erklärt werden. Betrachtet man z.B. die beiden Proctorkurven der Probe Nr. 5 (RC-Kiesgemisch B mit "unerwarteter" k-Wert vs. Dichte-Korrelation), so fällt der vergleichsweise grosse Unterschied des optimalen Wassergehalts bei 0.6 MJ/m^3 ($w_{\text{opt}} = 10.6 \text{ Masse-\%}$) und 1.2 MJ/m^3 ($w_{\text{opt}} = 8.3 \text{ Masse-\%}$) auf (siehe auch **Abb. 20**). Die entsprechenden Sättigungsgrade bei w_{opt} sind entsprechend sehr unterschiedlich (88% bei 0.6 MJ/m^3 resp. 72% bei 1.2 MJ/m^3 ; siehe Tabelle II.2 im Anhang). Wie in Kapitel 7.6.2 im Detail ausgeführt, wird bei der Durchlässigkeitsprüfung der resultierende k-Wert stark vom Einbauwassergehalt und der Wassersättigung des Probekörpers vor der Aufsättigung im Durchlässigkeitsprüfstand beeinflusst. Genau dieser Aspekt führt bei der Probe Nr. 5 zu dem unerwarteten Prüfergebnat (siehe auch **Abb. 23**): Aufgrund der höheren Wassersättigung bei der Prüfung bei niedrigerer Verdichtungsenergie weist der Probekörper mit nominell 0.6 MJ/m^3 Verdichtungsenergie offensichtlich ein "dichteres" Porengefüge (bzw. eine "feinere" Porengrössenverteilung) auf. Der resultierende k-Wert ist im Vergleich zur Prüfung bei nominell 1.2 MJ/m^3 Verdichtung deshalb trotz geringerer Dichte kleiner. Diese Zusammenhänge sind in der nachfolgenden **Abb. 25** dargestellt und veranschaulichen die komplexen Wechselwirkungen, die bei der Beschreibung von Wassertransport in Lockergesteinen berücksichtigt werden müssen.

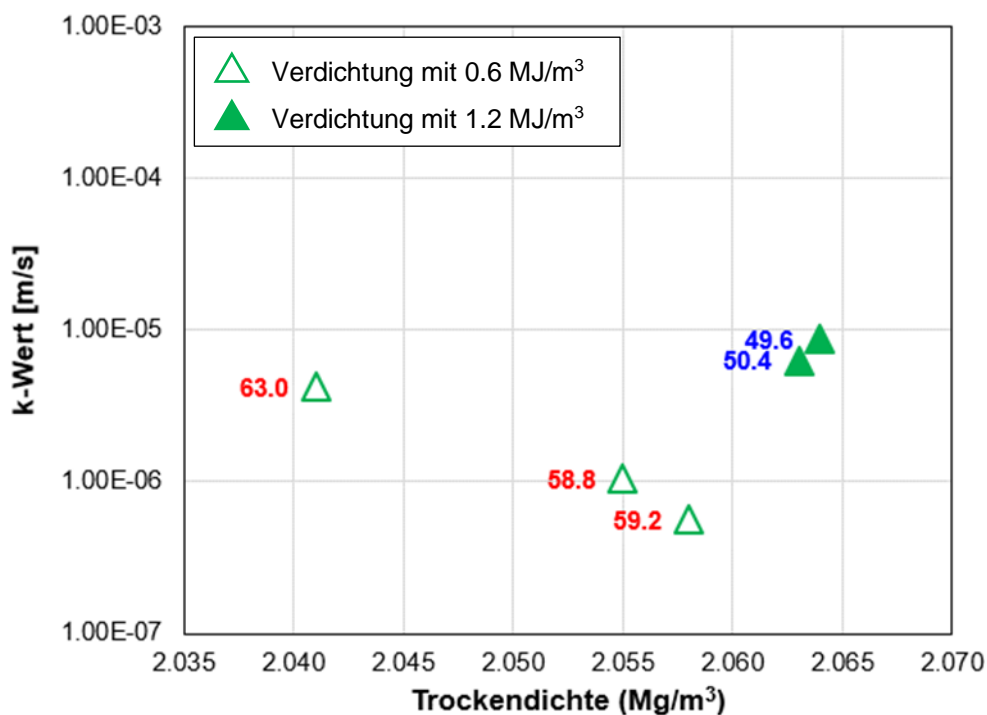


Abb. 25 Zusammenhänge zwischen Wassersättigung bei der Probekörperverschüttung, Trockendichte und Wasserdurchlässigkeit am Beispiel der Probe Nr. 5. Bei höherer Wassersättigung (rote Zahlen) resultieren trotz geringerer Trockendichte niedrigere k-Werte (Details siehe Text)

Ein weiterer auffälliger Aspekt ist, dass in den **Abb. 21** bis **Abb. 24** die Proben aus rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen stets eine separate Stellung einnehmen. Alle RC-Kiesgemische B und RC-Betongranulatgemische liegen in den **Abb. 23** und **Abb. 24** in einem Bereich mit niedrigeren Trockendichten bzw. höherer Gesamtporosität. Die niedrigeren Trockendichten stehen direkt im Zusammenhang mit den vorausgehenden und für die Durchlässigkeitsversuche als Grundlage dienenden Proctorversuche. Wie in Kapitel 8.1.3 gezeigt, weisen die geprüften RC-Gemische ihr Proctoroptimum bei einem höheren optimalen Wassergehalt und einer vergleichsweise niedrigen Dichte auf (siehe **Abb. 20**). Das Ausmass, wie weit sich die Proctorkurve nach "unten rechts" in der **Abb. 20** verschiebt, korreliert direkt mit dem Anteil Betonabbruch (Rc) im Probenmaterial. Bei der Betrachtung der Durchlässigkeitswerte ist allerdings erkennbar, dass sich die entsprechenden k-Werte im selben Wertebereich befinden wie bei den geprüften natürlichen Gesteinskörnungen. Mit anderen Worten: Die niedrigeren Trockendichten (und daraus resultierenden höherer Gesamtporosität) der RC-Gemische haben keinen direkten Einfluss auf die Durchlässigkeit des Gemischs. Die Erklärung hierfür dürfte bei den Korneigenschaften in den betonhaltigen RC-Gemischen liegen. Ein Korn aus Betonabbruch (also ein Gemisch aus Zementmörtel und feinen bis groben Zuschlägen) weist in aller Regel eine weitaus höhere Kornporosität auf als die meisten in der Schweiz vorkommenden natürlichen Gesteinskörnungen. Der Grund ist die hohe Porosität des Zementsteins. Es entsteht also eine sog. "Doppelporosität" (siehe z.B. Cudmani et al., 2021 [8]). Diese hat zur Folge, dass sich der optimale Wassergehalt zu höheren Werten verschiebt als in vergleichbaren natürlichen Kiesgemischen. Zudem resultiert infolge der erhöhten Kornporosität eine vergleichsweise tiefe Trockendichte. Die Kornporosität steht für die Wasserzirkulation bzw. den Durchfluss durch das verdichtete Kiesgemisch jedoch nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung. Das Porengefüge des Zementsteins ist hierfür viel zu fein und das darin befindliche Wasser wird durch Adhäsionskräfte gebunden (gespanntes Wasser; siehe Wolf, 2014 [2]).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen deuten also darauf hin, dass sich ungebundene Gemische aus betonhaltigen rezyklierten Gesteinskörnungen – trotz unterschiedlichem Verdichtungsverhalten – punkto Wasserdurchlässigkeit nicht grundsätzlich anders verhalten als natürliche Kiesgemische. Allerdings ist die Datenlage mit lediglich 4 untersuchten rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen für eine allgemein gültige Aussage zu gering. Auch Literaturdaten zu Recyclingmaterialien sind erst spärlich vorhanden. Cudmani et al. (2021) [8] erwähnen z.B., dass Untersuchungen zur Durchlässigkeit von grobkörnigen Tragschichtmaterialien im Vergleich zu natürlichen Körnungen teilweise nicht eindeutige Ergebnisse ergaben.

9.3 Korrelation Durchlässigkeit und Korngrössenverteilung

Es ist naheliegend, dass die Korngrössenverteilung einen massgeblichen Einfluss auf die Porosität eines Lockergesteins haben kann (siehe Kapitel 7.6). Grundsätzlich nimmt deshalb im Allgemeinen die Durchlässigkeit von tonigen-, zu siltigen- über sandige- hin zu kiesigen Böden stetig zu (siehe z.B. Schmitt et. al. 2021 [11]). Es könnte also erwartet werden, dass die Durchlässigkeit auch in ungebundenen Gemischen umso kleiner wird, je höher der Feinanteil (≤ 0.063 mm) ist. Betrachtet man jedoch die im vorliegenden Projekt erhobenen Daten, so ist keinerlei Korrelation zwischen dem k-Wert und dem Feinanteil im geprüften Material erkennbar (siehe **Abb. 26**). Dies zeigt eine Problematik auf, auf die in den folgenden Ausführungen noch mehrmals eingegangen werden muss. Gemäss den geltenden Regeln der VSS 70 119 [41] wird nämlich der Feinanteil im Gesamtmaterial ja dazu benutzt, um festzulegen, ob die Eigenschaft der Durchlässigkeit überhaupt geprüft werden muss oder nicht. Ungebundene Gemische aus natürlichen Gesteinskörnungen müssen ab einem Feinanteil von 5 Masse-% und rezyklierte Gesteinskörnungsgemische ab einem Feinanteil von 3 Masse-% geprüft werden. Wie in nachfolgender **Abb. 26** illustriert, deuten die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt darauf hin, dass diese Grenz- bzw. Schwellenwerte jedoch gar keinen direkten und materialunabhängigen Zusammenhang mit der Durchlässigkeit erkennen lassen.

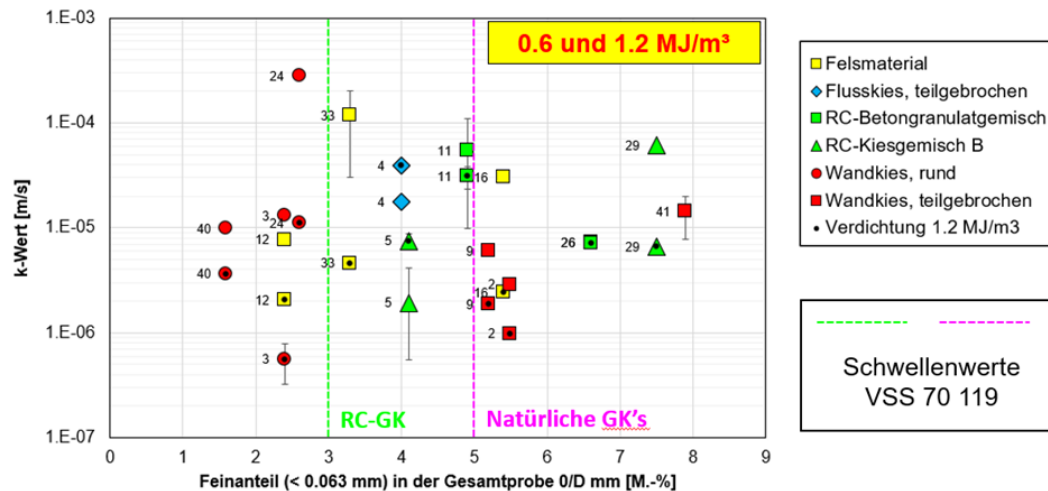


Abb. 26 Gegenüberstellung der k -Werte und des Feinanteils (≤ 0.063 mm) in der Gesamtprobe

Diese fehlende Korrelation zwischen k -Wert und Feinanteil in der Gesamtprobe mag auf den ersten Blick überraschen. Betrachtet man jedoch das "Prüfsystem" mit all seinen Randbedingungen genauer, wird klar, dass die Betrachtungsweise gem. **Abb. 26** wohl zu stark vereinfacht ist: Grundsätzlich ist bei der Prüfung von ungebundenen Gemischen stets zu berücksichtigen, dass sowohl der Proctorversuch als auch die auf demselben Prinzip beruhenden CBR- und Durchlässigkeitsversuche immer nur die Kornfraktion 0/16 mm betrachten. Der Grund hierfür ist systemischer- bzw. labortechnischer Natur. Die im Labor verwendeten Gerätschaften sind punkto Grösstkorn auf max. 31.5 mm (Proctortopf B; siehe SN EN 13286-2 [37]) begrenzt. Hinzu kommt, dass bei grösserem Maximal Korn die Streuung der Prüfungen infolge Materialheterogenität grösser wird. Die Folge wären in letzter Konsequenz "grossformatigere" Prüfeinrichtungen, welche punkto Probenmengen und Prüfaufwendungen wesentlich komplizierter und teurer wären. Deshalb wurden beispielsweise die CBR-Versuche in der Schweiz seit Einführung in den 1980er-Jahren stets an der Kornklasse 0/16 mm durchgeführt. Ein weiterer Grund ist die Harmonisierung im Prüfwesen. Mit der Einschränkung auf eine "standardisierte" Kornklasse sollen die Prüfungen unterschiedlicher Körnungen (z.B. ungebundene Gemische 0/16, 0/22 und 0/45) untereinander verglichen werden können (siehe z.B. entsprechender Hinweis in der alten SN 670 119-NA [27], Ziff. 26).

Diese Konvention hat allerdings zur Folge, dass je nach Zusammensetzung rund 20 – 60 Masse-% der Körnung eines ungebundenen Gemischs 0/45 in der Prüfung zum Verdichtungs-, Tragfähigkeits- und Durchlässigkeitsverhalten nicht enthalten sind. Zwar ist diese Vereinfachung sowohl aus prüftechnischen Gründen wie auch aus baupraktischen Überlegungen durchaus zu rechtfertigen. Die Eigenschaften der Verdichtbarkeit, Tragfähigkeit und Durchlässigkeit von Kiesgemischen werden schliesslich zu einem wesentlichen Teil durch die feinen Komponenten – also Sand, Silt und Ton – beeinflusst (z.B. Schmitt et al. 2021 [11]). Allerdings muss bei Korrelationsversuchen zwischen im Labor ermittelten Kennwerten und der Materialzusammensetzung dieser Vereinfachung trotzdem Rechnung getragen werden. Das heisst, für Gegenüberstellungen von Laborresultaten ist es viel sinnvoller nur diejenigen Kornfraktion zu betrachten, welche im Labor auch tatsächlich der Prüfung unterzogen wurden. Diesem Umstand wurde aus Sicht der Verfasser auch bei den beiden vorangehenden VSS-Forschungsprojekten, die sich mit der Frostempfindlichkeit von ungebundenen Gemischen befassten (Wietek et al. 2017 [14] und Rütli & Angst 2021 [22]), zu wenig Rechnung getragen.

Die für die Vergleichsbetrachtungen relevanten Korngrößenverteilungen beschränken sich also auf Siebkurven, die auf ein Grösstkorn von 16 mm umgerechnet resp. "normalisiert" wurden (siehe **Abb. 19**). Der Einfluss auf die Gegenüberstellungen kann anschaulich am Beispiel der Probe Nr. 9 aufgezeigt werden (siehe nachfolgende **Abb. 27**). Die Gesamtprobe dieses Materials kennzeichnet sich durch eine vergleichsweise "grobkiesige" Zusammensetzung mit moderatem Feinanteil (5.2 Masse-%) und einer Sieblinie die relativ nahe am unteren Grenzbereich der Kategorie 0/45 nach SN EN 13285 [42] entlangläuft. Wird die Siebkurve jedoch auf 16 mm normalisiert (also bildlich gesprochen bei 16 mm abgeschnitten und auf einen Siebdurchgang von 100 Masse-% umgerechnet; siehe **Abb. 27**), so repräsentiert die Probe Nr. 9 plötzlich dasjenige Material mit dem höchsten Feinanteil (11.4 Masse-%) von allen 13 in dieser Studie untersuchten Proben!

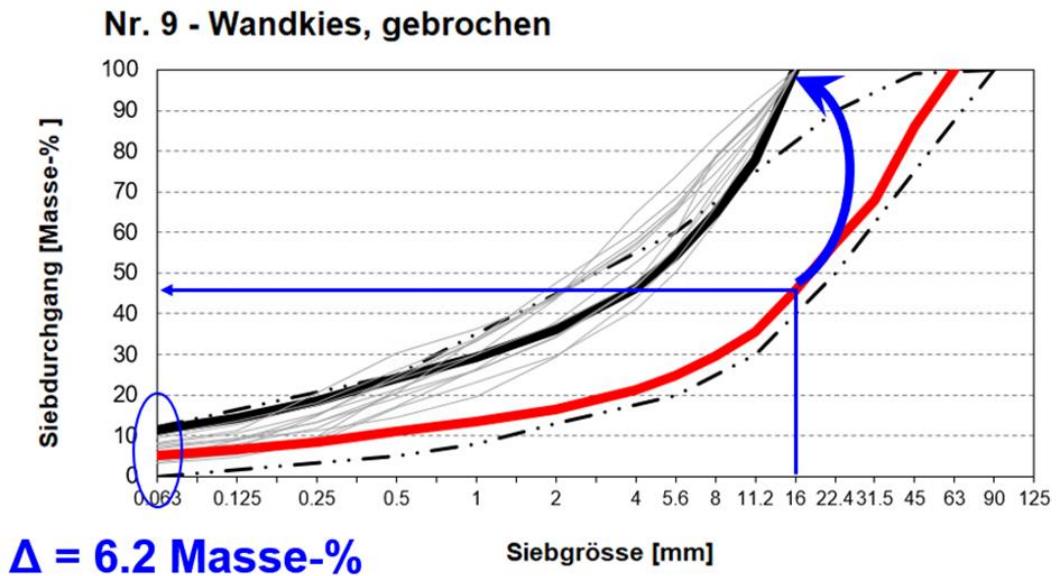


Abb. 27 Illustration der Umrechnung der Siebkurve der Gesamtprobe ($0/D_{max}$) auf die geprüfte Kornfraktion 0/16 mm am Beispiel der Probe Nr. 9. Die Gesamtprobe (rote Kurve) verläuft am unteren Grenzbereich und kennzeichnet ein vergleichsweise "grobkiesiges" Material mit relativ geringem Feinanteil (5.2 Masse-%). Nach der Umrechnung auf einen Siebdurchgang bei 16 mm von 100 Masse-% (dicke, schwarze Kurve) resultiert ein vergleichsweise "feinsandiges" Gemisch mit hohem Feinanteil (11.4 Masse-%; die dünnen grauen Linien repräsentieren das Gesamtspektrum von allen 13 untersuchten Typ-Materialien bezogen auf 0/16). Der Unterschied zwischen dem Feinanteil der Gesamtprobe und dem Feinanteil in der Fraktion 0/16 mm beträgt bei dieser Probe 6.2 Masse-%.

Wird nun der k-Wert bezogen auf die Kornfraktion 0/16 mm betrachtet, ist sowohl bei der "Standardverdichtung" (Proctor 0.6 MJ/m³) als auch bei der erhöhten Verdichtung (Proctor 1.2 MJ/m³) eine Tendenz zu niedrigeren k-Werten bei zunehmendem Feinanteil erkennbar (siehe **Abb. 28**). Die Korrelation ist allerdings nur sehr schwach und lässt sich anhand der vorliegenden Daten kaum verallgemeinern. Anhand des Feinanteils alleine lässt sich also auch mit Einschränkung auf die Fraktion 0/16 mm kein direkter Schluss auf die Durchlässigkeit eines Kiesgemisches ableiten. So wurde z.B. der niedrigste k-Wert bei Verdichtung 1.2 MJ/m³ am Probenmaterial Nr. 3 festgestellt, welches sich punkto Feinanteil sogar in der Kornfraktion 0/16 mm mit 4.2 Masse-% noch deutlich unterhalb des Schwellenwerts für ein natürliches Kiesgemisch befinden würde.

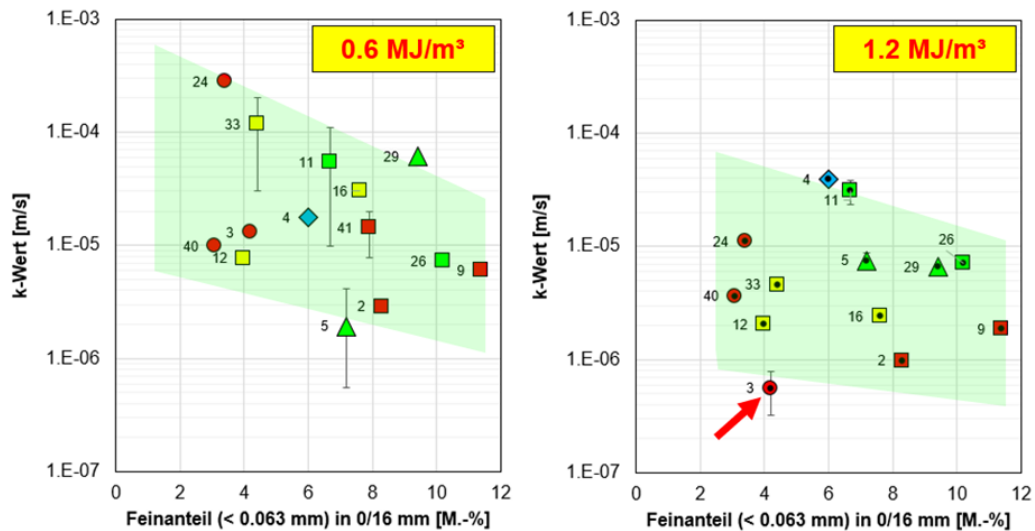


Abb. 28 Gegenüberstellung der k -Werte und des Feinanteils (≤ 0.063 mm) in der geprüften Kornklasse 0/16 mm. Sowohl bei "Standardverdichtung" (Referenz 0.6 MJ/m^3) als auch bei erhöhter Verdichtung (Referenz 1.2 MJ/m^3) ist eine schwache Tendenz zu niedrigeren k -Werten bei zunehmendem Feinanteil erkennbar (siehe grün markierte Felder). Der rote Pfeil kennzeichnet die Probe Nr. 3, welche bei Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m^3 – trotz nur moderatem Feinanteil (4.2 Masse-%) – den niedrigsten k -Wert ($5.6 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$) aufweist

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen stimmen in diesem Kontext gut mit den Ergebnissen aus Laborversuchen anderer kürzlich publizierter Studien überein. Beispielsweise fanden Cudmani et al. (2021) [8] und Koukoulidou et al. (2017) [9] bei der Untersuchung von Lockergesteinsmischungen, welche für ungebundene Bankette im Strassenbau verwendet werden, ähnliche Zusammenhänge zwischen dem Feinkornanteil und den Durchlässigkeitsbeiwerten (siehe **Abb. 29**). In beiden Studien wurden Gemische mit einem breiteren Spektrum in Bezug auf den Feinanteil untersucht als im vorliegenden Projekt (bis 17 Masse-%). Dabei wurde zwar ebenfalls eine generelle Tendenz hin zu niedrigeren k -Werten bei gleichzeitig höheren Feinanteilen gefunden. Jedoch wurden auch hier bei einem gegebenen Feinanteil eine materialabhängige Streuung über mehrere Größenordnungen aufgezeigt. Gleichzeitig wird ersichtlich, dass die Korrelation bei höheren Feinanteilen (> 12 Masse-%, also ausserhalb des Anwendungsbereichs ungebundener Gemische nach VSS 70 119 [41]) tendenziell besser wird.

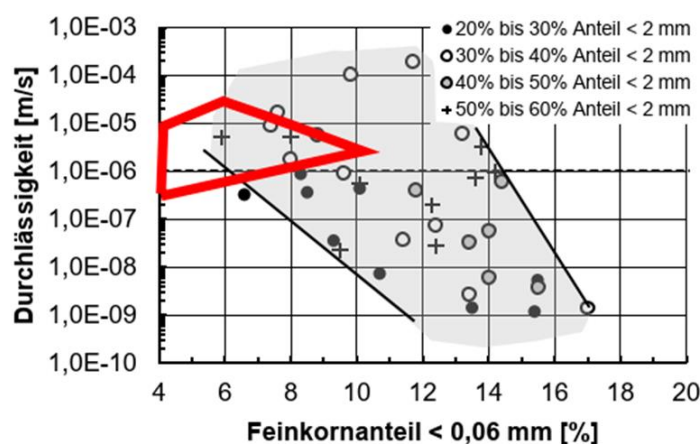


Abb. 29 Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse aus der vorliegenden Studie (rot umrandetes Feld) mit Ergebnissen aus der Literatur (aus Cudmani et al., 2021 [8] inkl. Daten von Koukoulidou et al., 2017 [9])

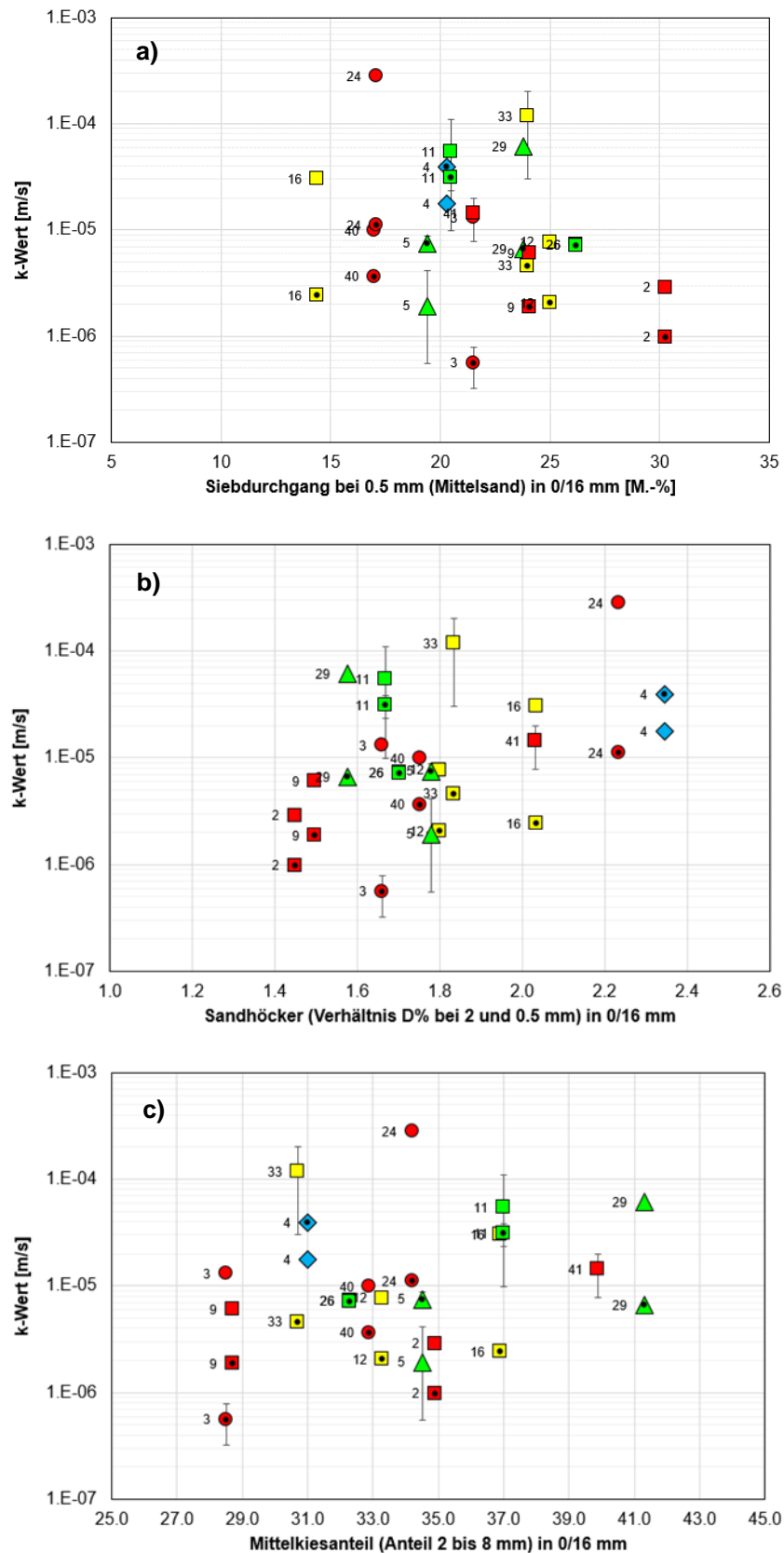


Abb. 30 Korrelationen zwischen dem k -Wert (0.6 und 1.2 MJ/m^3) sowie verschiedenen Parametern der Korngrößenverteilung der Kornfraktion 0/16 mm: **a)** Siebdurchgang bei 0.5 Masse-% (Mittelsand); **b)** Verhältnis der Durchgänge bei 2 und 0.5 mm (je niedriger der Zahlenwert, desto ausgeprägter der "Sandhöcker" im Bereich 0.5 mm); **c)** Mittelkiesanteil (2 bis 8 mm)

Nebst dem Feinanteil wurde auch der Einfluss von anderen Parametern aus der Sieblinie auf die Durchlässigkeit überprüft (siehe **Abb. 30** auf der vorangehenden Seite). Dabei zeigen sich zwar einige zusätzliche Tendenzen, welche jedoch allesamt – wie beim Feinanteil – auch nur sehr schwach ausgeprägt sind:

- Kleinere k-Werte bei zunehmendem Mittelsandanteil (< 0.5 mm; **Abb. 30 a**)
- Kleinere k-Werte bei ausgeprägterem "Sandhöcker" (Buckel in der Siebkurve bei ca. 0.5 mm; **Abb. 30 b**)
- Grössere k-Werte bei höherem Mittelkiesanteil (2 bis 8 mm; **Abb. 30 c**)

In der Fachliteratur existiert eine Vielzahl von Versuchen, direkte Korrelationen zwischen der Korngrößenverteilung (Siebkurve) und der Wasserdurchlässigkeit von Lockergesteinen herzuleiten. Eine umfassende Übersicht hierzu ist z.B. im Merkblatt der Deutschen Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) für die Anwendung von Kornfiltern [25] enthalten. Die meisten dieser Korrelationen basieren auf einzelnen Kennwerten aus der Sieblinie. Sie sind oft theoretischer Natur und wurden mittels Analysen von Fliessprozessen durch Kugelpackungen berechnet oder anhand von Laborversuchen mit gleichförmigen Lockergesteinen abgeleitet (siehe z.B. Wolf, 2014 [2]). Als klassische Beispiele, welche in der Praxis immer wieder für approximative Näherungen verwendet werden, seien z.B. die Formeln nach Hazen (1892) [5], Beyer (1964) [3] oder Sherard (1984) [4] erwähnt. Wietek et al. (2017) [14] haben z.B. im Rahmen des VSS-Forschungsprojekt 2011/505 anhand der Siebkurven von ungebundenen Gemischen mit der Näherungsformel nach Beyer (1964) [3] Durchlässigkeitsbeiwerte berechnet und unter Berücksichtigung der Korngrößenverteilung der Gesamtprobe (also inkl. Körner > 16 mm) k-Werte in der Größenordnung von $1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-3}$ m/s berechnet. Es wäre somit von Interesse, die im vorliegenden Projekt im Labor bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerte ebenfalls mit solchen theoretisch-empirisch basierten Korrelationen zu vergleichen. Im vorliegenden Fall wurden 2 Berechnungsmodelle ausgewählt, welche sich für die Anwendung für "Kiesgemische" im weiteren Sinn eignen könnten (siehe Wolf, 2014 [2]):

- Korrelation nach Beyer (1964, [3]), der sich mit der Durchlässigkeit von "Tragschichten ohne Bindemittel" beschäftigte und eine Gleichung für die Durchlässigkeit eines Sandes oder Kieles entwickelte

$$k = 0.0166 \times C_{ud}^{-0.201} \times d_{10}^2$$

wobei:

C_{ud} = Ungleichförmigkeitskennzahl gem. SN EN 14688-2 [47]

d_{10} = Korngrösse, bei der der kumulierte Siebdurchgang 10 Masse-% beträgt

- Korrelation nach Sherard et al. (1984, [4]) für Sande und Kiese, die typischerweise als Filtermaterialien in Dämmen verwendet werden (die Gleichung ist für eine Wassertemperatur von 20°C, einen Siebdurchgang von 15 Masse-% bei 0.11 bis 10.1 mm sowie einer Ungleichförmigkeitszahl C_{ud} im Bereich von 1.4 bis 37 gültig).

$$k = 0.0035 \times d_{15}^2$$

Die Ergebnisse der Vergleiche (Laborversuche vs. Berechnungen gem. obiger Formeln) sind grafisch in **Abb. 31** dargestellt und zeigen für beide Berechnungsmodelle sowohl bezüglich der Gesamtkorngrößenverteilung ($0/D_{max}$) als auch für die Kornfraktion 0/16 mm keine Übereinstimmung. Die berechneten k-Werte sind bei allen Proben stets (wesentlich) grösser, überschätzen also die Durchlässigkeit in Bezug auf die Laborprüfresultate teils deutlich. Die Abweichungen sind erwartungsgemäss bei den Berechnungen basierend auf der Gesamtprobe (bis und mit D_{max}) am grössten. Die geringsten Abweichungen resultieren mit dem Modell nach Beyer (1964) [3] unter Berücksichtigung der Sieblinie 0/16 mm. Allerdings ist auch hier keine brauchbare Korrelation der Daten erkennbar.

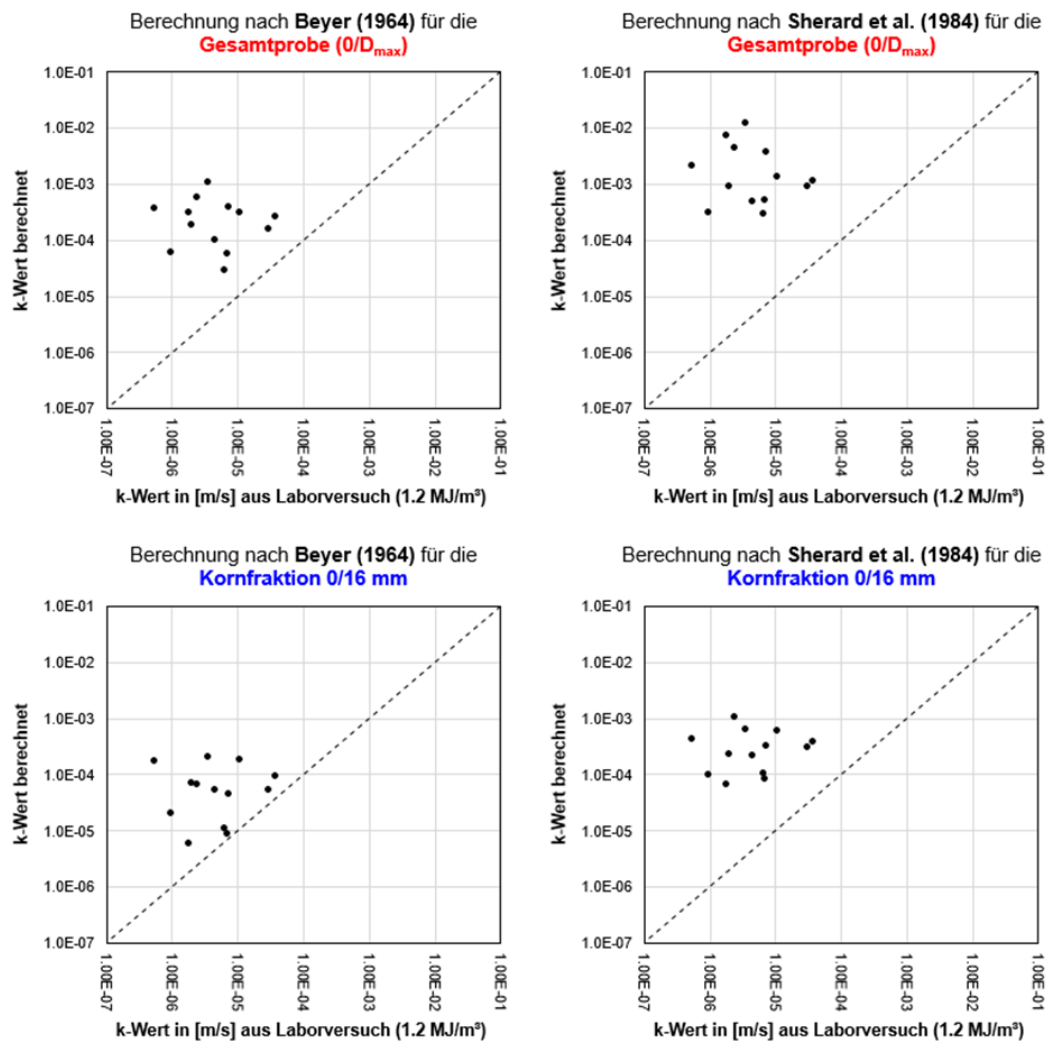


Abb. 31 Korrelation zwischen den k -Werten aus den Laborversuchen (1.2 MJ/m^3) und den berechneten k -Werten gem. den Modellen von Beyer (1964 [3]) und Sherard et al. (1984 [4]) sowohl für die Gesamtprobe $0/D_{\max}$ als auch für die Kornfraktion $0/16 \text{ mm}$

Die schlechte Übereinstimmung von solchen berechneten Korrelationen bestätigt die Erkenntnisse aus anderen Studien (z.B. Wolf, 2014 [2] und dort zitierte Arbeiten). Berücksichtigt man die den Näherungsformeln zugrunde liegenden Originalpublikationen, so zeigt sich, dass diese meist nur einen sehr eng definierten Gültigkeitsbereich aufweisen und deshalb für ein breiteres Spektrum an Lockergesteinen mit unterschiedlichen Sieblinien, Kornformen und Materialzusammensetzungen kaum sinnvoll angewendet werden können (siehe z.B. Wolf, 2014 [2]). Die Näherungsformeln lassen zu viele Randbedingungen völlig unberücksichtigt. So geht bei der Kornabstufung häufig nur ein oder zwei Korndurchmesser in die Berechnung ein. In diesem Zusammenhang müssen auch die diesbezüglichen Schlussfolgerungen bei Wietek et al. (2017 [2]) relativiert werden. Wie die Darstellungen in **Abb. 31** aufzeigen, sind solche Berechnungsmodelle also für komplex zusammengesetzten Kies-Sand-Gemische, wie sie im Strassenbau eingebaut werden, kaum anwendbar.

Schlussendlich ist die Porenstruktur (Anteil, Form, Verteilung und Sättigung des Porenraum) eines Baustoffgemischs die massgebende Zustandsgrösse, wenn es um die Beeinflussung der Wasserdurchlässigkeit geht (z.B. Floss & Berner, 1992 [18], Wolf, 2014 [2], Keppler, 1986 [19], Wellner & Wolf 2012 [x]). Nebst der Korngrößenverteilung wird

diese durch die Kornform und insbesondere die mineralogische Zusammensetzung und die resultierende "Verdichtungswilligkeit" des Lockergesteins beeinflusst. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen also relativ klar, dass Aussagen zur Durchlässigkeit von Kiesgemischen alleinig basierend auf Kennwerten der Korngrößenverteilung hierfür kaum geeignet sind.

Zusammenfassend ist also festzuhalten, dass zwischen der Durchlässigkeit und dem Feinanteil im Gesamtmaterial eines ungebundenen Gemischs keine Korrelation gefunden wurde. Auch wenn nur die tatsächlich untersuchte Kornklasse 0/16 mm angeschaut wird, sind höchstens schwache Tendenzen erkennbar. Diese beschränken sich allerdings nicht nur auf den Feinanteil, sondern auch auf andere Eigenschaften der Korngrößenverteilung. Am eindeutigsten kann ein Zusammenhang mit der Ausprägung eines sogenannten Sandhöckers ("Buckel" bzw. Anreicherung der Korngrößen um ca. 0.5 mm) aufgezeigt werden.

Umgekehrt können die Daten auch so interpretiert werden, dass im Bereich eines "gleichwertigen" oder "identischen" Feinanteils, je nach Probe die Durchlässigkeitsbeiwerte in einem Bereich von ≈ 1.0 bis 1.5 Größenordnungen variieren können. Dies deutet klar darauf hin, dass die Durchlässigkeit nur zu einem Teil von der Korngrößenverteilung (Siebkurve) beeinflusst wird. Andere Faktoren, wie z.B. die Kornform und die stoffliche (mineralogisch-petrographische) Zusammensetzung der Gemische, welche wiederum die Verdichtbarkeit und die Porosität des Lockergesteins beeinflussen, spielen offensichtlich eine ebenso wichtige Rolle (siehe auch Kap. 7.6).

9.4 Ergebnisse der CBR-Versuche und Korrelation mit der Durchlässigkeit

Durchlässigkeits- und CBR-Versuche an ungebundenen Gemischen werden bereits nach den heute geltenden Normen bei denselben Versuchsbedingungen geprüft (d.h. an der Kornklasse 0/16 und an Probekörpern, welche mittels Proctor-Verdichtung mit 1.2 MJ/m^3 verdichtet werden; siehe SN EN 13285 [42]). Bei der Prüfung der Frostsicherheit wird der Tragfähigkeitsindex nach einem 24-stündigen Frostzyklus (CBR_F nach VSS 70 321 [38]) bestimmt. Beim Frosthebungsversuch wird dem Probekörper Wasser von unten zugeführt, welches dieser je nach Materialzusammensetzung durch kapillares Saugen aufnehmen kann. Dies verdeutlicht, dass "Durchlässigkeit" und "Frostsicherheit" in solch einem "Prüfsystem" stark miteinander verknüpft sind. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, diese beiden Eigenschaften von ungebundenen Gemischen – also die im Labor bestimmten k -Werte und CBR-Werte – näher miteinander zu vergleichen. Von den 13 ausgewählten Typ-Materialien wurden deshalb an 6 ausgewählten Proben zusätzlich CBR-Versuche (CBR_1 und CBR_F ; siehe Kap. 8.3) durchgeführt. Um die im Projekt erhobenen Daten besser einordnen zu können, wurden bei 5 von 6 Proben zusätzlich Laborresultate aus der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) der jeweiligen Hersteller hinzugezogen (CBR-Resultate an denselben Produkten aus dem Zeitraum 2018 bis 2022). Im Folgenden werden die Ergebnisse der CBR-Versuche zwecks Plausibilisierung zuerst aus allgemeiner Sicht beurteilt (unter Berücksichtigung von publizierten Literaturdaten). Anschliessend folgen Überlegungen zu den Zusammenhängen mit der Durchlässigkeit.

In **Abb. 32** sind die Ergebnisse der CBR-Versuche ausgedrückt als "Tragfähigkeitsänderung infolge Frost" (Verhältnisse CBR_F zu CBR_1), in Abhängigkeit des Feinanteils ($\leq 0.063 \text{ mm}$) in der Gesamtprobe aufgeführt. Dies ist die klassische Darstellung der beiden traditionellen "Frostkriterien", wie sie auch in den Studien von Wietek et al. (2017) [14] und Rütli & Angst (2021) [22] verwendet wurden. Dabei weisen $\text{CBR}_F/\text{CBR}_1$ -Verhältnisse < 1.0 auf Proben hin, bei denen es infolge Frost zu einer Tragfähigkeitseinbusse kommt. Der Grenzwert bzw. minimal geforderte Wert beträgt heute 0.5 (d.h. eine maximale Tragfähigkeitseinbusse nach dem Frosthebungsversuch von 50%). Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass diese Anforderungen bei den 6 geprüften Proben mit Reserve erfüllt wurden. Die $\text{CBR}_F/\text{CBR}_1$ -Verhältnisse liegen im Bereich von 0.79 bis 1.25. Bei 2 Proben (Felsmaterial Nr. 33 und RC-Betongranulatgemisch Nr. 11) resultierte nach der Frostbeanspruchung sogar deutlich höhere Tragfähigkeitsindices als ohne Frost ($\text{CBR}_F/\text{CBR}_1 > 1.0$). Aufgrund der Zusammensetzung der geprüften Materialien (u.a. Siebkurven) entsprechen die Ergebnisse alles in allem den Erwartungen. Auch die Absolutwerte (CBR_1 im Bereich 130...210%; CBR_F zwischen 125...175%) stimmen gut mit Erfahrungswerten ähnlicher ungebundener Gemische überein. Das Kriterium der "Frostsicherheit" wird also bei allen 6 Typ-Materialien erfüllt.

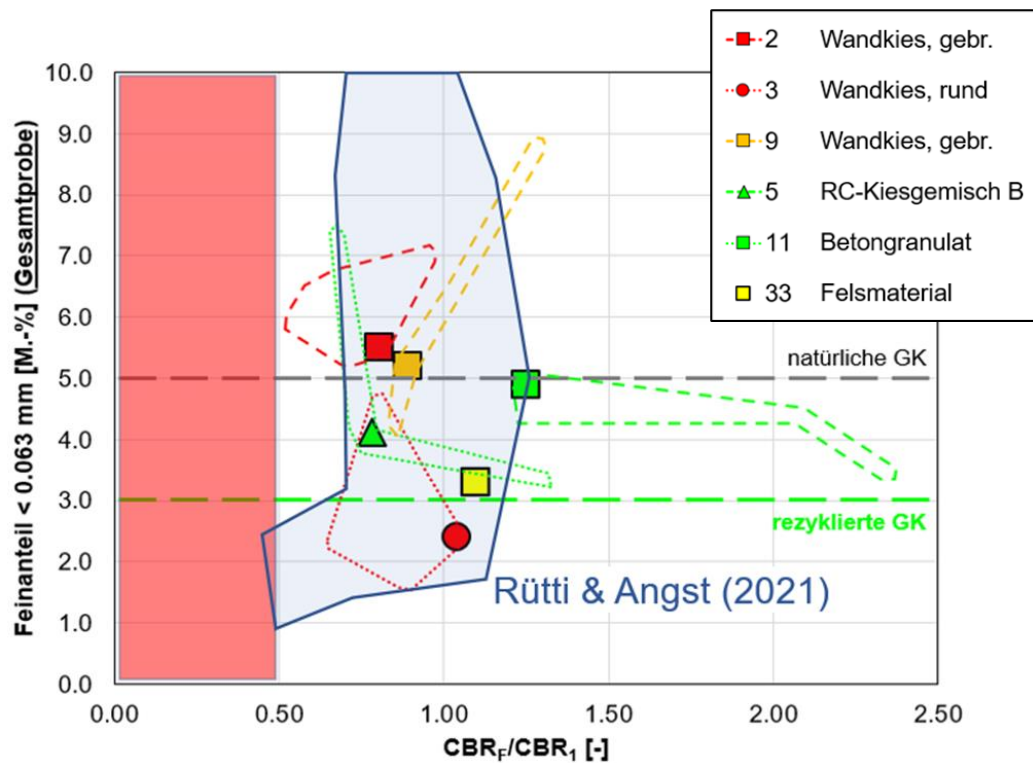


Abb. 32 CBR_F / CBR_1 -Verhältnisse in Abhängigkeit des Feinanteils in der Gesamtprobe inkl. Daten aus der Studie von Rütti & Angst, 2021 [22] (blau umrandetes Feld). Die gestrichelten Linien kennzeichnen den Bereich der zusätzlich berücksichtigten WPK-Daten aus dem Zeitraum 2018-2022 (Probe Nr. 2 $\rightarrow n = 4$ zusätzliche Datensätze; Probe Nr. 3 $\rightarrow n = 6$; Probe Nr. 5 $\rightarrow n = 5$; Probe Nr. 9 $\rightarrow n = 3$; Probe Nr. 11 $\rightarrow n = 3$); Schwellenwerte bei 3 Masse-% Feinanteile (rezyklierte Gesteinskörnungen) und 5 Masse-% (natürliche Gesteinskörnungen) gem. aktueller SN EN 13285 [42]

Rütti & Angst (2021) [22] haben im Rahmen des Forschungsprojekts VSS 2011/508 ebenfalls 11 ungebundene Gemische geprüft und fanden ein vergleichbares Gesamtbild punkto CBR-Verhältnisse und Feinanteile. Die Gegenüberstellung der beiden Studien ist in **Abb. 32** grafisch dargestellt und zeigt, dass die Gesamtstreuung beim vorliegenden Projekt und bei Rütti & Angst (2021) [22] etwa in der gleichen Grössenordnung liegt. Das Phänomen höherer CBR-Werte nach der Frosthebungsversuch ist aus der Laborpraxis recht gut bekannt und wurde auch von Rütti & Angst (2021) [22] beschrieben. Oft (so auch hier) sind betonhaltige, rezyklierte Gesteinskörnungsgemische oder kalksteinreiche natürliche (Fels-)Materialien davon betroffen. Mögliche Gründe sind u.a. eine zeitlich bedingte und durch das im Probenmaterial enthaltene Wasser verursachte sekundäre "hydraulische" Verfestigung des im Material enthaltenen Feinanteils. Zu ähnlichen Erkenntnissen gelangten jüngst Cudmani et al. (2021) [8] anlässlich von Untersuchungen an Baustoffen für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette.

Die wichtigste Erkenntnis aus beiden betrachteten Studien ist jedoch, dass weder anhand der Resultate von Rütti & Angst (2021) [22] noch der im vorliegenden Projekt erhobenen Daten eine Korrelation zwischen dem Feinanteil der geprüften Probe und den CBR-Verhältnissen aufgezeigt werden kann. Ungebundene Gemische mit einem niedrigen Feinanteil weisen nicht zwingendermassen ein "besseres" (also höheres) CBR_F / CBR_1 -Verhältnis auf. So wurde beispielsweise bei Rütti & Angst (2021) [22] das "schlechteste" Ergebnis bei einer Probe mit einem Feinanteil von deutlich unter 3 Masse-% gefunden. Die fehlende Korrelation zum Feinanteil zeigt sich also nicht nur bei der Wasserdurchlässigkeit (siehe Kapitel 9.3) sondern auch bei den CBR-Versuchen. In **Abb. 33** sind wiederum die heutigen Schwellenwerte von 3 Masse-% Feinanteilen bei rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen und 5 Masse-% bei natürlichen Gesteinskörnungen

eingezeichnet. Auch hier wird ersichtlich, dass diese Kriterien keinen Rückschluss auf die zu erwartenden CBR-Verhältnisse zulassen.

Wietek et al. (2017) [14] haben im Rahmen des VSS-Forschungsprojekts 2011/505 insgesamt 107 bestehende Datensätze aus 56 verschiedenen Produktionsstandorten ausgewertet und kamen grundsätzlich zu einem vergleichbaren Ergebnis. Unter Berücksichtigung aller 107 Datensätze wurde nur eine sehr schwache Korrelation zwischen dem Feinanteil in der Gesamtprobe und dem Frostkriterium CBR_F/CBR_1 gefunden (siehe **Abb. 33**). Hinzu kommt, dass von den 8 Proben, welche das Frostkriterium nicht erfüllten ($CBR_F/CBR_1 < 0.5$) die Hälfte (4 Proben) einen Feinanteil von < 5 Masse-% aufwiesen. Diese Materialien hätten gemäss den heute gültigen Schwellenwerte also gar nicht mittels CBR-Versuchen geprüft werden müssen ("überschätzte Proben")⁴.

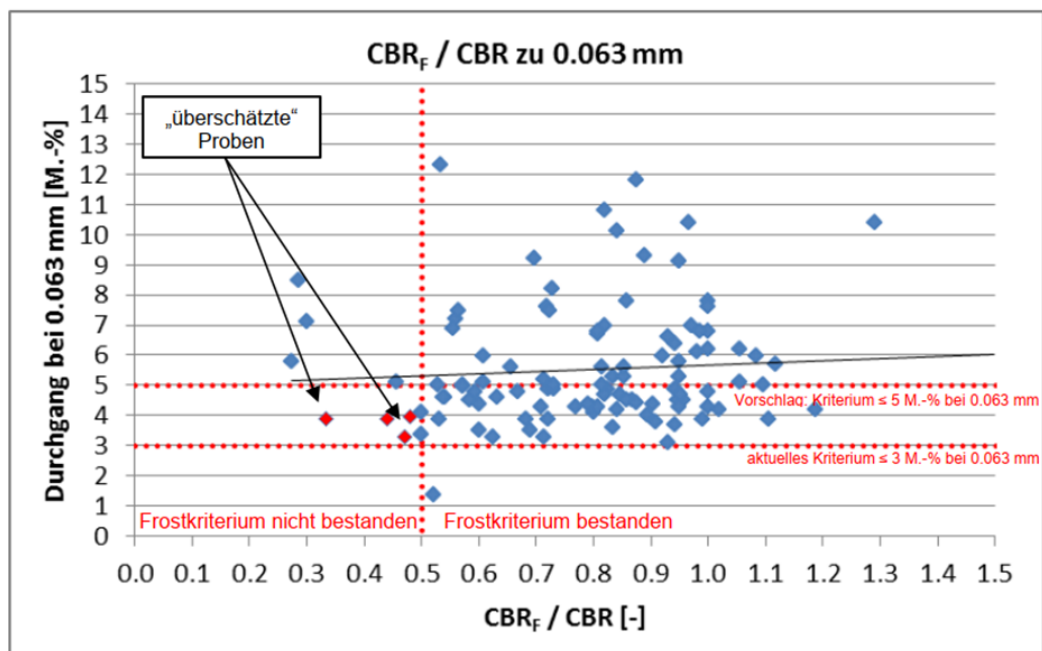


Abb. 33 Vergleich der CBR_F/CBR_1 -Verhältnisse zum Feinanteil in der Gesamtprobe aus der Datenanalyse im VSS-Forschungsprojekt VSS 2011/505 (Abbildung aus Wietek et al. 2017 [14]). Die roten Symbole kennzeichnen jene 4 Proben, die trotz eines Feinanteils < 5 Masse-% das Frostkriterium nicht erfüllten

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse sowie der Resultate der vorgängigen VSS-Forschungsprojekte zum selben Thema (Wietek et al. 2017 [x]; Rütli & Angst, 2021 [14]) ist das Kriterium des Feinanteils in der Gesamtprobe als Entscheidungsgrundlage, ob ein ungebundenes Gemisch auf Frostbeständigkeit zu prüfen ist oder nicht, somit grundsätzlich zu hinterfragen. Alle analysierten Datensätze deuten auf keinerlei entsprechende Korrelationen hin. Dasselbe wurde anhand der hier erhobenen Daten auch für die Wasserdurchlässigkeit gezeigt (siehe Kapitel 9.3).

⁴ Bei der Interpretation der Literaturdaten wird stets davon ausgegangen, dass der den CBR-Versuchen zu Grunde liegende Proctorversuch fachgerecht ausgeführt und die Proctorkurve korrekt interpretiert wurde. Eine Unter- oder Überschätzung des optimalen Wassergehalts beim Proctorversuch kann sich empfindlich auch die CBR-Werte auswirken. Wird beispielsweise der Wassergehalt zur Herstellung der Prüfkörper zu tief gewählt, so resultiert oftmals ein hoher CBR_1 und ein (zu) tiefer CBR_F -Wert.

Wie bereits bei der Diskussion der Resultate der k -Werte dargelegt, scheint es sinnvoller zu sein, Zusammenhänge zwischen der Korngrößenverteilung eines ungebundenen Gemischs und CBR-Werten auf Basis der für die Prüfung verwendeten Kornfraktion 0/16 mm anzuschauen. In den **Abb. 34** und **Abb. 35** sind die Ergebnisse aus den CBR-Versuchen gegenüber dem Feinanteil in der Kornfraktion 0/16 mm dargestellt. Die Darstellungen zeigen jedoch, dass auch bei dieser Betrachtungsweise – ähnlich wie bei der Durchlässigkeit (Kapitel 9.3) – wenn überhaupt – nur schwache Korrelationen oder eher Tendenzen erkennbar sind. Solche Tendenzen beschränken sich zudem jeweils auf Datenpunkte innerhalb einer spezifischen Materialprovenienz. Das heisst, sichtbare Zusammenhänge zwischen CBR-Werten und z.B. dem Feinanteil in der Kornfraktion 0/16 mm beschränken sich auf Proben derselben Herkunft (WPK-Daten von Proben aus demselben Materialvorkommen), wo auch eine "vergleichbare" Materialzusammensetzung punkto Kornform und Petrographie zu erwarten ist. So sind zum Beispiel bei den Proben Nr. 2 und 3 (beides natürliche Kiesgemische) innerhalb des Betrachtungszeitraums (inkl. WPK-Daten 2018-2022) relativ deutliche Korrelationen zwischen dem Feinanteil in der Kornfraktion 0/16 mm und dem CBR_1 -Wert (unmittelbare Tragfähigkeit) erkennbar (siehe **Abb. 34 a**). Allerdings sind die Trends bei den beiden Materialien offensichtlich gegenläufig (einmal positiv und einmal negativ). Eine ähnliche Tendenz ist beim Vergleich mit der maximalen Hebung im Frostversuch erkennbar (**Abb. 34 d**). Diese Betrachtungen deuten darauf hin, dass klare Zusammenhänge zwischen ungebundenen Gemischen verschiedener regionaler Provenienz nicht oder nur bedingt erwartet werden können (wobei vorliegend darauf hinzuweisen ist, dass mit nur 6 Materialarten und maximal 5 Prüfergebnissen pro Provenienz der Datensatz für eine Verallgemeinerung nur sehr klein ist). Ausserdem zeigt sich auch hier immer deutlicher, dass, ähnlich wie bei der Wasserdurchlässigkeit, auch die CBR-Werte nicht ausschliesslich vom Feinanteil bzw. der Korngrößenverteilung abhängig sind. Vielmehr ist es naheliegend, dass auch bei den Tragfähigkeitseigenschaften (welche ja mittels CBR-Versuchen letztlich dargestellt werden) weitere Einflussgrössen wie die Kornform und die stoffliche Zusammensetzung eine wichtige Rolle spielen.

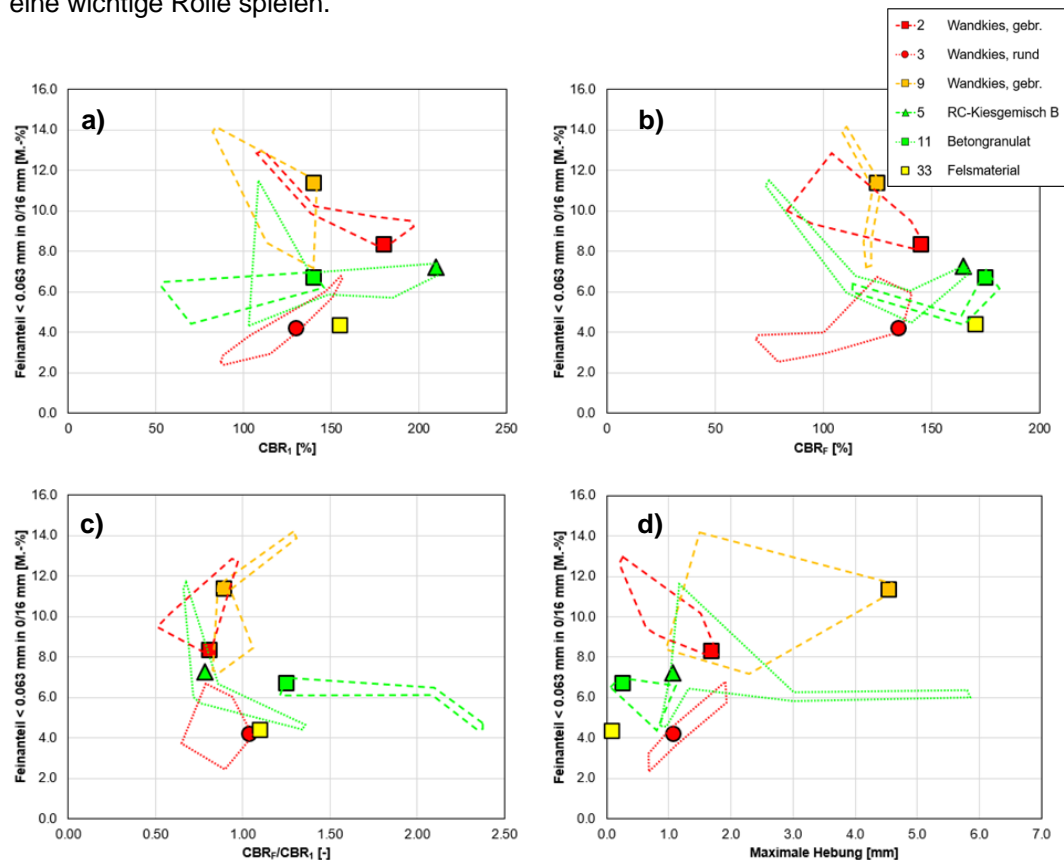


Abb. 34 Vergleich der Tragfähigkeitseigenschaften aus den CBR_1 und CBR_F -Versuchen an den 6 ausgewählten Proben: **a)** CBR_1 , **b)** CBR_F , **c)** CBR_F/CBR_1 und **d)** maximale Hebung. Die gestrichelten und gepunkteten Linien kennzeichnen den Wertebereich unter Berücksichtigung von WPK-Daten aus den Jahren 2018 – 2022

Eine weitere Erkenntnis, die sich anhand der vorliegenden Daten abzeichnet, ist, dass die im Labor bestimmten Tragfähigkeitseigenschaften eines konkreten Produkts (ungebundenes Gemisch einer bestimmten Provenienz) stark variieren. Dies lässt sich an den teils grossen Streuungen der einzelnen Kennwerte in **Abb. 34** erkennen. Einzelne Materialien weisen innerhalb des Betrachtungszeitraums grosse Schwankungen auf, welche z.B. bei den CBR_1 - und CBR_F -Werten durchaus im Bereich von 50...100 CBR-% liegen können (hierbei sei berücksichtigt, dass alle verwendeten Daten einer einzelnen Provenienz stets von demselben Labor ermittelt wurden; allfällige Unterschiede zwischen verschiedenen Prüfstellen können also ausgeschlossen werden). Die Gründe hierfür sind naheliegend und dürften einerseits die natürlichen Schwankungen aus Produktion und Rohmaterialvorkommen widerspiegeln. Andererseits dürfen natürlich auch die labortechnischen Messunsicherheiten nicht unberücksichtigt bleiben.

In **Abb. 35** sind nun die Ergebnisse der CBR-Versuche den Resultaten der Durchlässigkeitsversuche (Verdichtung bei denselben Bedingungen, also 1.2 MJ/m³) gegenübergestellt. Ebenfalls berücksichtigt wurden – wo vorhanden – Daten aus der WPK der entsprechenden Kieswerke. Unter Berücksichtigung der komplexen Zusammenhänge die bei der Diskussion der k-Werte einerseits (Kapitel 9.1 bis 9.3) und der CBR-Werte andererseits (siehe oben), ist es nicht erstaunlich, dass auch beim Vergleich dieser Eigenschaften auf den ersten Blick keine eindeutigen Korrelationen feststellbar sind. Da die Durchlässigkeitsprüfung erst seit kurzem flächendeckend gefordert wird, muss auch berücksichtigt werden, dass die Datenmenge aktuell noch sehr gering ist. Anhand der 6 Stichproben aus dem vorliegenden Projekt lassen sich zurzeit keine klaren Folgerungen ableiten. Zwei Tendenzen lassen sich aus den verfügbaren Daten erahnen, müssen aber zwingend noch mit weiteren Daten verifiziert werden:

- Es scheint, dass innerhalb einer Materialprovenienz Proben mit einem höheren Tragfähigkeitsindex CBR_1 zu niedrigeren k-Werten tendieren (siehe z.B. Probenmaterial Nr. 2 in **Abb. 35 e**). Dies wäre insofern zu erwarten, da höhere CBR-Werte bei gleicher "Materialart" eine höhere Packungsdichte signalisieren, was eine geringere Durchlässigkeit zur Folge hat.
- Zudem lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Volumenänderung im Frosthebungsversuch und der Durchlässigkeit erahnen. Proben, welche eine geringere maximale Hebung resp. nach dem Frosthebungsversuch Setzungen aufweisen (Resthebung < 0 mm bzw. Quellmass < 0) scheinen zu höheren Durchlässigkeiten zu tendieren. Auch dies würde den Erwartungen entsprechen. Die Hebung und das Quellmass werden von der kapillaren Saugfähigkeit des Materials gesteuert. Dabei gilt grundsätzlich, dass die Kapillarität umso grösser wird, je "feiner" die Porengrössenverteilung ist. Eine feine Porengrössenverteilung (feinporiges Gefüge) würde wiederum zu einer geringeren Durchlässigkeit führen (siehe Kapitel 7.6 und Kapitel 3.1 zu den Prinzipien "Frost im Boden").

Abschliessend ist festzuhalten, dass die durchgeführten CBR-Versuche Resultate ergaben, die in etwa den Erwartungen für die 6 ausgewählten Typ-Materialien entsprechen. Die CBR_F/CBR_1 -Verhältnisse erfüllen die Anforderungen für "frostsichere" ungebundene Gemische gemäss den geltenden Anforderungen, veranschaulichen jedoch auch die grossen Streuungen, welche besonders auch innerhalb "gleicher Materialsorten" (gleiche Provenienz) auftreten. Die Ergebnisse passen gut mit den Ergebnissen aus dem Forschungsprojekt VSS 2011/508 (Rütti & Angst, 2021 [14]) überein. Klare Korrelationen zu den im Labor ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten können jedoch mit den vorliegenden wenigen Daten nicht abgeleitet werden. Weder lassen die Durchlässigkeitswerte auf das Tragfähigkeitsverhalten schliessen noch umgekehrt. Für die Qualitätssicherung bedeutet dies, dass bis auf weiteres beide Eigenschaften weiterhin separat beurteilt werden müssen.

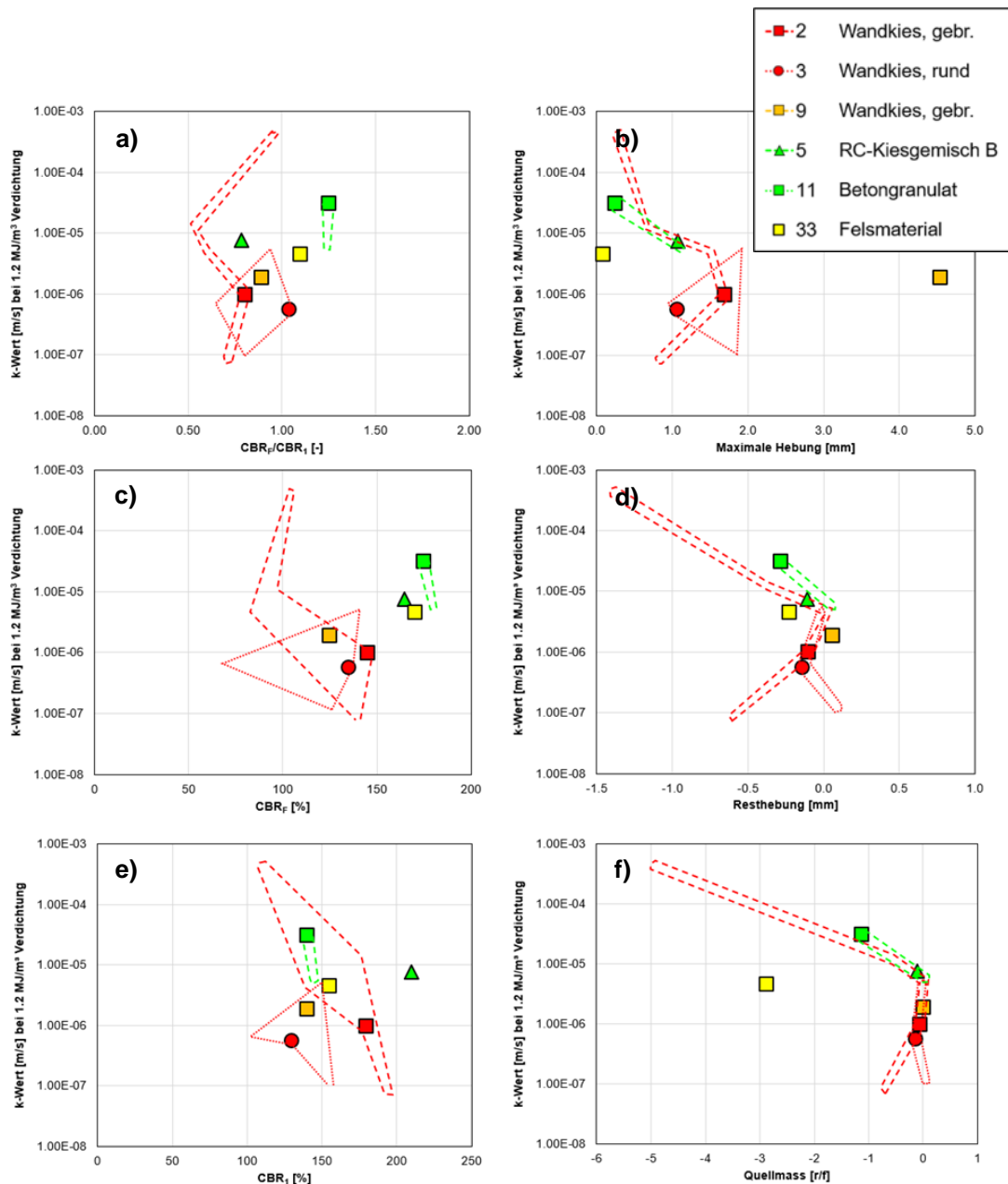


Abb. 35 Vergleich zwischen der Durchlässigkeit (k -Werte bei Trockendichte gem. Proctor 1.2 MJ/m³) und den Ergebnissen aus den CBR-Versuchen: **a)** CBR_F/CBR_1 , **b)** maximale Hebung, **c)** CBR_F , **d)** Resthebung, **e)** CBR_1 und **f)** Quellmass (Quotient aus Resthebung am Ende des Versuchs und maximaler Hebung während der Frostphase). Die gestrichelten Linien kennzeichnen den Bereich der zusätzlich berücksichtigten WPK-Daten aus dem Zeitraum 2018-2022 (Probe Nr. 2 $\rightarrow n = 4$ zusätzliche Datensätze; Probe Nr. 3 $\rightarrow n = 3$; Probe Nr. 11 $\rightarrow n = 1$)

10 Schlussfolgerungen

10.1 Zielerreichung

In Kap. 2 wurden 4 Fragestellungen definiert, welche im Forschungsprojekt adressiert werden sollten. Mit den erzielten Ergebnissen können diese wie folgt beantwortet werden:

- **Spezifizierung der Labormethode:** Mit den durchgeführten Vergleichsversuchen in den beiden beteiligten Prüfstellen und mit der umfangreichen Analyse der Einflussgrößen wurde eine Arbeitsanleitung erstellt, anhand derer der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von ungebundenen Gemischen mit zufriedenstellender Reproduzierbarkeit bestimmt werden kann (siehe Anhang I.1). Es wird empfohlen dieses Verfahren künftig für die Umsetzung der SN EN 13285 [42] anzuwenden. Zentrale Bestandteile sind dabei die Festlegung der Probenkörperverdichtung unter Verwendung einer genau definierten Probenmenge («Ziel-Trockendichte») und einem Einbauwassergehalt, der 70% vom optimalen Wassergehalt gem. Proctorversuch entspricht.
- **Entwässerungsverhalten im Labor von "typischen", bisher in der Praxis erfolgreich eingesetzten ungebundenen Gemischen:** Die Durchlässigkeitsbeiwerte nach Darcy wurden für 13 Typ-Materialien im Laborversuch bestimmt. Der Einfluss unterschiedlicher Verdichtungsgrade wurde geprüft (nominelle Verdichtungsenergie 0.6 und 1.2 MJ/m³). Die untersuchten Gemische weisen Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von $1.9 \cdot 10^{-6}$ bis $2.8 \cdot 10^{-4}$ m/s (Trockendichte gem. Proctor-Standard 0.6 MJ/m³) auf. Bei höherer Verdichtung (CBR; Proctor 1.2 MJ/m³) resultieren erwartungsgemäss etwas niedrigere k-Werte ($5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5}$ m/s).
- **Zusammenhänge zwischen der Wasserdurchlässigkeit und anderer, im Labor bestimmter Materialkenngrößen (insbesondere CBR-Werte):** Es konnte gezeigt werden, dass *in puncto* Wasserdurchlässigkeit die Lagerungsdichte des zu prüfenden Materials eine massgebende Einflussgrösse darstellt. Über alle Daten betrachtet zeigt sich eine Tendenz, dass die Durchlässigkeit abnimmt, wenn das Material bei einer definierten Verdichtungsenergie eine höhere "Verdichtungswilligkeit" zeigt. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass für andere Eigenschaften – insbesondere Kennwerten der Korngrößenverteilung – nur schwache Korrelationen vorhanden sind. Die Durchlässigkeit wird von einer Vielzahl Faktoren beeinflusst, welche sich zusätzlich überlagern. Im Besonderen zeigte sich, dass der Feinanteil in der Gesamtprobe kein belastbares Kriterium ist, um die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen abzuschätzen. Die Datenanalysen zeigten, dass dies ebenso für das Tragverhalten im Labor (CBR-Versuche) gilt. Die Verwendung des Feinanteils als Schwellenwert für den Entscheid, ob ein ungebundenes Gemisch in Bezug auf die Durchlässigkeit oder die Frostsicherheit geprüft werden muss, ist grundsätzlich zu hinterfragen (zumal der Feinanteil im Gesamtmaterial auch keinen unmittelbaren Schluss auf den relativen Feinanteil in der im Labor geprüften Kornklasse 0/16 mm zulässt!).
- **Festlegung von Anforderungen an die Durchlässigkeit ungebundener Gemische:** Die 13 untersuchten Typ-Materialien repräsentieren eine grosse Spannweite von Materialarten (natürliche und rezyklierte Gesteinskörnungen; Alluvialkiese, teilgebrochenes Material, Felsmaterial und betonhaltige RC-Gemische) und ein breites Sieblinienspektrum. Entsprechend kann der Datensatz als breit abgestützt betrachtet werden. In Bezug auf die Korngrößenverteilung konnte einzig der sehr feinkörnige Bereich mit Feinanteilen zwischen 8 und 12 Masse-% nicht berücksichtigt werden. Solche Kiesgemische sind am Markt nur selten zu finden und somit für repräsentative "normkonforme" und "erfolgreich eingesetzte" Produkte auch nicht unbedingt relevant. Gesamthaft ist festzuhalten, dass eine Auswahl von 13 Proben immer noch einen Stichprobencharakter beibehält und die Datenbasis relativ gering bleibt. Nichtsdestotrotz zeigten die Untersuchungen, dass die geprüften Proben summarisch als ausgewogene Auswahl beurteilt werden können.
Die k-Werte, die unter "harmonisierten" Versuchsbedingungen (also bei einer gleichen Trockendichte wie für die CBR-Versuche) ermittelt wurden, liegen im Bereich von

$5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5}$ m/s. Diese Werte können also als Basis für die Festlegung von normativen Anforderungen an die Durchlässigkeit verwendet werden.

10.2 Empfehlungen für die Normierung

10.2.1 Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit

Wie im vorangehenden Kapitel dargelegt, können die 13 untersuchten Typ-Materialien als breit aufgestellte Auswahl an ungebundenen Gemischen eingestuft werden, die bisher in der Strassenbaupraxis erfolgreich und ohne bekannte Schadenfälle eingesetzt wurden. Alle Materialien erfüllen die bisherigen Anforderungen an die Korngrössenverteilung und an das Tragverhalten unter Einwirkung von Frost ($\text{CBR}_F/\text{CBR}_1 > 0.5$). Die an diesen Materialien im Labor bestimmten Durchlässigkeitsbeiwerte können also für die Festlegung von normativen Anforderungen verwendet werden. Wie bereits erwähnt, ist es für die Qualitätssicherung sinnvoll, die Durchlässigkeit und das Tragverhalten (CBR-Versuche) unter harmonisierten Bedingungen zu prüfen. Das heisst an Probekörpern, welche unter denselben Rahmenbedingungen hergestellt wurden. Es wird daher empfohlen, die Laborprüfungen auch weiterhin an der Kornklasse 0/16 durchzuführen. Für den Verdichtungsgrad bei der Probekörperherstellung soll ebenfalls wie bisher die maximale Trockendichte aus dem Proctorversuch bei einer nominellen Verdichtungsenergie von 1.2 MJ/m^3 verwendet werden. Hingegen wird unter Berücksichtigung der Resultate des methodologischen Teils des Projekts empfohlen, die Verdichtung bei reduziertem Wassergehalt ($70\% w_{\text{opt}}$) durchzuführen. Für die Prüfstellen bedeutet dies, dass die Verdichtungsprozedur im Labor etwas angepasst werden muss (da aufgrund des etwas niedrigeren Wassergehalts etwas mehr Energie benötigt wird um die Ziel-Trockendichte zu erreichen).

Bei den o.g. Versuchsbedingungen wurden an den 13 Typ-Materialien k-Werte im Bereich von $5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5}$ m/s gefunden. Bei 2 Gemischen (Probe Nr. 2 und 3; beides natürliche Kiesgemische) resultierten k-Werte in der Grössenordnung von 10^{-7} m/s. Alle übrigen Proben liegen im Bereich 10^{-6} bis 10^{-5} m/s. Da alle Gemische in der bisherigen Baupraxis als "gut geeignet" und "bewährt" gelten, ist somit darauf zu schliessen, dass im Labor an der Kornklasse 0/16 mm bestimmte k-Werte $\geq 10^{-7}$ m/s (unter Einhaltung der oben dargelegten Prüfbedingungen) die Anforderungen an eine ausreichende Entwässerung der Foundationsschicht erfüllen. Eine strengere Definition eines Mindestwerts (z.B. $\geq 10^{-6}$ m/s) würde dazu führen, dass einzelne bisher eingesetzte "normkonforme" Produkte nicht mehr verwendet werden könnten. Für die künftige Weiterentwicklung könnte ggf. geprüft werden, ob eine Abstufung von Anforderungswerte zielführend sein könnte. So könnten z.B. bei Gemischen, die k-Werte unter einem gewissen Schwellenwert aufweisen (z.B. $< 10^{-6}$ m/s) strengere Anforderungen an das Tragverhalten (z.B. ein höheres $\text{CBR}_F/\text{CBR}_1$ -Verhältnis oder höhere Anforderungen an die absoluten CBR-Werte) definiert werden. Ein solches Konzept müsste jedoch vorgängig zusätzlich geprüft werden. In diesem Zusammenhang wäre insbesondere auch das Verhalten von ungebundenen Gemische mit Feinanteilen im oberen zulässigen Bereich (8...12 Masse-% in der Gesamtprobe) näher anzuschauen.

10.2.2 Schwellenwerte und Nachweisanforderungen

Heute basiert die Anforderung, ob ein ungebundenes Gemisch betreffend Frostsicherheit und Wasserdurchlässigkeit geprüft werden muss, allein auf dem Feinanteil aus der Siebkurve (Siebdurchgang bei 0.063 mm), wobei gem. SN EN 13285 [42] zwischen natürlichen und rezyklierten Gesteinskörnungen unterschieden wird.

Die Durchlässigkeitsversuche an den in dieser Studie untersuchten Materialien zeigen keine systematischen Unterschiede zwischen rezyklierten Gesteinskörnungsgemischen und natürlichen Kiesgemischen. Diese Aussage deckt sich im Wesentlichen mit den Erkenntnissen aus den Untersuchungen zu CBR-Werten und CBR-Verhältnissen von Rütli & Angst (2021) [22]. Auch wenn die Datenbasis nach den beiden erwähnten Studien immer

noch relativ bescheiden ist, zeichnet sich bisher keine klare Notwendigkeit ab, für die einzelnen Klassen von ungebundenen Gemischen unterschiedliche Schwellenwerte bzw. Anforderungsbereiche festzulegen.

Diese Folgerungen beschränken sich momentan allerdings nur auf betonhaltige RC-Gemische (RC-Kiesgemische B und RC-Betongranulatgemische). Asphalthaltige Gemische (z.B. RC-Kiesgemisch A) oder RC-Mischgranulatgemische wurden weder in der vorliegenden Studie noch von Rütli & Angst (2021) [22] untersucht.

Basierend auf den in Kapitel 9 dargelegten Datenanalysen kommt ein weiterer wichtiger Aspekt hinzu. Es zeigt sich nämlich, dass das bisher angewendete Konzept der Schwellenwerte bezüglich des Feinanteils in der Gesamtprobe von ungebundenen Gemischen generell zu hinterfragen ist. Klare Korrelationen mit dem Feinanteil konnten in allen Studien (Wietek et al. 2017 [14], Rütli & Angst, 2021 [22] und im vorliegenden Projekt) weder in Bezug zu den CBR-Werten, noch zu den CBR_F/CBR_1 -Verhältnissen noch zu den Durchlässigkeitsbeiwerten aufgezeigt werden. Konsequenterweise ist das heutige Modell der Vorbeurteilung der Frost- und Wasserempfindlichkeit anhand des Feinanteils grundsätzlich zu hinterfragen. Die Daten aus allen drei Studien zeigen relativ klar auf, dass der Feinanteil innerhalb des Norm-Sieblinienbereichs von ungebundenen Gemischen nach SN EN 13285 [42] kein belastbares Kriterium ist, um die Frost- und Wasserempfindlichkeit zu beurteilen. Wenn sich schwache Trends abzeichnen, dann nur, wenn die Sieblinienparameter auf die tatsächlich im Labor geprüfte Kornfraktion bezogen werden (d.h. auf die Kornklasse 0/16 mm und nicht das Gesamtgemisch).

Die Resultate aus den vorliegend durchgeführten Untersuchungen deuten vielmehr darauf hin, dass sowohl die Tragfähigkeitseigenschaften als auch die Entwässerung eines ungebundenen Gemischs von einer Kombination aus verschiedenen Materialeigenschaften abhängig sind. Die Korngrössenverteilung ist nur eine hiervon. Die Tendenzen und Zusammenhänge zeigen, dass insbesondere die erzielbare Lagerungsdichte – also die "Verdichtungswilligkeit" – eine massgebliche Rolle spielt. Für die Wasserdurchlässigkeit zeigten sich hierbei die zu erwartenden Tendenzen, dass jene Materialien, die sich stark verdichten lassen, auch ein tendenziell dichteres Porengefüge aufweisen. Entsprechend resultieren in solchen Fällen auch niedrigere k-Werte. Unter diesen Aspekten stellt sich die Frage, ob für eine Qualitätssicherung inskünftig nicht die Verdichtungseigenschaften stärker gewichtet werden sollten. Vorstellbar wäre z.B. ein System, indem nicht mehr indirekte Kennwerte wie der Feinanteil eines Kiesgemisches, sondern z.B. Änderungen bei den Verdichtungseigenschaften als Entscheidungsgrundlage für die Durchführung weiterführender Gebrauchstauglichkeitsprüfungen verwendet werden (also z.B. um festzulegen ob Eigenschaften wie die Durchlässigkeit oder Frostsicherheit nachzuweisen sind oder nicht).

Das Verständnis dieser Zusammenhänge rund um die Verdichtbarkeit ist weiter auch für die Entwicklung auf der Ebene der Laborprüfverfahren wichtig. Innerhalb des Prüfsystems für die Qualitätssicherung wird die Lagerungsdichte letztlich durch die Ergebnisse des Proctorversuch abgebildet. Alle weiteren Eigenschaften (Durchlässigkeit, Tragfähigkeitsindices) werden anschliessend auf der Basis der aus dem Proctorversuch resultierenden Verdichtungseigenschaften geprüft. Die Eigenschaften "maximale Trockendichte" und "optimaler Wassergehalt" sind deshalb von entscheidender Bedeutung. Oder anders ausgedrückt: Unsicherheiten oder eine mangelhafte Durchführung des Proctorversuchs wirken sich schlussendlich auch auf die übrigen Gebrauchstauglichkeitskennwerte wie die Durchlässigkeit und die Frostsicherheit aus. Im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Qualitätssicherung von ungebundenen Gemischen veranschaulichen so die Resultate dieser Studie, dass Verbesserungen oder Verfeinerungen bei den Prüfungen nicht nur die Durchlässigkeits- oder CBR-Versuche betreffen, sondern ihren Ursprung bereits beim zu Grunde liegenden Verdichtungsversuch haben. Im Bereich der Labortechnik drängt sich also die Frage in den Vordergrund: Wie kann die Qualität des Proctorversuchs (oder anderer Verdichtungsversuche) für die Konformitätsbewertung von ungebundenen Gemischen verbessert werden?

10.3 Übertragbarkeit in die Baustellenpraxis

Im Rahmen des vorliegenden Projekts waren keine Feldversuche zur Untersuchung der Übertragbarkeit in die Baustellenpraxis vorgesehen. Das Ziel der Studie war in erster Linie eine Standortbestimmung zu den Eigenschaften der im Labor bestimmten Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen durchzuführen. Nichtsdestotrotz lassen sich aus den Resultaten der Versuche einige interessante Erkenntnisse ableiten, welche als Ansätze für eine künftige Verbesserung der Qualitätssicherung beim Bau von Foundationsschichten von Verkehrswegen dienen können. Nachfolgend werden zwei Aspekte beleuchtet, welche im Wesentlichen die Bauausführung betreffen. Einerseits ist dies der Einfluss des Wassergehalts bei der Verdichtung von ungebundenen Gemischen, also der "Anlieferungs-" und/oder "Einbauwassergehalt" (letztere sind nicht zwingend identisch!). Andererseits sind auch die Auswirkung sich verändernder Korneigenschaften beim Materialumschlag und bei der Zwischennutzung ungebundener Foundationsschichten zu betrachten. Beide Aspekten sollen als Gedankenanstoss für künftige Qualitätsverbesserungen verstanden werden und müssten – idealerweise flankiert mit Feldversuchen – in zukünftigen Forschungsvorhaben näher untersucht werden.

10.3.1 Veränderung der Materialeigenschaften während Umschlag und Einbau

Wie in vorgängigen Kapiteln zusammengefasst und dargelegt, wird die Durchlässigkeit und der Frostwiderstand ungebundener Foundationsschichten durch eine Vielzahl von Materialeigenschaften gesteuert. Korngrößenverteilung, Kornform und die stoffliche (petrographisch-mineralogische) Zusammensetzung steuern die Verdichtbarkeit und so die schliesslich erzielbare Lagerungsdichte. Das so entstehende Korngerüst bzw. Porengefüge ist entscheidend für die spätere Wasserdurchlässigkeit und somit auch den Frostwiderstand. Die Qualitätssicherung konzentriert sich bei diesen Eigenschaften im Wesentlichen auf den Aufbereitungsprozess bis hin zum Verlad bzw. Verkauf des fertig gemischten Produkts. Wird nun das ungebundene Gemisch beim Transport, Umschlag auf der Baustelle und/oder Einbau verändert, so ist es naheliegend, dass sich auch die Gebrauchseigenschaften wie die Durchlässigkeit oder der Frostwiderstand verändern kann. Für andere Baustoffe bzw. Schüttgüter wie z.B. Asphaltmischgut oder Frischbeton gilt das gleiche. Allerdings wird beim Asphalt- und Betonbau diesen Aspekten schon lange Rechnung getragen und entsprechende Kontrollverfahren wie z.B. Frischbetonkontrollen oder Bohrkernuntersuchungen an eingebauten Schichten haben sich längst in der Praxis bewährt. Anders bei den ungebundenen Gemischen, wo Einbaukontrollen – mit Ausnahme von Plattendruckversuchen zur Kontrolle der Tragfähigkeit und Verdichtung – immer noch eine Seltenheit sind. Der Bau von Foundationsschichten wird in diesem Sinne eher stiefmütterlich behandelt.

Ein wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang sind beispielsweise Entmischungen, welche bei (unsachgemässer) Handhabung auf der Baustelle vorkommen können. Allerdings können auch beim Einsatz von an sich geeigneten Strassenbaugerätschaften nachteilige Veränderung an Kiesgemischen auftreten. So haben z.B. Heindel & Noyes (1997) [26] in einer Studie in den USA anhand verschiedener Feldversuche gezeigt, dass beim Abziehen des ungebundenen Gemischs mittels Grader eine Tendenz besteht, die feinkörnigere Fraktion des Gemischs an der Oberfläche der Foundationsschicht zu konzentrieren. Dadurch kann an der Oberfläche eine "dichtere" Sperrschicht entstehen, welche die vertikale Entwässerung behindert (Verringerung der Durchlässigkeit um bis zu 2 Größenordnungen bzw. Zehnerpotenzen).

Ein weiterer Aspekt, dem unter Umständen in der Baupraxis zu wenig Beachtung geschenkt wird, ist der Veränderung der Materialeigenschaften durch den Bauverkehr (also z.B. die temporäre Nutzung ungebundener Foundationsschichten als Baupisten). Hinweise hierzu sind u.a. aus der Forschung bekannt. In einer baubegleitenden Studie haben Wolf & Wellner (2014) [24] fortlaufend Feldversuche auf einer ungebundenen Foundationsschicht (bzw. "Tragschicht ohne Bindemittel" ToB) im Autobahnbau durchgeführt und dabei über

längere Zeit und stetigem Baustellenverkehr die Entwicklung der Tragfähigkeit und Durchlässigkeit der eingebauten Schichten untersucht. In Bezug auf die Durchlässigkeit wurde dabei festgestellt, dass die Durchlässigkeit der eingebauten Schichten unter Baustellenbedingungen erheblichen Veränderungen unterliegen. Als Gründe wurden sowohl Nachverdichtungen als auch Kornzertrümmerungen bzw. Kornverfeinerung an der Oberfläche durch den Baustellenverkehr identifiziert. Hinsichtlich der Kornzertrümmerung spielt auch die Gesteinsfestigkeit eine grosse Rolle. Dieser Aspekt ist unter Umständen auch für die Beurteilung der bekannten Schadenfälle von Interesse. Eine relevante Anzahl der in den letzten Jahren dokumentierten Fällen ist auf Objekte zurückzuführen, die mit betonhaltigen RC-Gemischen ausgeführt wurden (vgl. Kapitel 5). Betongranulat weist eine deutlich niedrigere Kornfestigkeit auf als viele natürliche Gesteinskörnungen. In der Qualitätssicherung wird die Kornfestigkeit über den Widerstand durch Zertrümmerung mit dem Los Angeles-Prüfverfahren bestimmt (siehe SN EN 13242 [49]). Als Anforderung gilt aktuell ein maximal zulässiger Los Angeles-Koeffizient (LA) von 40. Während natürliche Gesteinskörnungen je nach petrographischer Zusammensetzung erfahrungsgemäss oft niedrige LA-Koeffizienten ($\sim 20 \dots 30$) aufweisen, sind die Werte bei Betongranulat i.d.R. deutlich höher ($LA > 30$). Der Aspekt der Kornzertrümmerung wurde in der vorliegenden Studie nicht betrachtet und müsste mittels zusätzlicher (Feld-)Versuche näher untersucht werden.

10.3.2 Anlieferungs- und/oder Einbauwassergehalt auf der Baustelle

Sowohl Resultate aus früheren Studien (z.B. Keppler, 1986 [19], Wolf, 2014 [2], Wolf & Wellner, 2015 [24]) als auch die vorliegenden Versuche zeigten, dass die Porenstruktur (und damit auch die Wasserdurchlässigkeit) von Probekörpern mit gleicher Dichte (und gleichem Porenanteil) vom Verdichtungswassergehalt abhängt, mit dem die Proben eingebaut worden sind. Es ist deshalb naheliegend, dass die resultierende Durchlässigkeit einer ungebundenen Foundationsschicht ganz wesentlich vom Wassergehalt des ungebundenen Gemischs zum Zeitpunkt des Einbaus beeinflusst wird. Hierbei ist wichtig festzuhalten, dass für die Produktedeklaration (z.B. Leistungserklärungen) Materialeigenschaften im Labor unter "idealen" Bedingungen ermittelt werden. Probekörper zur Ermittlung von Gebrauchstauglichkeitseigenschaften werden unter "optimalen" und zwecks Vergleichbarkeit unter "standardisierten" Bedingungen hergestellt (also z.B. 100% w_{opt} oder – wie in dieser Studie für die Durchlässigkeitsversuche empfohlen – bei 70% w_{opt}). Es leuchtet ein, dass diese Bedingungen von der Baustellensituation erheblich abweichen können. Gerade was der Anlieferungs- und Einbauwassergehalt betrifft, dürften die Abweichungen in der Baupraxis eine sehr grosse Spannweite aufweisen. Die Aufbereitungstechnik und die Lagerhaltung von ungebundenen Gemischen erlaubt in der heutigen Marktsituation nämlich in den seltensten Fällen eine aktive Kontrolle des Anlieferungswassergehalts. Vielleicht mit der Ausnahme einiger Spezialanwendungen (wie z.B. Kiessand PSS für den Gleisbau) werden ungebundene Gemische in aller Regel "witterungsabhängig" geliefert. Das heisst bei schönem Wetter relativ trocken ($< w_{opt}$) und bei niederschlagsreicher Witterung unter Umständen entsprechend nass ($> w_{opt}$).

Wie in den oben erwähnten Studien als auch anhand der vorliegenden Resultate demonstriert, beeinflusst gerade der Wassergehalt beim Einbau die spätere Durchlässigkeit und somit auch die Frostbeständigkeit eines verdichteten Kiesgemischs erheblich. Bei den Frostprüfungen im Labor unter "optimalen" Bedingungen (System CBR) entsteht also ein Korngefüge mit minimaler Durchlässigkeit und einer Wassersättigung im Bereich von 70 bis 90% (siehe Kap. 8.1.3). Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Durchlässigkeit bei optimalem Wassergehalt kann beim CBR_F-Versuch im Labor nur wenig Wasser in ein solches Gemisch eindringen. Gleichzeitig hat Wasser, welches sich bereits im Porengefüge befindet, ausreichend freien Porenraum zur Verfügung um sich beim Gefrieren auszubreiten, ohne dass es zu grösseren Hebungen im Kiesgemisch kommt (siehe Details zu den Frostmechanismen in Böden in Kap. 3.1). Die Baustellensituation kann sich demgegenüber jedoch gänzlich anders darstellen. Wird ein grundsätzlich "normkonformes" ungebundenes Gemisch z.B. deutlich "zu nass" eingebaut, so ist eine deutlich höhere Wassersättigung in der eingebauten Foundationsschicht zu erwarten. Wenn

nun das "eingeschlossene" Wasser zudem aufgrund der Materialeigenschaften (z.B. eher niedrige Durchlässigkeit) nicht aus der Foundationsschicht abfliessen kann, so können bei tiefen Temperaturen Frosthebungen auftreten (wobei eine schlechte Entwässerung natürlich auch im Sommerhalbjahr zu problematischen Situationen führen kann).

Hinweise und Erkenntnissen aus der im Vorfeld dieser Studie durchgeführten Umfrage deuten darauf hin, dass solche Situationen in der Praxis zu Schadensereignissen in der jüngeren Vergangenheit – zumindest teilweise – beigetragen haben (siehe Kapitel 5). In den meisten dokumentierten Fällen führte eine Verknüpfung von mehreren ungünstigen Faktoren dazu bei, dass Frosthebungen auftreten und Schäden entstehen konnten. Diese Beispiele veranschaulichen, dass nicht bloss die reinen Produkteigenschaften eines ungebundenen Gemischs "ab Werk" zur gewünschten Gebrauchstauglichkeit beitragen, sondern auch der Zustand des Materials vor und während der Anlieferung auf der Baustelle sowie dessen Verarbeitung beim Einbau.

Die Ausführung von Foundationsschichten ist im Schweizer Normenwerk grundsätzlich in der VSS 40 580 [48] geregelt. Diese Norm regelt nebst den anzuwendenden Baustoffen (ungebundene Gemische) ebenfalls die Handhabung, den Einbau und die Kontrollverfahren. Erfahrungen aus der Praxis zeigen jedoch immer wieder, dass insbesondere den in dieser Norm definierten Kontrollen bei der Bauausführung nur wenig Beachtung geschenkt wird. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Forschungsergebnisse und den dokumentierten Schadenfällen wird deshalb empfohlen, nebst der Qualitätssicherung bei der Herstellung von ungebundenen Gemischen auch der Qualitätssicherung bei der Verwendung und der Bauausführung vermehrt Beachtung zu schenken. Ebenfalls sollte geprüft werden, ob die Norm VSS 40 580 [48] betreffend angesprochene Problematik des Liefer- und Einbauwassergehalts von ungebundenen Gemischen sinnvoll ergänzt werden kann.

11 Ausblick

Die Ergebnisse aus dem vorliegenden Forschungsprojekt beleuchten die für den Bau von Foundationsschichten verwendeten ungebundenen Gemischen nach VSS 70 119 [27] mit Fokus auf die Wasserdurchlässigkeit und den damit verbundenen Zusammenhängen mit der Frostsicherheit. Dabei wurde einmal mehr aufgezeigt, dass das Zusammenspiel zwischen Wasser und Frost in ungebundenen Gemischen und Lockergesteinen komplex ist. Anhand der durchgeführten Laborversuche konnte zwar eine "Standortbestimmung" zur Eigenschaft der "Wasserdurchlässigkeit" von normkonformen und praxisbewährten ungebundenen Gemischen im Labortest durchgeführt und die wichtigsten Einflussgrößen aufgezeigt werden. Zudem konnten Empfehlungen zur Festlegung von Anforderungen für die notwendigen Nachweise bei der Qualitätssicherung gemacht werden. Die Untersuchungsergebnisse förderten jedoch auch neue Fragestellungen zu Tage resp. liessen andere Aspekte unbeantwortet.

Ein wichtiger Punkt ist hierbei die Grundlage, auf der bei der werkseigenen Produktionskontrolle entschieden wird, ob ein ungebundenes Gemisch überhaupt auf Gebrauchstauglichkeitseigenschaften wie die Durchlässigkeit und die Frostsicherheit zu prüfen ist oder nicht. Nicht nur das vorliegende Forschungsprojekt, sondern auch die beiden früheren VSS-Studien (Wietek et al. 2017 [14] und Rütli & Angst 2021 [22]) zeigen, dass die bisherigen einfachen Kriterien bzw. Schwellenwerte, welche einzig auf der Zusammensetzung der Produkte basieren (also z.B. der Feinanteil ≤ 0.063 mm), hierfür wohl nicht ausreichend sind. Es wird immer deutlicher, dass die Relevanz des Feinanteils im betrachteten Grenzbereich bis 12 Masse-% für Eigenschaften wie die Durchlässigkeit oder das Tragverhalten (CBR) gar nicht so gross ist, wie gemäss den heute festgelegten Schwellenwerten angenommen werden könnte. Aus den vorliegenden Untersuchungen konnte demgegenüber aufgezeigt werden, dass z.B. die Verdichtungseigenschaften – also die Kenngrößen welche typischerweise mittels Proctorversuch ermittelt werden – wesentlich relevanter zu sein scheinen. Auf der Ebene der Produkteigenschaften stellt sich also die Frage, welche Ansätze besser geeignet sein können, um zu entscheiden wann die Durchlässigkeit und Frostsicherheit von ungebundenen Gemischen genauer angeschaut werden muss und wann ein Material als "unkritisch" eingestuft werden kann. Eine mögliche Arbeitshypothese für einen solchen "relevanzbasierten" Ansatz wäre beispielsweise, dass die Verdichtungseigenschaften eines Produkts häufiger kontrolliert werden und Nachweise mittels Spezialprüfungen wie z.B. Durchlässigkeits- oder CBR-Versuche nur noch dann erneut durchgeführt werden müssten, wenn sich die Verdichtungseigenschaften massgeblich verändern. Ein solcher Ansatz würde jedoch auch bedingen, dass auf der Seite der Laborprüfungen (z.B. beim Proctorversuch) weitere Bestrebungen zu Verbesserungen der Wiederhol- und Vergleichbarkeit vorgenommen werden.

Ein weiterer Aspekt, wo offene Fragen bestehen, ist die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf die Baupraxis und den Beitrag zur Verbesserung der Qualitätssicherung bei der Bauausführung. Die Diskussion der Ergebnisse zeigte, dass Laborresultate erwartungsgemäss nicht ohne weiteres auf die tatsächliche Situation in einer fertig verdichteten Foundationsschicht übertragen werden können. Genau so wenig wie aus einem CBR-Wert direkt ein M_E -Wert eines Plattendruckversuchs abgeleitet werden kann, lässt sich ein k -Wert aus dem Labor auf die effektive Wasserdurchlässigkeit einer Foundationsschicht übertragen. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts lassen also keine Aussage zu, wie hoch die Durchlässigkeit bzw. "Entwässerung" einer "guten" Foundationsschicht ist bzw. sein soll. Zudem wurde eine Reihe von Einflussfaktoren diskutiert, welche sich nebst den reinen Produkteigenschaften auf die Situation der fertig eingebauten Foundationsschicht auswirken. Themen wie der Materialumschlag und das Schütten (bzw. Vermeiden von Entmischungen), die Zwischenlagerung und/oder Zwischennutzung (z.B. als provisorische Baupiste) und insbesondere Veränderungen beim Wassergehalt spielen wahrscheinlich alle eine wichtige Rolle, wenn es darum geht Schadenfälle in der Praxis zu beurteilen bzw. zu vermeiden. Diese Punkte werden zwar im aktuellen Schweizer Normenwerk (Stichwort VSS 40 580 [48]) ebenfalls angesprochen. Bezüglich der Berücksichtigung in der Baupraxis und im Hinblick auf die etablierten

Kontrollprozesse besteht in diesem Bereich aus Sicht der Verfasser ebenfalls noch Potenzial bzw. Handlungsbedarf.

Anhänge

I	Dokumente	93
I.1	Arbeitsanweisung Durchlässigkeitsversuch	93
I.2	Umfrage unter Marktteilnehmern	97
II	Resultatetabellen.....	99
II.1	Zusammenfassung Korngrößenverteilung	99
II.2	Zusammenfassung Proctorversuche.....	100
II.3	Zusammenfassung Durchlässigkeitsversuche	101
II.4	Zusammenfassung CBR-Versuche.....	102
III	Datenblätter und Laborprüfberichte.....	103
III.1	Datenblätter der Materialien	103
III.2	Laborprüfberichte BSL.....	117
III.2.1	Korngrößenverteilung.....	117
III.2.2	Proctor 0.6 MJ/m ³	124
III.2.3	Proctor 1.2 MJ/m ³	131
III.2.4	CBR-Versuche	137
III.2.5	Wasserdurchlässigkeit 0.6 MJ/m ³	143
III.2.6	Wasserdurchlässigkeit 1.2 MJ/m ³	156
III.3	Laborprüfberichte TFB.....	166
III.3.1	Korngrößenverteilung.....	166
III.3.2	Proctor 0.6 MJ/m ³	173
III.3.3	Proctor 1.2 MJ/m ³	180
III.3.4	CBR-Versuche	187
III.3.5	Wasserdurchlässigkeit 0.6 MJ/m ³	196
III.3.6	Wasserdurchlässigkeit 1.2 MJ/m ³	206

I Dokumente

I.1 Arbeitsanweisung Durchlässigkeitsversuch

Hinweis: Die folgende Arbeitsanweisung wurde im Rahmen der in diesem Projekt durchgeführten Versuche erarbeitet und basieren auf den Vorgaben der SN EN ISO 17892-11 [30] sowie auf Praxiserfahrungen, welche im Rahmen der Untersuchung der wichtigsten Einflussgrößen gewonnen wurden. Weitere wichtige Hinweise und Zusammenhänge im Zusammenhang mit der Spezifizierung der Prüfmethode sind in Kapitel 7.6 aufgeführt.

Geräte

- Zylindrischer Permeameter mit starrer Wand gem. SN EN ISO 17892-11 [30], Ziff. 5.2.2.2, bestehend aus einer Prüfzelle mit den Dimensionen eines Proctortopfs Typ B gem. SN EN 13286-2 [37] und 2 seitlich angeordneten Piezometern (siehe **Abb. 19**)
- Kreisrunde Stahlplatte A gem. SN EN 13286-2 [37], Ziff. 5.3
- Kreisrunde Stahlplatte B gem. SN EN 13286-2 [37], Ziff. 5.3, jedoch mit einem Durchmesser der ca. 1 cm grösser ist als der Durchmesser der Prüfzelle
- Proctorhammer Typ B
- Übliches Zubehör analog Proctorversuch nach SN EN 13286-2 [37]

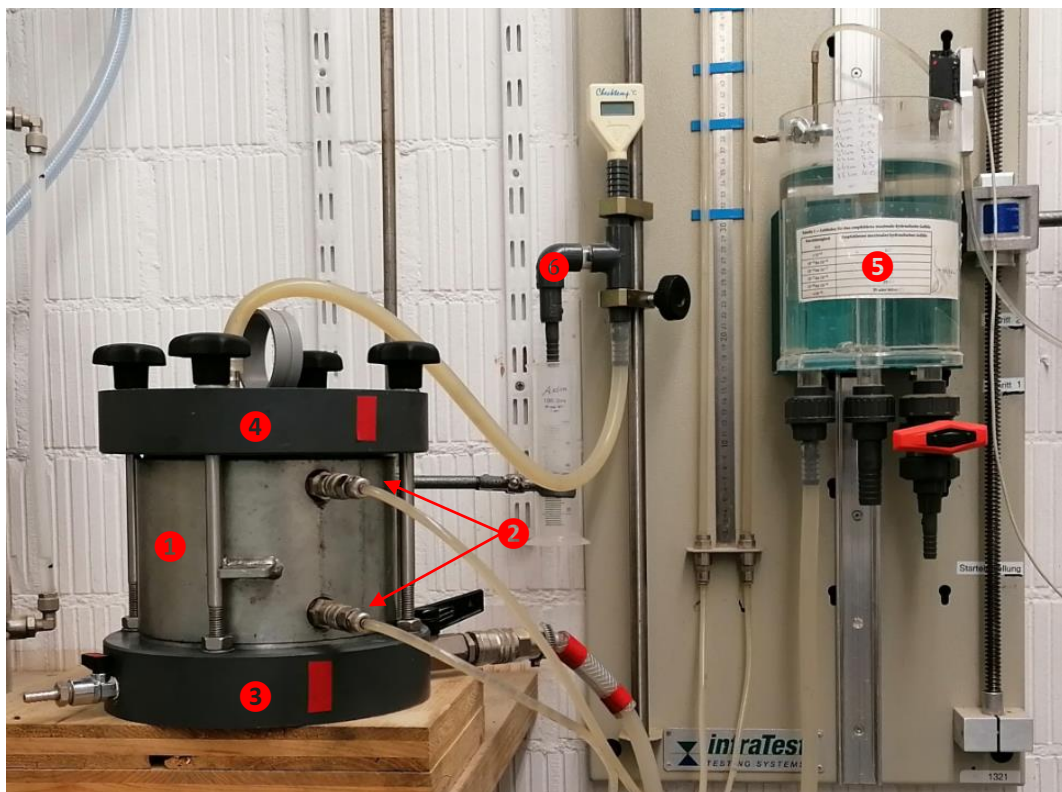


Abb. 36 Bezeichnung der Bestandteile des verwendeten Permeameters; ① Prüfzelle mit darin enthaltener Probe; ② Piezometeranschlüsse; ③ Grundplatte; ④ Kopfplatte; ⑤ Vorratsbehälter "Oberwasser"; ⑥ Überlauf "Unterwasser"

Probenvorbereitung

- Die Prüfung der Durchlässigkeit erfolgt an der Kornfraktion 0/16 mm.
- Die Verdichtung des Probekörpers für den Durchlässigkeitsversuch erfolgt bei einem Wassergehalt, der 70% des optimalen Wassergehalts. Die Ziel-Trockendichte entspricht dabei der maximalen Trockendichte (100% Proctordichte). Der optimale Wassergehalt und die maximale Trockendichte werden vorgängig mittels Proctorversuch bei einer Verdichtungsenergie von 1.2 MJ/m² ermittelt.
- Die Ruhezeit des Probematerials nach der Wasserzugabe und vor der Verdichtung beträgt rund 24 h (natürliche Gesteinskörnungsgemische) bzw. 48 h (betonhaltige rezyklierte Gesteinskörnungsgemische).

Herstellung des Probekörpers

- Auf der Innenseite der Prüfzelle wird eine seitliche Abdichtung aufgebracht (z.B. mit einer wenige mm dicken Schicht Vaseline oder dgl.). Hierbei aufpassen, dass die seitlichen Piezometeranschlüsse nicht mit Schmierstoff verstopft werden! Es hat sich bewährt, die Piezometer-Steckkupplungen vor dem Einbau des Probematerials herauszuschrauben und durch 2 Blinddeckel zu ersetzen (z.B. passende Messingschrauben, welche von aussen in die Bohrungen geschraubt werden und die Prüfzelle an der Innenseite bündig abdecken).
- Die zur Erreichung der ZIEL-Trockendichte benötigte Probenmenge wird berechnet (siehe Kapitel 7.6.1).
- Die so abgewogene Probenmenge wird in 3 gleiche Teile portioniert (Toleranz $\pm 3 \dots 5$ g). Die Herstellung des Probekörpers erfolgt in 3 Schichten.
- 1. Portion in den Topf einfüllen; das Material von Hand über den gesamten Topfquerschnitt verteilen und darauf achten, dass mittig eine flache Vertiefung ("Mulde") entsteht.
- Stahlplatte A (siehe oben) auf das Probenmaterial auflegen. Probenmaterial mit dem Proctorhammer Typ B über die Stahlplatte A verdichten. Es wird solange verdichtet, bis die Schichtdicke $\frac{1}{3}$ der Topfhöhe entspricht (Messung z.B. mittels Doppelmeter ab dem Prüfzellenrand). Da das Probenmaterial mit lediglich 70% des optimalen Wassergehalts eingebaut wird, kann es sein dass eine etwas höhere Verdichtungsenergie erforderlich ist, um die Ziel-Dichte zu erreichen (also z.B. je nach Materialart höhere Schlagzahl).
- Vor dem Einfüllen der 2. Schicht wird die Oberfläche der darunterliegenden Schicht mit einem geeigneten Werkzeug (z.B. Schraubenzieher oder dgl.) aufgeraut (Sicherstellung einer gewissen "Verzahnung" mit der nächsten Schicht bzw. Vermeidung von Trennschichten)
- 2. Portion einfüllen und Material von Hand verteilen.
- Einige (3...6) Tropfen Fluorescein-Lösung (0.1% Fluorescein in Ethanol) in mittige Vertiefung eben (Zweck der Fluorescein-Lösung, siehe Kapitel 7.6.2).
- Verdichtung analog 1. Schicht
- Einfüllen 3. Portion und erneut über die Stahlplatte A (siehe oben) verdichten. Gegen Ende der Verdichtung (Oberkante Probekörper ca. 1...2 mm über dem Topfrand überstehend) die Stahlplatte A und den Aufsatzring abnehmen.
- Stahlplatte B (Plattendurchmesser grösser als Innendurchmesser Prüfzelle; siehe oben) auf die Probenoberfläche auflegen. Anschliessend wird der Probekörper mit dem Proctorhammer fertig verdichtet. Die Verdichtung ist dann beendet, wenn die Oberkante der Probe bündig mit dem Topfrand ist.

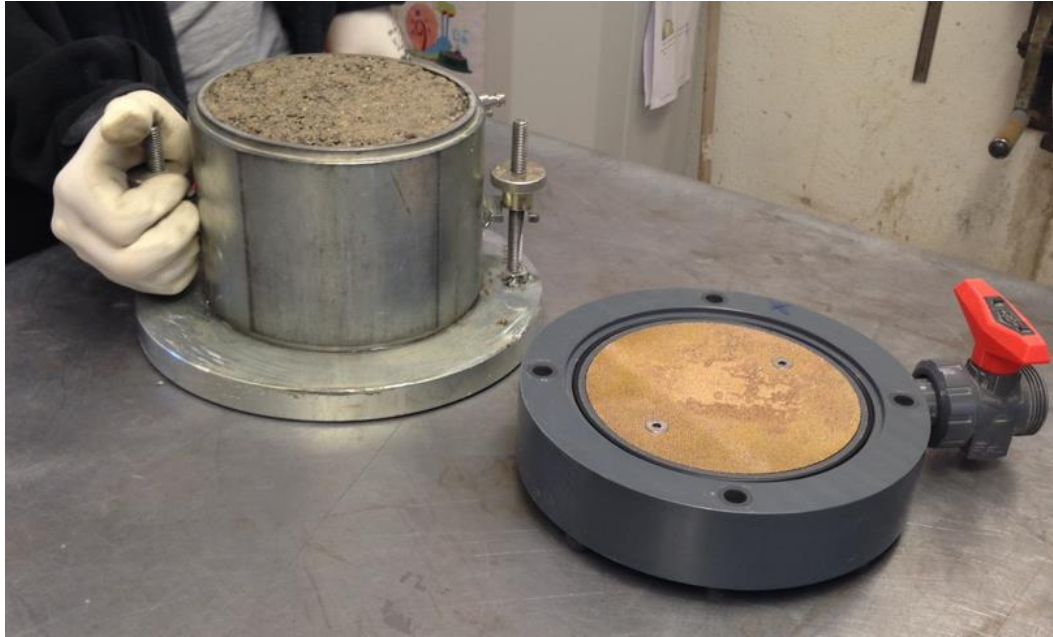


Abb. 37 Fertig verdichtete Probe in der Prüfzelle, bereit für das Platzieren auf der mit Wasseraufgefüllten Grundplatte des Permeameters (Filterplatte aus Sinterbronze wassergesättigt)

Probe sättigen und Versuch starten

- Die Blinddeckel in der Prüfzellenwand durch die Piezometeranschlüsse ersetzen. Sorgfältig darauf achten, dass kein Schmierstoff in die Piezometeranschlüsse gelangen kann!
- Grundplatte des Permeameters im Prüfstand positionieren und Niveau "Oberwasser" (Vorratsgefäß) exakt auf OK Filterplatte einstellen (untere Filterplatte wassergesättigt; siehe **Abb. 37**).
- Prüfzelle mit verdichteter Probe vorsichtig auf die wassergesättigte Filterplatte setzen (Wichtig: Lufteinschlüsse vermeiden!). Aufpassen, dass die verdichtete Probe nicht aus der Prüfzelle "rutschen" kann!
- Kopfplatte des Permeameters (Filterplatte trocken!) auf die Oberseite der Prüfzelle aufsetzen (die Probenoberfläche befindet sich nun in Kontakt mit der Filterplatte; damit in der Probe eingeschlossene Luft nach oben entweichen kann, muss die obere Filterplatte beim Einbau trocken sein!). Die Öffnung auf der Oberseite (Wasserauslauf) ist offen (Entlüftung!)
- Prüfzelle über die seitlichen Gewindestangen zwischen Grund- und Kopfplatte satt einspannen (darauf achten, dass in den Gummidichtungen keine Sandpartikel oder dgl. eingeklemmt werden).
- Niveau "Oberwasser" (siehe **Abb. 36**) anheben und Wasserspiegel im Vorratsgefäß ca. 1 cm über OK Probe (≠ OK Kopfplatte!) einstellen. Die Probe sättigt sich nun stetig und langsam von unten nach oben mit Wasser (die Wassersättigung kann z.B. an den sich langsam füllenden Piezometerschläuchen überwacht werden).
- Warten (ggf. über Nacht), bis die ganze Probe aufgesättigt ist und das Wasser an der Kopfplatte austritt.
- Gesamten Permeameter auf einer Seite ein paar cm anheben und in alle 4 Richtungen drehen (kreisende Bewegung). Allfällige, in der Kopfplatte eingeschlossene Luftblasen können so entweichen

- Niveau Oberwasser (Vorratsbehälter) und Unterwasser (Überlauf) sorgfältig justieren, bis ein hydraulischer Gradient entsteht, bei dem der Durchfluss ca. 10...20 ml/min beträgt. Bei grobkörnigen und/oder locker gelagerten resp. durchlässigen Proben sind die Versuche anfänglich bei sehr niedrigen hydraulischen Gradienten zu beginnen (geringe Wasserspiegeldifferenz; kleine Durchflussrate). Achtung: Der von der Durchlässigkeit des Materials abhängige maximale hydraulische Gradient gem. SN EN ISO 17892-11 [30], Tabelle 1 soll nicht überschritten werden!
- 1. Durchflussmessung starten. Durchlässigkeit und hydraulischer Gradient berechnen und notieren und mit dem Messbereich gem. Tabelle 1 in der SN EN ISO 17892-11 [30]
- Zusätzliche Messungen bei mind. 2 weiteren hydraulischen Gradienten im Bereich gem. SN EN ISO 17892-11 [30], Tabelle 1 durchführen. Wenn die 3 (oder mehr) Messpunkte bei einer Aufzeichnung des hydraulischen Gradienten über die Filtergeschwindigkeit auf einer Geraden liegen, so kann der Strömungsbereich als linear angenommen werden (Fließgesetz von Darcy erfüllt; siehe Kapitel 7.6.2). Falls die Punkte nicht auf einer Geraden liegen, deutet dies auf Störungen im Strömungsverhalten hin (z.B. Kornumlagerungen, Umläufigkeiten oder dgl.). In diesem Fall muss die Prüfung mit einer neuen Probe wiederholt werden.

I.2 Umfrage unter Marktteilnehmern



Forschungsprojekt: Wasserdurchlässigkeit von Fundamentsschichten als Einflussparameter für den Frostwiderstand

Eine vom Bundesamt für Strassen finanzierte Studie (VSS 2020/335)

UMFRAGE / Erfahrungen aus der Baupraxis

Einleitung: Diverse Schadenfällen aus jüngster Vergangenheit zeigen, dass gewisse ungebundene Gemische, welche im Strassenbau derzeit angewendet werden, eine unzureichende Wasserdurchlässigkeit aufweisen. Dies kann zu Frosthebungen und daraus resultierende Rissen im Asphaltbelag führen.

Die BSL Baustofflabor AG und die TFB AG haben vom Bundesamt für Strassen (ASTRA) den Auftrag erhalten, die Frage der Wasserdurchlässigkeit von in der Praxis verwendeten ungebundenen Gemischen näher zu untersuchen. Anhand einer detaillierten Studie sollen die Zusammenhänge zwischen der Materialzusammensetzung, dem Gebrauchsverhalten (u.a. Frostsicherheit) und der Durchlässigkeit erforscht werden. Die Ergebnisse sollen in der Folge dazu verwendet werden, die Qualitätssicherung von ungebundenen Gemischen zu verbessern um zukünftige Schadenfälle zu vermeiden.

Die vorliegende Umfrage hat zum Ziel, einen Überblick über die in der Schweiz gebräuchlichen ungebundenen Gemische zu schaffen. Dieser Überblick ist eine wichtige Voraussetzung, damit im Rahmen der Studie eine möglichst repräsentative Auswahl an Materialien getroffen werden kann, welche anschliessend im Labor detailliert zum Entwässerungsverhalten untersucht werden sollen. Hierfür sind wir auf Ihre geschätzte Mithilfe angewiesen! **Bitte nehmen Sie sich kurz Zeit um die folgenden Fragen zu beantworten. Um aussagekräftige Forschungsergebnisse zu erhalten, sind wir auf Ihre Erfahrungen aus der Praxis angewiesen!** Deshalb bedanken wir uns bereits im Voraus für Ihre Bemühungen!

A - Ihre Praxiserfahrungen

Mit welchen ungebundenen Gemischen (Materialarten, Abbaugbiet,...) haben Sie **gute Erfahrungen** gesammelt?

--

Welche Eigenschaften sind bei diesen Materialien besonders hervorzuheben?

Eigenschaft:

- ☐ Verarbeitbarkeit
- ☐ Tragfähigkeit
- ☐ Durchlässigkeit
- ☐ Andere:

Anmerkungen:

Mit welchen ungebundenen Gemischen (Materialarten, Abbaugbiet,...) haben Sie **schlechte / kritische Erfahrungen** gesammelt?

--

Welche kritischen Eigenschaften sind bei diesen Materialien besonders hervorzuheben?

Eigenschaft:

- ☐ Verarbeitbarkeit
- ☐ Tragfähigkeit
- ☐ Durchlässigkeit
- ☐ Frostbeständigkeit
- ☐ Andere:

Anmerkungen:

B - Materialauswahl für das Forschungsprojekt

Gibt es aus Ihrer Sicht konkrete Beispiele von ungebundenen Gemische (Abbaugebiet, Lieferant) welche aus Ihrer Sicht für die vorgesehene Studie näher untersucht werden sollten?

Beispiele für "gute" ungebundene Gemische

Begründung bzw. Kontaktperson, die möglichst detailliert Auskunft geben darf:

Beispiele für "kritische / schlechte" ungebundene Gemische

Begründung bzw. Kontaktperson, die möglichst detailliert Auskunft geben darf:

Für Ihre wertvolle Unterstützung bedanken wir uns im Voraus herzlich. Bei Fragen steht Ihnen das Projektteam jederzeit gerne zur Verfügung!

Dr. Benjamin Kaeser
BSL Baustofflabor AG
Tel. 058 226 84 44 / 079 734 13 74
b.kaeser@baustofflabor.ch

Björn Mühlen
TFB Wildegg
Tel. 062 887 72 35
muehlan@tfb.ch

Datenschutz und Vertraulichkeit: Sämtliche Informationen, welche Sie uns zur Verfügung stellen werden vertraulich behandelt. Insbesondere werden in den aus der Studie resultierenden Berichten und Publikationen auch keine Angaben zu Firmen und Lieferanten von den untersuchten Proben bekannt gegeben.

II Resultatetabellen

II.1 Zusammenfassung Korngrößenverteilung

Tab. II.1: Korngrößenverteilung der untersuchten Proben (inkl Umrechnung auf die Kornfraktion 0/16 mm mit Durchgang 100 Masse-% bei 16 mm)

Mat.-Nr.	Materialart	Gesamtprobe 0/0 mm; Siebdurchgänge in [Masse-%] bei Sieb# [mm]															Kornfraktion 0/16 mm; Siebdurchgänge in [Masse-%] bei Sieb# [mm]														
		0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	45	63	90	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16			
3	Wandkies, rund	2.4	3.1	5.5	12.3	16.7	20.4	26.0	30.6	36.7	45.1	57.2	70.9	82.5	92.8	98.4	100.0	4.2	5.4	9.6	21.5	29.2	35.7	45.5	53.5	64.2	78.8	100.0			
40	Wandkies, rund	1.6	2.4	4.5	8.8	11.9	15.4	21.2	26.0	32.4	39.6	51.7	66.5	80.1	95.7	99.0	100.0	3.1	4.6	8.7	17.0	23.0	29.8	41.0	50.3	62.7	76.6	100.0			
24	Wandkies, rund	2.6	4.2	7.3	13.0	20.0	29.0	40.0	46.0	55.0	65.0	76.0	83.0	87.0	89.0	100.0	100.0	3.4	5.5	9.6	17.1	26.3	38.2	52.6	60.5	72.4	85.5	100.0			
9	Wandkies, teilgebrochen	5.2	6.6	8.5	11.0	13.4	16.5	21.1	24.8	29.6	35.6	45.7	57.2	67.9	86.1	100.0	100.0	11.4	14.4	18.6	24.1	29.3	36.1	46.2	54.3	64.8	77.9	100.0			
2	Wandkies, teilgebrochen	5.5	7.4	13.6	20.0	24.0	29.0	37.0	43.0	52.0	58.0	66.0	75.0	89.0	98.0	100.0	100.0	8.3	11.2	20.6	30.3	36.4	43.9	56.1	65.2	78.8	87.9	100.0			
41	Wandkies, teilgebrochen	7.9	10.7	15.3	21.4	29.8	43.5	64.4	73.5	83.2	91.9	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	7.9	10.8	15.4	21.5	29.9	43.7	64.7	73.9	83.6	92.4	100.0			
12	Fels	2.4	4.3	8.9	15.0	20.0	27.0	35.0	40.0	47.0	53.0	60.0	70.0	81.0	95.0	100.0	100.0	4.0	7.2	14.8	25.0	33.3	45.0	58.3	66.7	78.3	88.3	100.0			
16	Fels	5.4	6.4	8.0	10.2	13.9	20.7	31.1	37.7	46.8	57.6	70.7	78.9	84.6	94.5	100.0	100.0	7.6	9.1	11.3	14.4	19.7	29.3	44.0	53.3	66.2	81.5	100.0			
33	Fels	3.3	6.6	11.4	18.0	25.0	33.0	43.0	49.0	56.0	64.0	75.0	83.0	90.0	94.0	98.0	100.0	4.4	8.8	15.2	24.0	33.3	44.0	57.3	65.3	74.7	85.3	100.0			
4	Flussskies, teilgebrochen	4.0	5.2	7.8	13.5	22.4	31.6	40.1	45.5	52.2	58.6	66.4	75.6	85.9	99.9	100.0	100.0	6.0	7.8	11.7	20.3	33.7	47.6	60.4	68.5	78.6	88.3	100.0			
29	RC-Kiesgemisch B	7.5	10.3	14.1	19.0	24.0	30.0	38.0	48.0	63.0	71.0	80.0	85.0	93.0	98.0	100.0	100.0	9.4	12.9	17.6	23.8	30.0	37.5	47.5	60.0	78.8	88.8	100.0			
5	RC-Kiesgemisch B	4.1	5.4	7.6	11.0	14.8	19.6	26.7	31.9	39.2	46.8	56.8	67.7	77.6	87.8	95.1	100.0	7.2	9.5	13.4	19.4	26.1	34.5	47.0	56.2	69.0	82.4	100.0			
11	RC-Betongranulatgemisch	4.9	6.5	9.8	15.0	19.0	25.0	34.0	41.0	52.0	60.0	73.0	84.0	92.0	96.0	100.0	100.0	6.7	8.9	13.4	20.5	26.0	34.2	46.6	56.2	71.2	82.2	100.0			
26	RC-Betongranulatgemisch	6.6	8.9	11.8	17.0	22.0	29.0	37.0	43.0	50.0	56.0	65.0	81.0	93.0	100.0	100.0	100.0	10.2	13.7	18.2	26.2	33.8	44.6	56.9	66.2	76.9	86.2	100.0			

II.2 Zusammenfassung Proctorversuche

Mat.Nr.	Materialart	Korndichte [1] Verdichtung		Wassergehalt w							Trockendichte p _d							Proctor-Optimum		Sättigung bei w _{opt}	Δp _{d,max} [Z]	η [3]
		[Mg/m ³]	[MJ/m ³]	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	PK6	PK7	PK1	PK2	PK3	PK4	PK5	PK6	PK7	w _{opt} [M-%]	p _{d,max} [Mg/m ³]			
[1]	[2]																			[%]	[Mg/m ³]	[1]
3	Wandkies, rund	2.69	0.6	4.0	4.9	5.9	6.5	7.1	--	--	2.158	2.164	2.182	2.216	2.183	--	--	6.5	2.216	81.7		
			1.2	3.8	4.7	5.8	6.5	7.2	--	--	2.174	2.196	2.211	2.251	2.225	--	--	6.6	2.252	91.3	0.036	0.98
24	Wandkies, rund	2.68	0.6	3.9	5.0	5.7	7.0	7.8	--	--	2.073	2.071	2.081	2.084	2.070	--	--	7.0	2.084	65.6		
			1.2	3.9	4.9	5.8	6.9	7.8	--	--	2.083	2.102	2.101	2.108	2.042	--	--	6.7	2.112	66.8	0.028	0.99
40	Wandkies, rund	2.68	0.6	3.8	4.7	5.9	6.8	7.4	--	--	2.060	2.079	2.080	2.091	2.129	--	--	7.4	2.129	76.6		
			1.2	3.9	4.7	5.7	6.9	7.2	--	--	2.103	2.098	2.131	2.163	2.159	--	--	6.8	2.163	76.2	0.034	0.98
2	Wandkies, teilgebrochen	2.68	0.6	4.0	5.0	5.9	6.9	7.8	8.6	--	2.118	2.143	2.185	2.197	2.180	2.157	--	6.9	2.193	83.3		
			1.2	4.1	5.0	6.1	6.7	7.1	7.8	--	2.135	2.155	2.183	2.188	2.187	2.167	--	6.7	2.188	79.9	-0.005	1.00
9	Wandkies, teilgebrochen	2.75	0.6	5.0	5.9	6.8	7.7	9.2	--	--	2.080	2.171	2.209	2.215	2.167	--	--	7.5	2.218	86.0		
			1.2	3.8	5.1	6.0	6.5	7.5	--	--	2.090	2.181	2.221	2.233	2.201	--	--	6.6	2.234	78.6	0.016	0.99
41	Wandkies, teilgebrochen	2.68	0.6	5.7	6.6	7.4	8.0	--	--	--	2.069	2.104	2.135	2.142	--	--	--	7.4	2.135	77.7		
			1.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4	Flusskies, teilgebrochen	2.70	0.6	5.7	6.6	7.4	8.0	8.7	--	--	2.105	2.114	2.128	2.139	2.104	--	--	8.1	2.140	83.6		
			1.2	5.6	6.7	7.3	8.1	8.3	--	--	2.147	2.143	2.175	2.182	2.166	--	--	7.8	2.188	90.0	0.048	0.98
12	Fels	2.68	0.6	4.0	5.0	5.9	6.8	7.7	8.6	--	2.047	2.053	2.078	2.098	2.121	2.111	--	7.9	2.122	80.5		
			1.2	5.0	6.1	6.9	7.9	8.6	--	--	2.053	2.061	2.063	2.113	2.105	--	--	8.0	2.115	80.3	-0.007	1.00
16	Fels	2.70	0.6	4.6	5.5	6.7	7.7	8.2	--	--	2.010	2.094	2.162	2.133	2.103	--	--	6.7	2.162	72.7		
			1.2	2.9	3.8	4.8	6.0	6.8	--	--	2.138	2.220	2.240	2.256	2.223	--	--	5.8	2.257	79.8	0.095	0.96
33	Fels	2.68	0.6	3.9	4.7	5.7	5.9	6.9	7.4	--	2.115	2.122	2.130	2.137	2.160	2.148	--	6.9	2.160	76.8		
			1.2	4.9	5.8	6.4	6.5	7.1	7.7	--	2.130	2.137	2.158	2.162	2.208	2.180	--	7.1	2.208	89.0	0.048	0.98
5	RC-Kiesgemisch B	2.72	0.6	7.9	8.8	9.6	10.6	11.4	--	--	1.981	2.009	2.025	2.046	2.038	--	--	10.6	2.046	87.5		
			1.2	6.9	7.8	9.0	9.7	10.8	--	--	2.036	2.064	2.061	2.052	2.034	--	--	8.3	2.067	71.5	0.021	0.99
29	RC-Kiesgemisch B	2.70	0.6	7.1	9.0	9.9	10.9	11.9	13.7	--	1.838	1.910	1.903	1.943	1.955	1.902	--	11.8	1.956	83.8		
			1.2	9.3	10.7	11.0	12.0	14.2	--	--	1.904	1.948	1.968	1.955	1.900	--	--	11.1	1.968	80.6	0.012	0.99
11	RC-Betongranulatgemisch	2.68	0.6	8.8	9.5	10.6	11.7	12.5	13.3	--	1.746	1.755	1.797	1.823	1.824	1.802	--	12.2	1.827	70.0		
			1.2	9.9	10.2	11.4	12.1	13.4	--	--	1.811	1.841	1.880	1.874	1.858	--	--	11.6	1.881	73.2	0.054	0.97
26	RC-Betongranulatgemisch	2.70	0.6	7.8	8.9	10.0	11.1	12.2	12.8	13.9	1.798	1.824	1.834	1.861	1.886	1.923	1.869	12.7	1.901	81.6		
			1.2	10.2	11.0	12.1	12.6	13.4	14.4	--	1.816	1.870	1.891	1.907	1.899	1.861	--	12.6	1.907	81.8	0.006	1.00

[1] Annahme bzw. Angaben aus herkunfts-spezifischen WPK-Angaben; **[2]** Differenz der maximalen Trockendichte zwischen 0.6 und 1.2 MJ/m³ Verdichtungsenergie; **[3]** η = Verhältnis der maximalen Trockendichte bei 0.6 und 1.2 MJ/m³ Verdichtungsenergie; **PK** = Prüfkörper

II.3 Zusammenfassung Durchlässigkeitsversuche

Tab. II.3: Mittlere Durchlässigkeitsbeiwerte (k-Werte) und Versuchsparameter bei 0.6 und 1.2 MJ/m ³ Verdichtungsenergie																
Mat.-Nr.	Typ	n	Kornichte	Verdichtung	ZIEL-Werte				IST-Werte (vor Versuchsstart)				Zustand am Versuchsende		Durchlässigkeit (k ₁₀ -Wert) [5]	
					[2]	(Referenz)	W _{opt} [3]	p _{d,max} [3]	W _{Entsa} [4]	Sättigung	Wasser	eff. Trockendichte	Porosität	W _{End}		Sättigung
				[Mg/m ³]	[MJ/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[Mg/m ³]	[m/s]
3	Wandkies, rund	1	2.69	0.6	0.6	6.5	2.216	4.2	54	64.6%	2.224	100.4%	17.3	6.6	85	1.30E-05
		2	1.2	6.6	2.252	4.7	65	71.2%	2.250	99.9%	16.4	6.6	90	5.55E-07		
24	Wandkies, rund	1	2.68	0.6	0.6	7.0	2.084	4.8	45	68.6%	2.083	100.0%	22.3	7.8	73	2.80E-04
		1	1.2	6.7	2.112	4.7	48	70.7%	2.116	100.2%	21.0	7.7	78	1.11E-05		
40	Sportplatzkies	1	2.68	0.6	0.6	7.4	2.129	4.4	49	59.5%	2.157	101.3%	19.5	7.4	82	9.84E-06
		1	1.2	6.8	2.163	4.5	51	66.2%	2.164	100.0%	19.3	7.0	79	3.62E-06		
2	Wandkies, teilgebrochen	1	2.68	0.6	0.6	6.9	2.193	4.7	58	68.1%	2.203	100.5%	17.8	6.8	84	2.88E-06
		1	1.2	6.7	2.188	4.9	58	73.0%	2.184	99.8%	18.5	7.1	83	9.76E-07		
9	Wandkies, teilgebrochen	1	2.75	0.6	0.6	7.5	2.215	5.1	60	68.0%	2.230	100.7%	18.9	7.8	92	5.99E-06
		1	1.2	6.6	2.234	4.5	54	68.2%	2.238	100.2%	18.6	6.5	78	1.86E-06		
41	Wandkies, teilgebrochen	7	2.68	0.6	0.6	7.4	2.135	5.0	53	68.1%	2.136	100.0%	20.3	7.6	80	1.43E-05
		1	1.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	Flusskies, teilgebrochen	1	2.70	0.6	0.6	8.1	2.140	5.7	59	70.4%	2.141	100.0%	20.7	9.0	93	1.76E-05
		2	1.2	7.8	2.188	5.4	62	68.6%	2.188	100.0%	19.0	7.9	91	3.88E-05		
12	Felsmaterial	1	2.68	0.6	0.6	7.9	2.122	5.4	55	68.4%	2.124	100.1%	20.7	8.8	90	7.66E-06
		1	1.2	8.0	2.115	5.5	55	68.8%	2.117	100.1%	21.0	8.7	88	2.03E-06		
16	Felsmaterial	1	2.70	0.6	0.6	6.7	2.162	5.2	55	77.6%	2.153	99.6%	20.3	8.3	88	3.00E-05
		1	1.2	5.8	2.257	3.9	55	67.2%	2.263	100.3%	16.2	5.5	77	2.41E-06		
33	Felsmaterial	2	2.68	0.6	0.6	6.9	2.160	5.7	64	82.6%	2.165	100.2%	19.2	7.3	82	1.17E-04
		1	1.2	7.1	2.208	5.0	62	69.6%	2.205	99.9%	17.7	6.0	75	4.60E-06		
5	RC-Kiesgemisch B	3	2.72	0.6	0.6	10.6	2.046	7.2	60	68.2%	2.051	100.3%	24.6	10.0	84	1.92E-06
		2	1.2	8.3	2.067	5.9	50	70.5%	2.064	99.8%	24.1	10.9	93	7.47E-06		
29	RC-Kiesgemisch B	1	2.70	0.6	0.6	11.8	1.956	7.9	57	68.9%	1.961	100.3%	27.4	13.1	94	6.11E-05
		1	1.2	11.0	1.968	7.9	57	71.5%	1.967	99.9%	27.1	13.6	99	6.57E-06		
11	RC-Betongranulatgemisch	5	2.68	0.6	0.6	12.2	1.827	8.5	49	69.5%	1.832	100.3%	31.7	16.9	98	5.39E-05
		2	1.2	11.6	1.881	8.2	51	70.5%	1.878	99.8%	29.9	15.4	97	3.07E-05		
26	RC-Betongranulatgemisch	1	2.70	0.6	0.6	12.7	1.901	8.8	57	69.3%	1.908	100.4%	29.3	14.4	94	7.26E-06
		1	1.2	12.6	1.907	9.1	58	72.2%	1.901	99.7%	29.6	13.8	89	7.13E-06		

[1] n = Anzahl gültige (berücksichtigte) Prüfungen; [2] Annahme bzw. Angaben aus herkunfts-spezifischen WPK-Angaben; [3] Gemäss Proctorversuch (siehe Tabelle 3); [4] 70% vom optimalen Wassergehalt gemäss Proctorversuch; [5] k-Wert bei einer Wassertemperatur von 10°C

II.4 Zusammenfassung CBR-Versuche

Tab. II.4: Ergebnisse der CBR₁ und CBR_F-Versuche

Tab. II.4: Ergebnisse der CBR ₁ und CBR _F -Versuche															
Mat-Nr.	Materialart	Grundlage				CBR ₁ [2]			CBR _F [3]			CBR _F /CBR ₁	r/f		
		Verdichtung		w _{opt} [1] [M.-%]	ρ _{d,max} [1] [Mg/m ³]	Trockendichte ρ _d		CBR	W _{ende} [1] [M.-%]	CBR	f [mm]			r [mm]	
		[MJ/m ³]	[MJ/m ³]			[Mg/m ³]	[%]								[%ρ _{d,max}]
2	Wandkies, teilgebrochen	1.2	6.7	2.188	2.186	99.9%	180	2.189	100.0%	7.5	145	1.69	-0.10	0.81	-0.06
3	Wandkies rund	1.2	6.6	2.252	2.250	99.9%	130	2.239	99.4%	6.7	135	1.07	-0.14	1.04	-0.13
5	RC-Kiesgemisch B	1.2	8.3	2.067	2.077	100.5%	210	2.069	100.1%	9.6	165	1.07	-0.11	0.79	-0.10
9	Wandkies, teilgebrochen	1.2	6.6	2.234	2.244	100.4%	140	2.239	100.2%	6.9	125	4.54	0.06	0.89	0.01
11	RC-Betongranulatgemisch	1.2	11.6	1.881	1.877	99.8%	140	1.861	98.9%	11.4	175	0.25	-0.28	1.25	-1.12
33	Fels (Alpenkalk)	1.2	7.1	2.208	2.193	99.3%	155	2.210	100.1%	6.5	170	0.08	-0.23	1.10	-2.88

[1] Gemäss Proctorversuch bei 1.2 MJ/m³ Verdichtungsenergie (siehe Tabelle 3); **[2]** CBR-Wert unmittelbar nach Verdichtung nach SN EN 12386-47; **[3]** CBR-Wert nach Frosthebungsversuch gemäss VSS 70 321; **[4]** Wassergehalt am Ende des Frosthebungsversuchs, jedoch vor dem Stempel Eindringversuch; **[5]** f = maximale Hebung des Probekörpers während des Frosthebungsversuchs; **[6]** r = Resthebung am Schluss des Frosthebungsversuchs

III Datenblätter und Laborprüfberichte

III.1 Datenblätter der Materialien

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Wandkies teilgebrochen

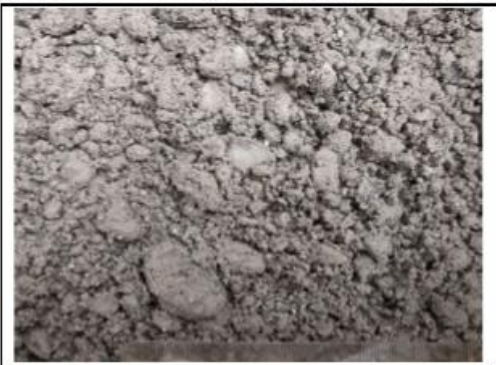
Material Nr

2

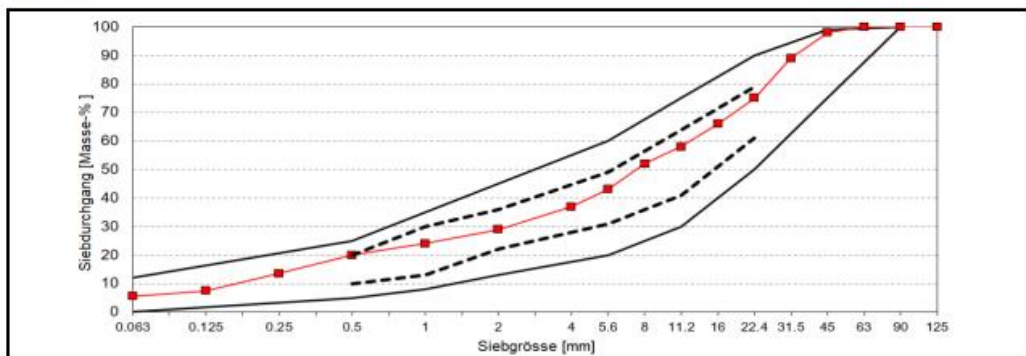
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie



Petrographie

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus Kristallinen Gesteinen, Gangquarzen und Quarziten sowie Kieselkalken; untergeordnet sind reine Kalksteine und Sandsteine enthalten. Zudem sind geringe Anteile (< 5 %) von verwitterten und locker verkitteten Körnern ("Nagelfluh") enthalten

Kornform: gut gerundete bis angerundete sowie teilweise gebrochene Körner

Kornklasse 8/16 mm



Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Wandkies rund

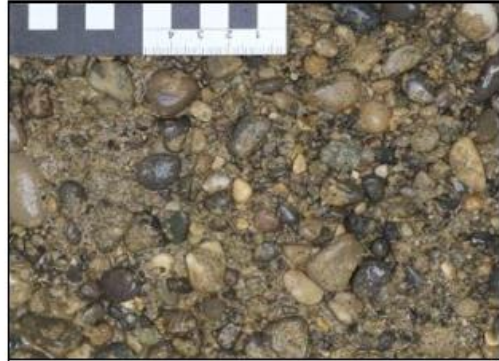
Material Nr

3

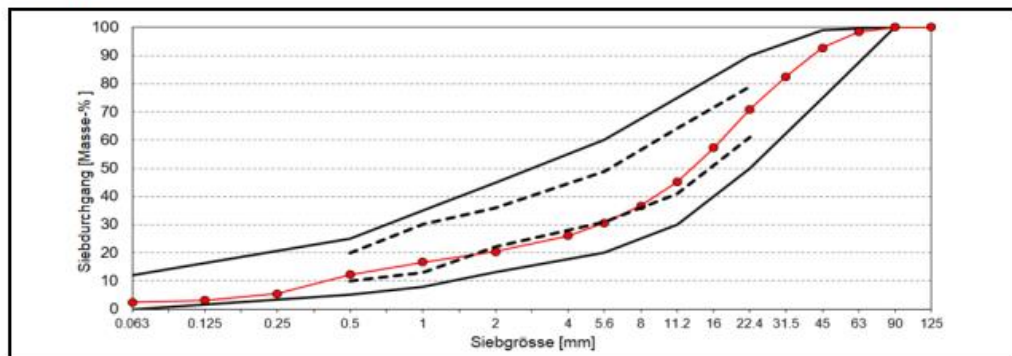
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus grauen Kalksteinen und Kieselkalken und bräunlichen Sandsteinen; untergeordnet sind Kristallingesteine sowie Gangquarze und Quarzite enthalten

Kornform: gut gerundet**Kornklasse 8/16 mm**

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Flusskies teilgebrochen

Material Nr

4

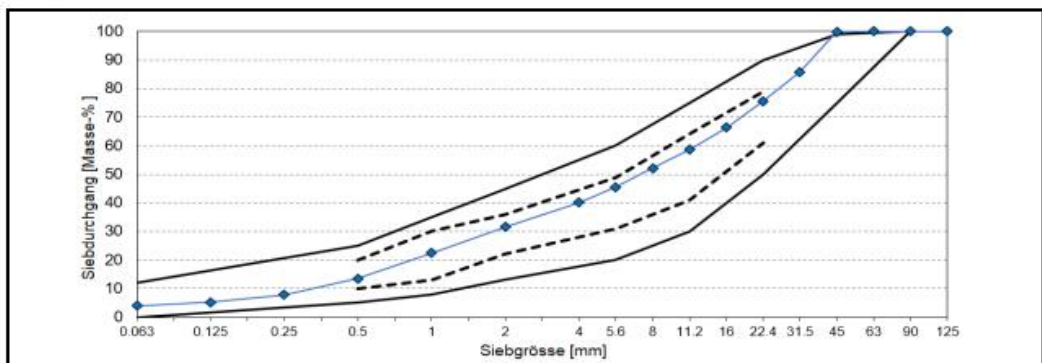
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus Kristallingesteinen (Granite, Gneise, Glimmerschiefer, Quarzite); untergeordnet sind wenige Kalksteine (inkl. Marmore) und alpine Sandsteine vorhanden

Kornform: angerundet bis kantig

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

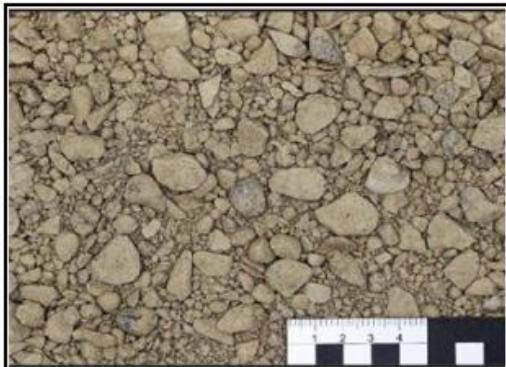
Bezeichnung

RC-Kiesgemisch B

Material Nr

5

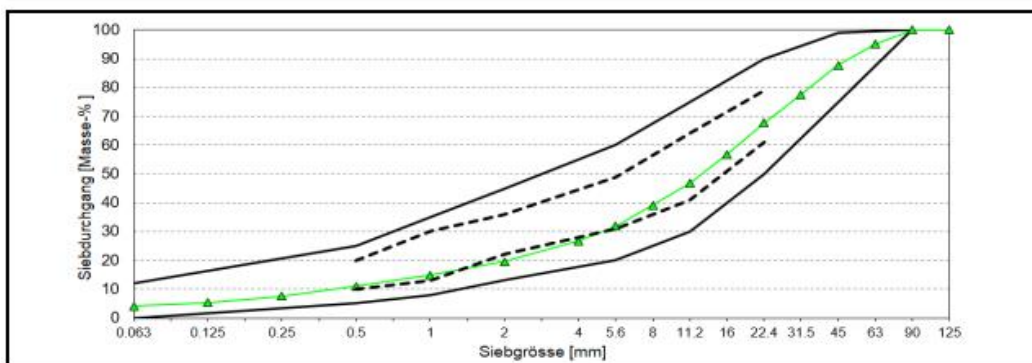
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie



Stoffliche Zusammensetzung 4/16

Rezykliertes Gesteinskörnungsgemisch

Bestandteil	Anteil (Masse-%)
Ra	2
Rb	—
Rc	52
Ru	46
X	—
FL [cm ³ /kg]	0.5

Kornform: (gerundet) angerundet bis kanten-gerundet sowie teilweise gebrochene Körner

Kornklasse 8/16 mm



Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Wandkies teilgebrochen

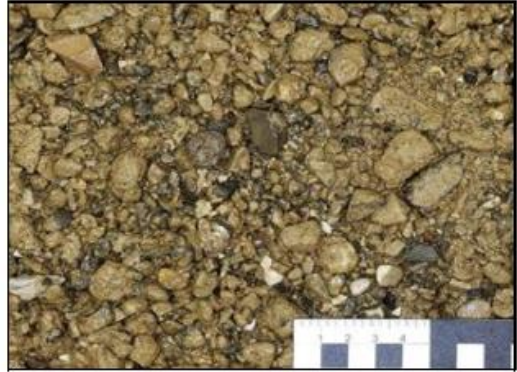
Material Nr

9

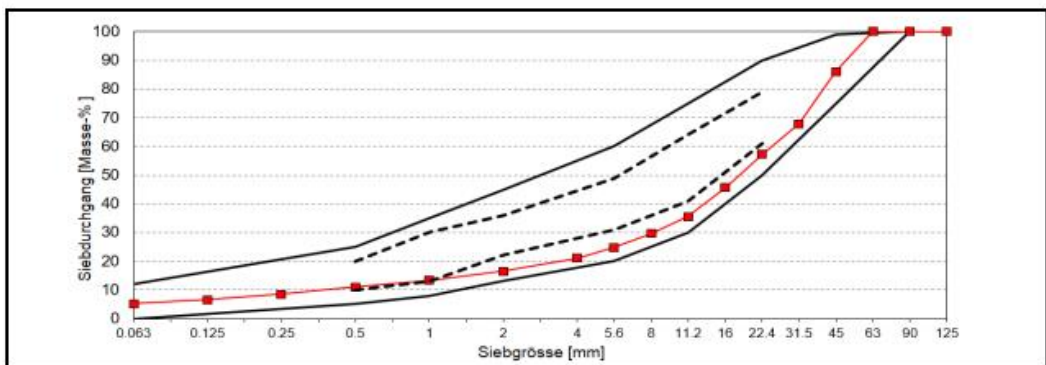
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus harten alpinen Sandsteinen und sandigen Kalksteinen; untergeordnet sind reine Kalksteine und kristalline Gesteine (Granite, Gneise, Quarzite) enthalten

Kornform: angerundet bis kantig sowie teilweise gebrochene Körner

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Material Nr

RC-Betongranulatgemisch**11**

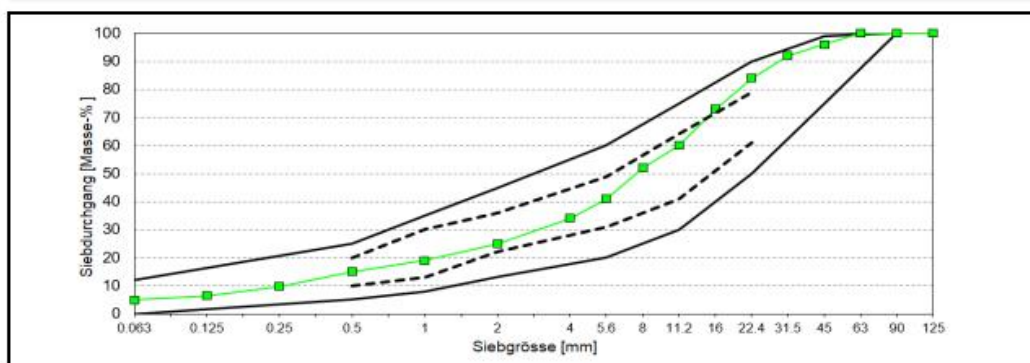
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Stoffliche Zusammensetzung 4/16****Rezykliertes Gesteinskörnungsgemisch**

Bestandteil	Anteil (Masse-%)
Ra	0.2
Rb	--
Rc	82
Ru	17
X	--
FL [cm ³ /kg]	--

Kornform: (gerundet) angerundet bis kantig
sowie teilweise gebrochene Körner

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Felsmaterial kristallin

Material Nr

12

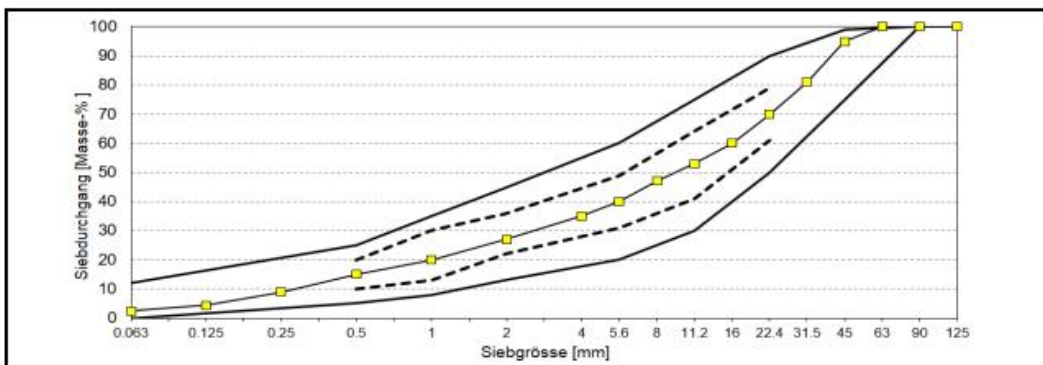
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus kristallinen Gesteinen (Granite, Gneise, Schiefer, einzelne Metabasite, Quarzite)

Kornform: gebrochene Körner sowie teilweise gut gerundete und angerundete

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Felsmaterial Jura

Material Nr

16

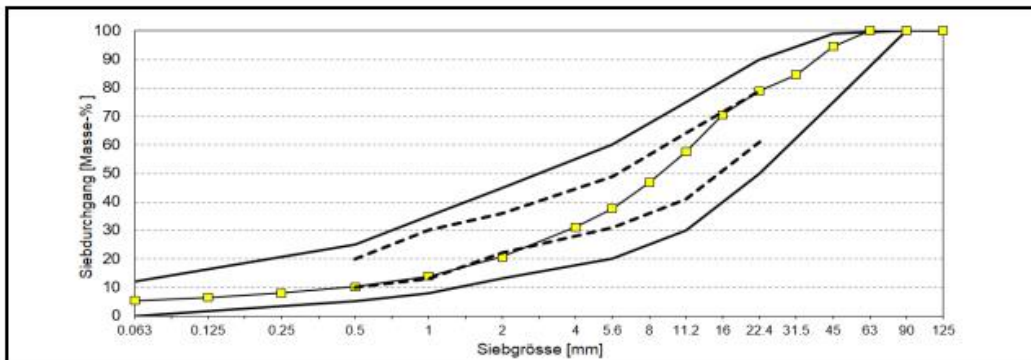
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus hell- und dunkelbeigen und hellgrauen Kalksteinen

Kornform: kantig bis scharfkantig

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Wandkies rund

Material Nr

24

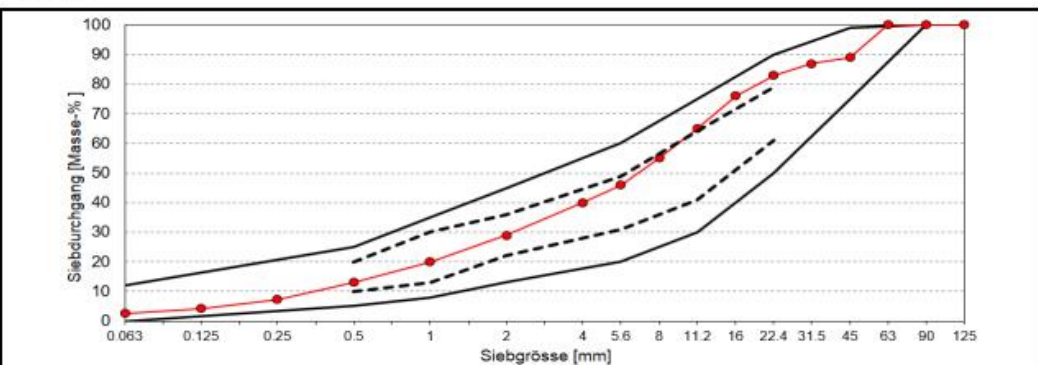
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus kristallinen Gesteinen (Gneise, Granite, Quarzite und Gangquarze sowie Metabasite) und sandig bis kieseligen Kalksteinen (inkl. Dolomite); untergeordnet sind zudem Sandsteine und Radiolarite vorhanden. Vereinzelt kommen verkittete Sandaggregate vor (<5%)

Kornform: gut gerundet bis angerundet; vereinzelt gebrochene Körner

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

RC-Betongranulatgemisch

Material Nr

26

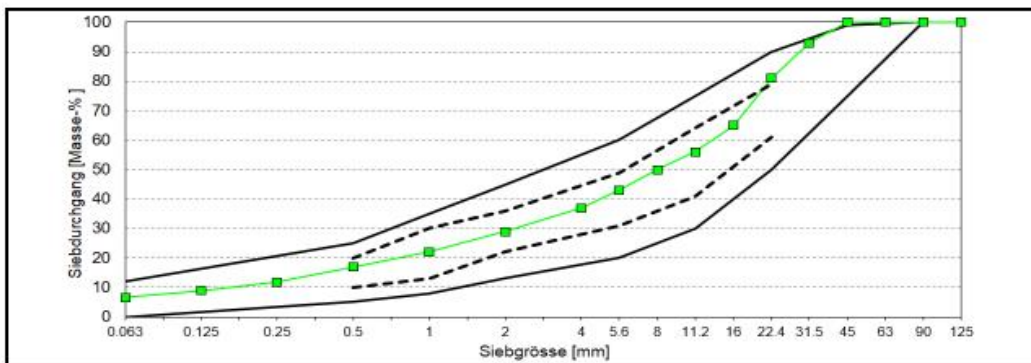
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie



Stoffliche Zusammensetzung 4/16

Rezykliertes Gesteinskörnungsgemisch

Bestandteil	Anteil (Masse-%)
Ra	0.6
Rb	--
Rc	66
Ru	34
X	--
FL [cm ³ /kg]	--

Kornform: (gerundet) angerundet bis kantig
sowie teilweise gebrochene Körner

Kornklasse 8/16 mm



Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

RC-Kiesgemisch B

Material Nr

29

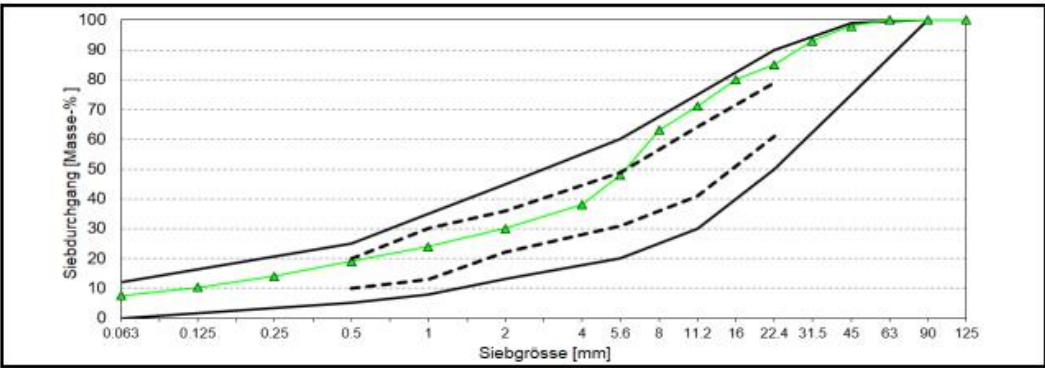
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie



Stoffliche Zusammensetzung 4/16

Rezykliertes Gesteinskörnungsgemisch

Bestandteil	Anteil (Masse-%)
Ra	0.1
Rb	--
Rc	57
Ru	43
X	--
FL [cm³/kg]	--

Kornform: gerundet bis kantengerundet sowie teilweise gebrochene Körner

Kornklasse 8/16 mm



Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Felsmaterial Alpenkalk

Material Nr

33

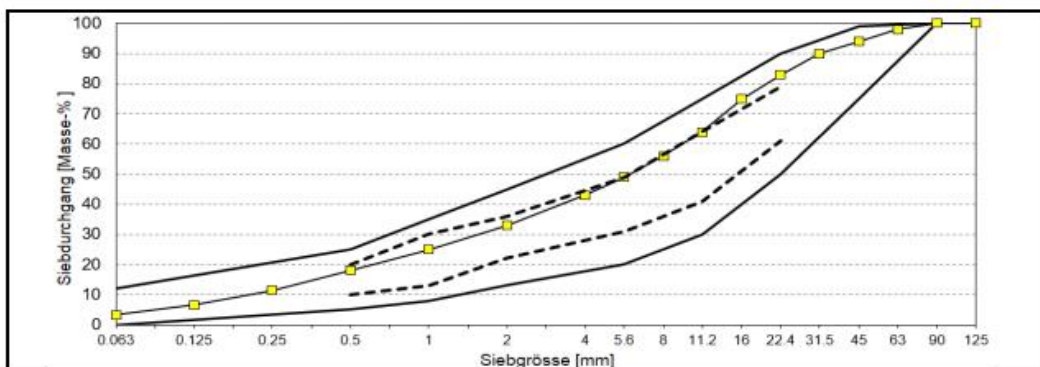
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus leicht sandig/kieseligen Kalksteinen, Kieselkalken, rote Sandsteine und Grauwacken ("Verrucano"); vereinzelte Sandaggregate und Tonschiefer

Kornform: kantig bis scharfkantig

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Wandkies rund

Material Nr

40

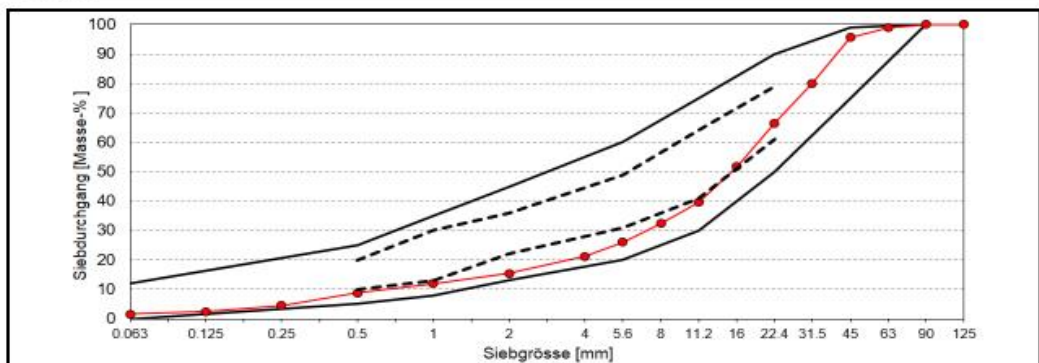
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus kieseligen bis sandigen Kalksteinen, alpinen Sandsteinen und Quarziten; untergeordnet sind helle Kalke und Kristallingesteine (Granite) vorhanden; zudem sind vereinzelte verwitterte, poröse Körner erkennbar

Kornform: gut gerundet bis angerundet

Kornklasse 8/16 mm

Forschungsprojekt VSS 2020/335

Datenblatt Probenmaterial

Bezeichnung

Planiekies 0/16 (Testgemisch)

Material Nr

41

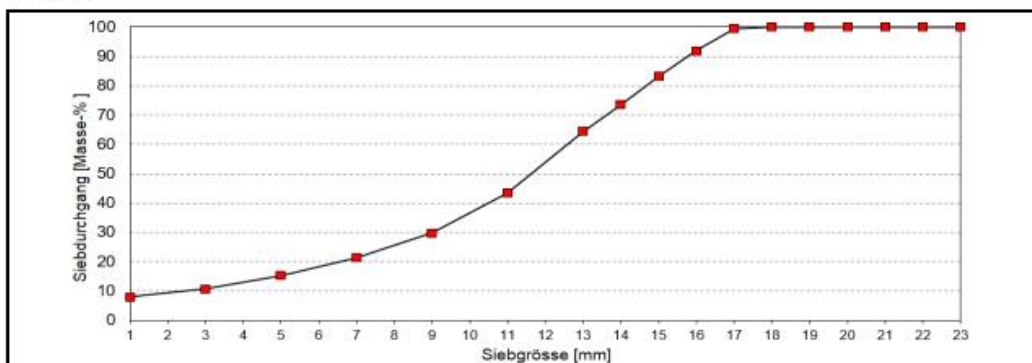
Kornfraktion 0/16 mm (trocken)



Kornfraktion 0/16 mm (nass)



Sieblinie

**Petrographie**

Natürliche Gesteinskörnung bestehend aus Kieselkalken, sandigen Kalksteinen, harten alpinen Sandsteinen; untergeordnet sind reine Kalksteine und kristalline Gesteine (Granite, Quarzite) vorhanden

Kornform: kantig bis angerundet

Kornklasse 8/16 mm

III.2 Laborprüfberichte BSL

III.2.1 Korngrößenverteilung



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 228 84 44 / Fax 058 228 84 40
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

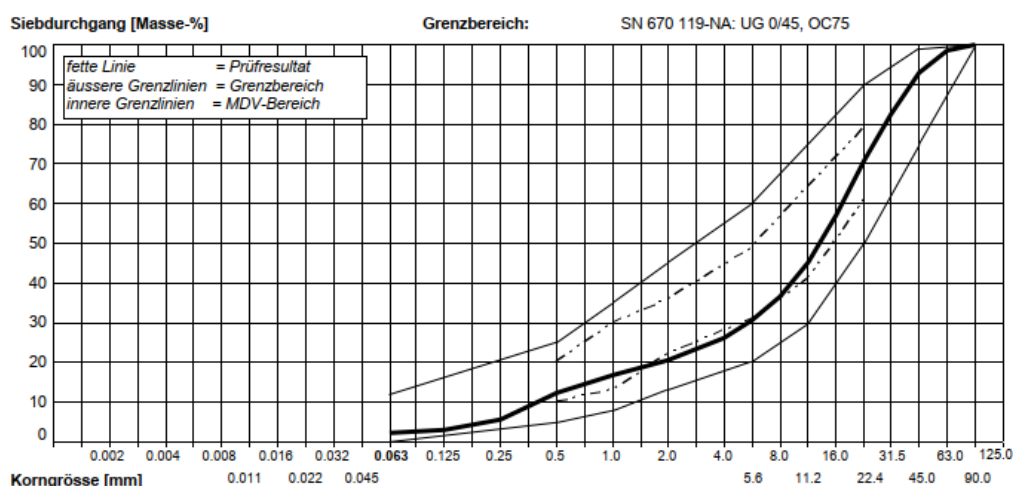
Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0577
	Postgässli 23 a	Auftragsnummer	21.00001
	3661 Uetendorf	Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	22.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	22.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Objekt	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 3		

Schlämanalyse SN 870 816 (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]	85 mm
Siebgrösse [mm]	.063 .125 .25 .5 1 2 4 5.6 8 11.2 16 22.4 31.5 45 63 90 125		
Durchgang [M.-%]	2.4 3.1 5.5 12.3 16.7 20.4 26.0 30.6 36.7 45.1 57.2 70.9 82.5 92.8 98.4 100.0		
Grenzbereich	(SN 670 119-NA: UG 0/45, OC75)		
Oben [M.-%]	12 25 35 45 60 75 90 99 100		
Unten [M.-%]	0 5 8 13 20 30 50 75 100		

MDV-Bereich	(SN 670 119-NA: Ungebundenes Gemisch Gc)		
Oben [M.-%]	20 30 36 49 64 79		
Unten [M.-%]	10 13 22 31 41 61		



Berichtsdatum 05.08.2021
Laborant rae

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

V. 15.12.2021

Seite 1 von 1

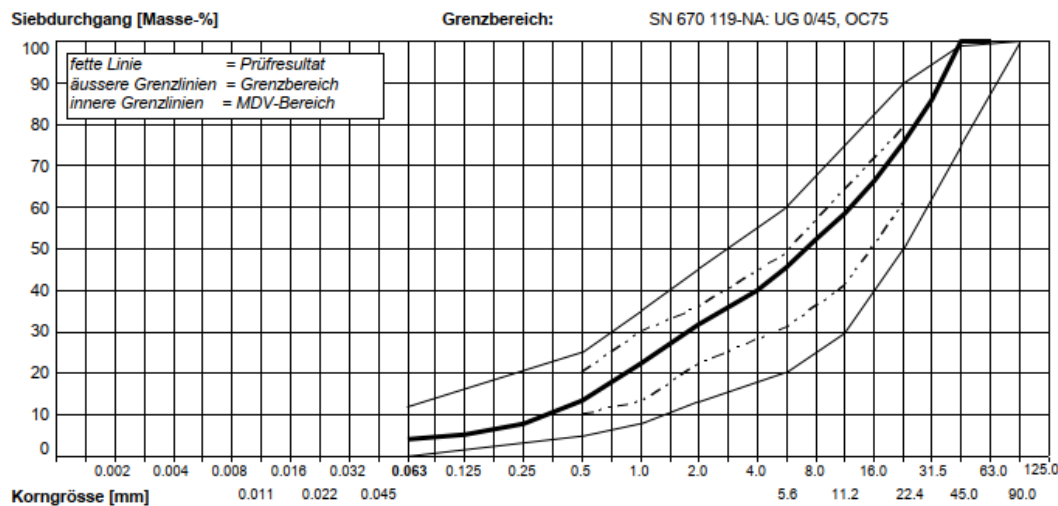


BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 228 84 44 / Fax 058 228 84 40
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0579														
	Postgässli 23 a	Auftragsnummer	21.00001														
	3661 Uetendorf	Berichtsausgabe	Nr. 1														
Probenbezeichnung	Flusskies teilgebrochen	Probeneingang	13.07.2021														
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.07.2021														
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef														
Objekt	VSS 2020/335	Unternehmung															
Bemerkungen	Material Nr. 4																
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.-%]																	
Siebanalyse	SN EN 933-1										Grösstkorn [mm] 53 mm						
Siebgrösse [mm]	.063	.125	.25	.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	45	63	90	125
Durchgang [M.-%]	4.0	5.2	7.8	13.5	22.4	31.6	40.1	45.5	52.2	58.6	66.4	75.6	85.9	99.9	100.0		
Grenzbereich	(SN 670 119-NA: UG 0/45, OC75)																
Oben [M.-%]	12			25	35	45		60		75		90		99		100	
Unten [M.-%]	0			5	8	13		20		30		50		75		100	
MDV-Bereich	(SN 670 119-NA: Ungebundenes Gemisch Gc)																
Oben [M.-%]				20	30	36		49		64		79					
Unten [M.-%]				10	13	22		31		41		61					



Berichtsdatum 29.07.2021
Laborant PL

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

V. 15.12.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

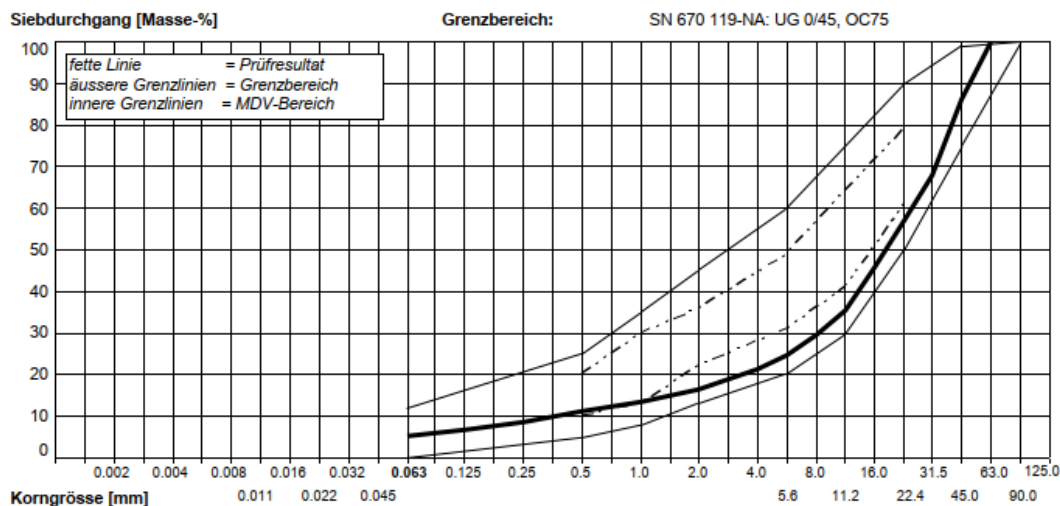


Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0576
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Probeneingang	11.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	11.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Objekt	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 9		

Schlümmanalyse	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)					
Durchgang [M.-%]										Ton + Silt (≤ 0.02 mm)					

Siebanalyse	SN EN 933-1														
	Grösstkorn [mm] 61 mm														
Siebgrösse [mm]	.063	.125	.25	.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	45	63
Durchgang [M.-%]	5.2	6.6	8.5	11.0	13.4	16.5	21.1	24.8	29.6	35.6	45.7	57.2	67.9	86.1	100.0
Grenzbereich	(SN 670 119-NA: UG 0/45, OC75)														
Oben [M.-%]	12			25	35	45		60		75		90		99	100
Unten [M.-%]	0			5	8	13		20		30		50		75	100
MDV-Bereich	(SN 670 119-NA: Ungebundenes Gemisch Gc)														
Oben [M.-%]				20	30	36		49		64		79			
Unten [M.-%]				10	13	22		31		41		61			



Berichtsdatum 20.08.2021
Laborant rae

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

V. 15.12.2021

Seite 1 von 1

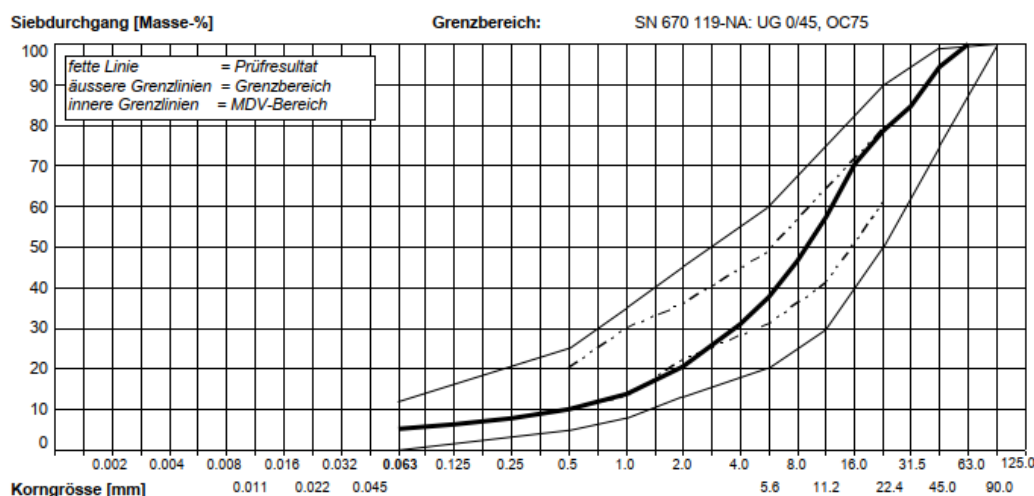


BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0575
	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Felsmaterial Jura	Probeneingang	20.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	18.07.2021
Entnahmeort	ab Band	Entnahme durch	
Objekt	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 16		
Schlämlanalyse	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] 54 mm
Siebgrösse [mm]	.063 .125 .25 .5 1 2 4 5.6 8 11.2 16 22.4 31.5 45 63 90 125		
Durchgang [M.-%]	5.4 6.4 8.0 10.2 13.9 20.7 31.1 37.7 46.8 57.6 70.7 78.9 84.6 94.5 100.0		
Grenzbereich	(SN 670 119-NA: UG 0/45, OC75)		
Oben [M.-%]	12		
Unten [M.-%]	0		
MDV-Bereich	(SN 670 119-NA: Ungebundenes Gemisch Gc)		
Oben [M.-%]			
Unten [M.-%]			



Berichtsdatum 20.08.2021
Laborant rae

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

V. 15.12.2021

Seite 1 von 1

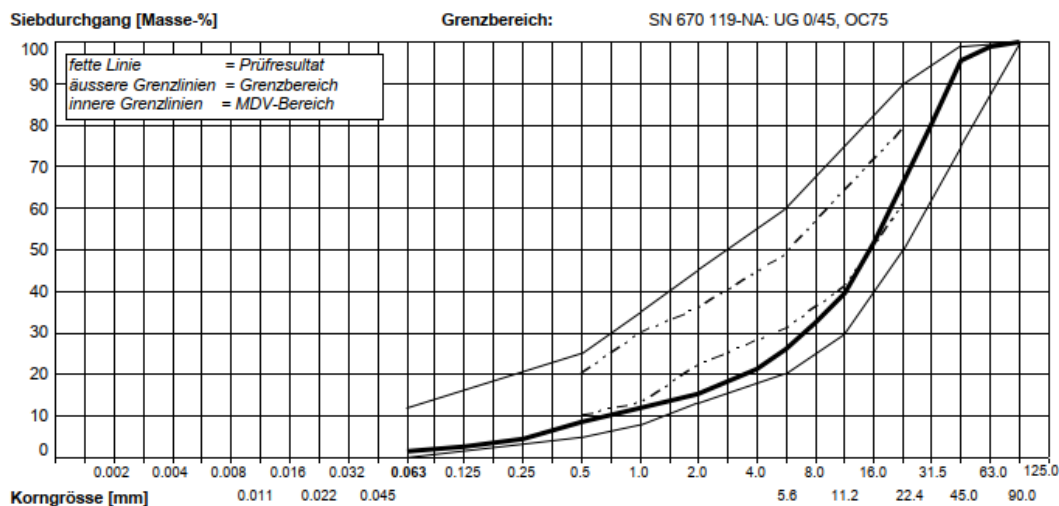


BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0581														
	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001														
		Berichtsausgabe	Nr. 1														
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	21.07.2021														
Probenherkunft		Entnahmedatum	21.07.2021														
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef														
Objekt	VSS 2020/335	Unternehmung															
Bemerkungen	Material Nr. 40																
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.-%]																	
Siebanalyse	SN EN 933-1										Grösstkorn [mm] 80 mm						
Siebgrösse [mm]	.063	.125	.25	.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	45	63	90	125
Durchgang [M.-%]	1.6	2.4	4.5	8.8	11.9	15.4	21.2	26.0	32.4	39.6	51.7	66.5	80.1	95.7	99.0	100.0	
Grenzbereich	(SN 670 119-NA: UG 0/45, OC75)																
Oben [M.-%]	12			25	35	45		60		75		90		99		100	
Unten [M.-%]	0			5	8	13		20		30		50		75		100	
MDV-Bereich	(SN 670 119-NA: Ungebundenes Gemisch Gc)																
Oben [M.-%]				20	30	36		49		64		79					
Unten [M.-%]				10	13	22		31		41		61					



Berichtsdatum 10.08.2021
Laborant ef

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfergebn. 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. 15.12.2021

Seite 1 von 1

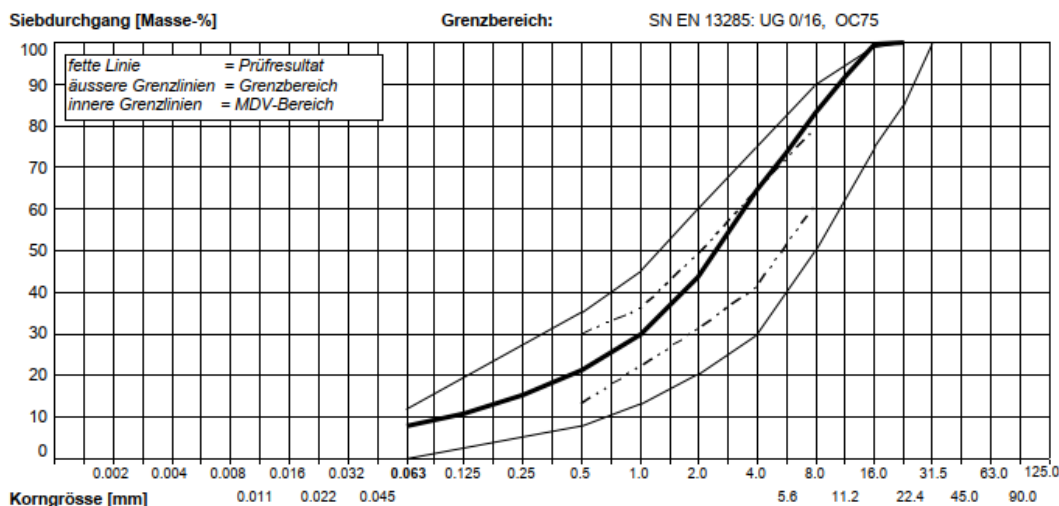


BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Untersuchung von Ungebundenen Gemischen und Böden

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.1047														
		Auftragsnummer	21.00001														
		Berichtsausgabe	Nr. 1														
Probenbezeichnung	Planiekies 0/16	Probeneingang	12.11.2021														
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.11.2021														
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef														
Objekt	VSS 2020/335	Unternehmung															
Bemerkungen	Material Nr. 41 (Testgemisch)																
Schlümmanalyse	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]																
Siebgrösse [mm]	.063	.125	.25	.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	45	63	90	125
Durchgang [M.-%]	7.9	10.7	15.3	21.4	29.8	43.5	64.4	73.5	83.2	91.9	99.5	100.0					
Grenzbereich	(SN EN 13285: UG 0/16, OC75)																
Oben [M.-%]	12			35	45	60	75		90		99	100	100				
Unten [M.-%]	0			8	13	20	30		50		75	85	100				
MDV-Bereich	(SN EN 13285: Ungebundenes Gemisch Gc)																
Oben [M.-%]				30	36	49	64		79								
Unten [M.-%]				13	22	31	41		61								



Berichtsdatum 23.11.2021
Laborant ef

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. 15.12.2021

Seite 1 von 1

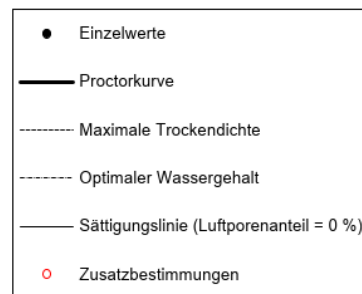
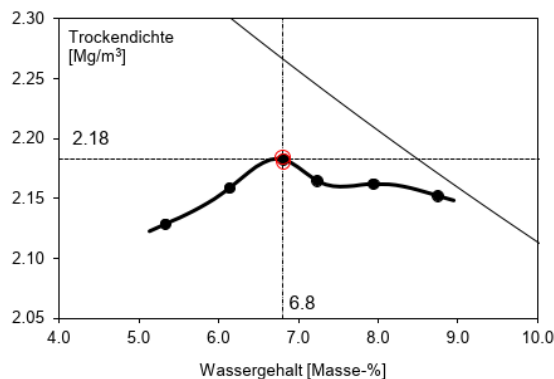
III.2.2 Proctor 0.6 MJ/m³

Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0635
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Probeneingang	02.08.2021
Probenherkunft	ab Depot	Entnahmedatum	14.07.2021
Entnahmeort		Entnahme durch	TFB
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 2		
Wassergehalt			
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	0.6 MJ/m ³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	5.3	2.129
2	6.1	2.159
3	6.8	2.183
4	7.2	2.165
5	7.9	2.162
6	8.7	2.152

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	6.8	Masse-%
Max. Trockendichte p_d	2.18	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	34.0	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	1.0	Masse-%
Kornrohndichte**	2.68	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 4.8	Masse-%
Max. Trockendichte p_d'	≈ 2.26	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohndichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 18.08.2021
Laborant ef

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

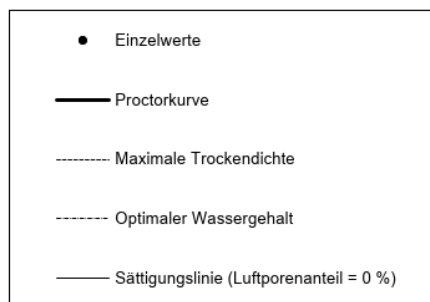
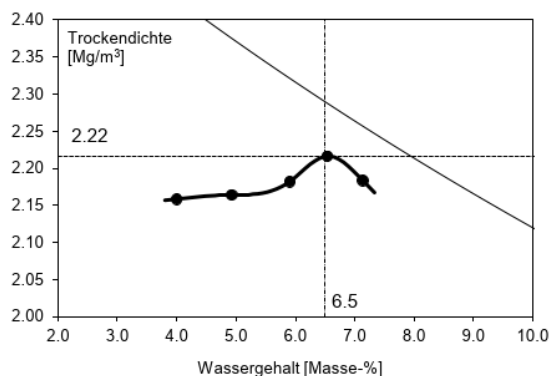


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0577
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Auftragsnummer	21.00001
Probenherkunft		Berichtsausgabe	Nr. 1
Entnahmeort	ab Depot	Probeneingang	22.07.2021
		Entnahmedatum	22.07.2021
		Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 3		
Wassergehalt	2.6 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	0.6 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	4.0	2.158
2	4.9	2.164
3	5.9	2.182
4	6.5	2.216
5	7.1	2.183
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	6.5	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.22	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe $0/D_{max}$

Überkomanteil*	42.8	Masse-%
Wassergehalt Überkom	.5	Masse-%
Kornrohdichte**	2.69	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 3.9	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.30	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 30.08.2021
Laborant PL

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

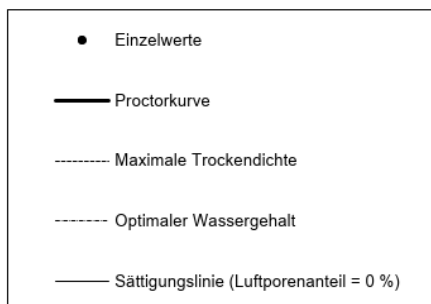
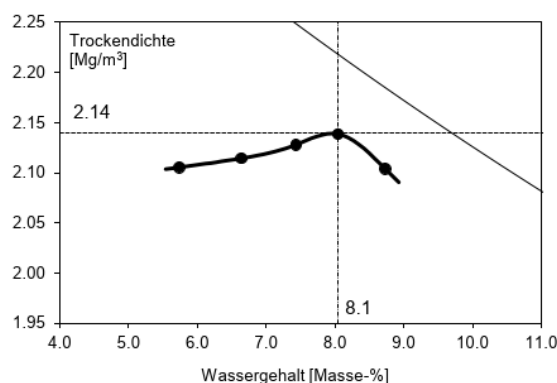


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0579
Probenbezeichnung	Flusskies teilgebrochen	Auftragsnummer	21.00001
Probenherkunft		Berichtsausgabe	Nr. 1
Entnahmeort	ab Depot	Probeneingang	13.07.2021
		Entnahmedatum	12.07.2021
Baustelle	VSS 2020/335	Entnahme durch	BSL/ef
Bemerkungen	Material Nr. 4	Unternehmung	
Wassergehalt	1.6 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	0.6 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	5.7	2.105
2	6.6	2.114
3	7.4	2.128
4	8.0	2.139
5	8.7	2.104
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	8.1	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.14	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	33.6	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	.5	Masse-%
Kornrohdichte**	2.70	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 5.5	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.24	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtdatum: 29.07.2021
Laborant ef

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

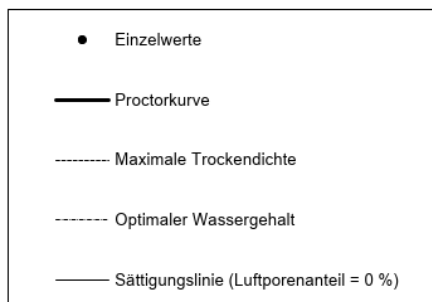
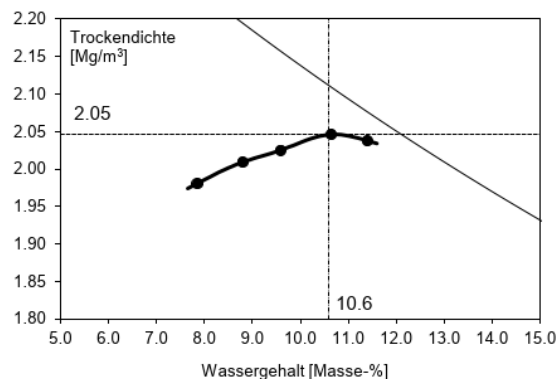


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0578
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Wassergehalt	5.5 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	0.6 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	7.9	1.981
2	8.8	2.009
3	9.6	2.025
4	10.6	2.046
5	11.4	2.038
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	10.6	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.05	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	43.2	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	1.5	Masse-%
Kornrohdichte**	2.72	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 6.7	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.22	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtdatum: 31.08.2021
Laborant PL

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

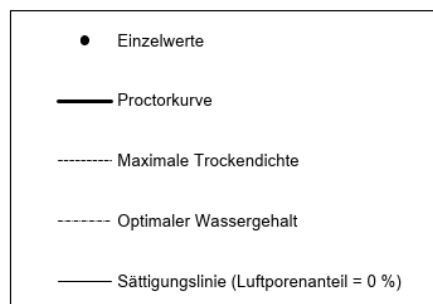
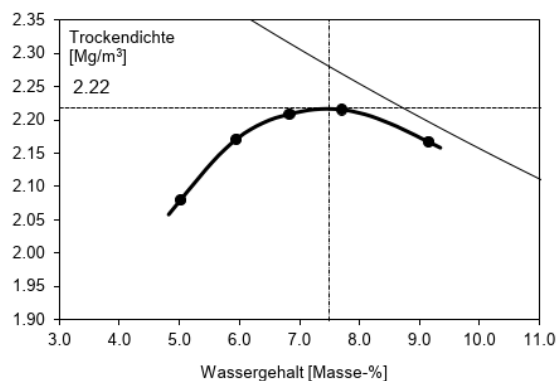


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0576
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Probeneingang	11.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	11.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 9		
Wassergehalt	1.0 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	0.6 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	5.0	2.080
2	5.9	2.171
3	6.8	2.209
4	7.7	2.215
5	9.2	2.167
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	7.5	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.22	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	54.3	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	.5	Masse-%
Kornrohdichte**	2.75	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w^*	≈ 3.7	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d^*	≈ 2.36	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 27.08.2022
Laborant PL

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

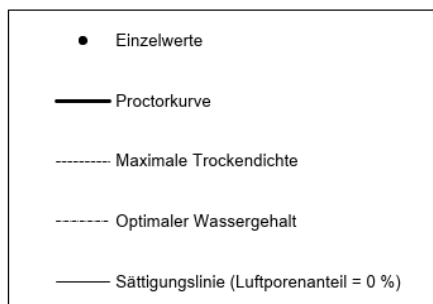
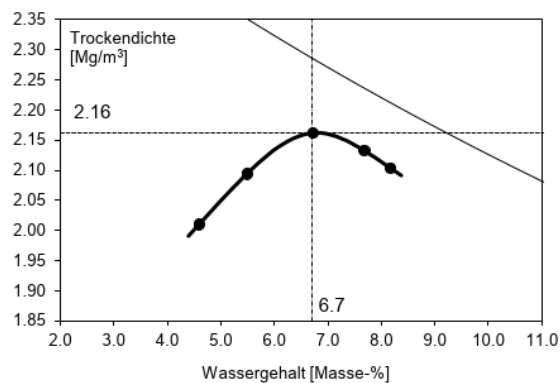


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0575
Probenbezeichnung	Felsmaterial Jura	Auftragsnummer	21.00001
Probenherkunft		Berichtsausgabe	Nr. 1
Entnahmeort	ab Band	Probeneingang	20.07.2021
		Entnahmedatum	18.07.2021
Baustelle	VSS 2020/335	Entnahme durch	
Bemerkungen	Material Nr. 16	Unternehmung	
Wassergehalt	1.0 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	0.6 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	4.6	2.010
2	5.5	2.094
3	6.7	2.162
4	7.7	2.133
5	8.2	2.103
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	6.7	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.16	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	29.3	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	1.0	Masse-%
Kornrohndichte**	2.70	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 5.0	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.24	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohndichte Festsubstanz

Berichtdatum: 03.09.2021
Laborant PL

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

V.06.01.2016

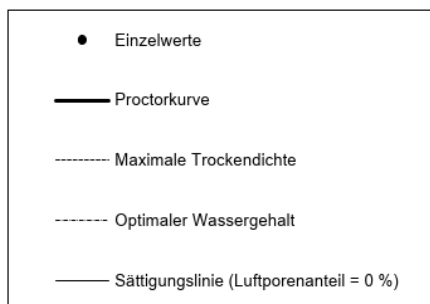
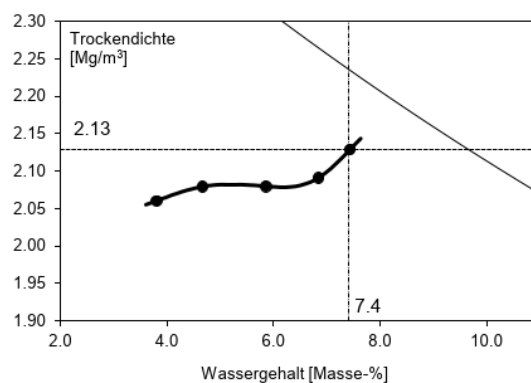
Seite 1 von 1

Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0581
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	21.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 40		
Wassergehalt	1.2 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	0.6 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	3.8	2.060
2	4.7	2.079
3	5.9	2.080
4	6.8	2.091
5	7.4	2.129
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	7.4	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.13	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	48.3	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	.5	Masse-%
Kornrohdichte**	2.68	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 4.1	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.27	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 04.08.2022
Laborant ef

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1

III.2.3 Proctor 1.2 MJ/m³

BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

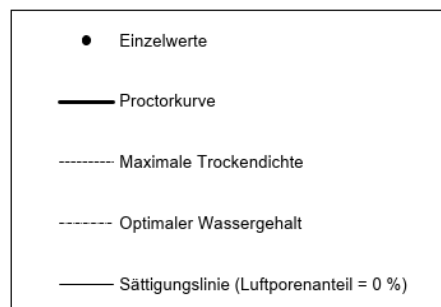
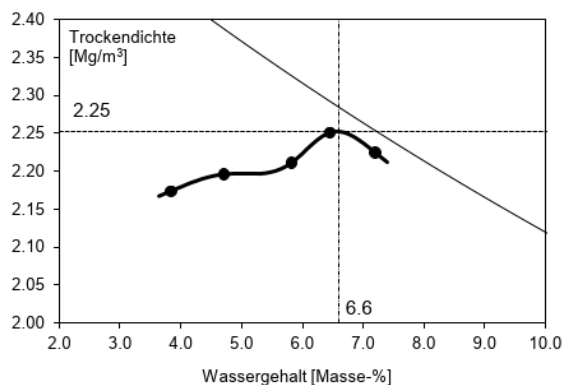


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0577
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	22.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	22.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 3		
Wassergehalt	2.6 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	1.2 MJ/m ³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	3.8	2.174
2	4.7	2.196
3	5.8	2.211
4	6.5	2.251
5	7.2	2.225
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	6.6	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.25	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkomanteil*	42.8	Masse-%
Wassergehalt Überkom	.5	Masse-%
Kornrohndichte**	2.69	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 4.0	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.32	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohndichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 04.08.2022
Laborant ef

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

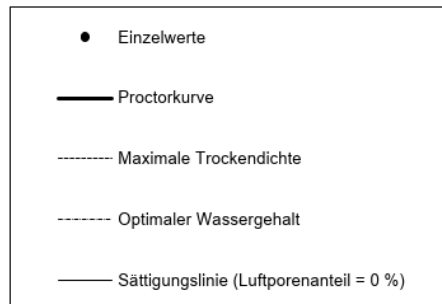
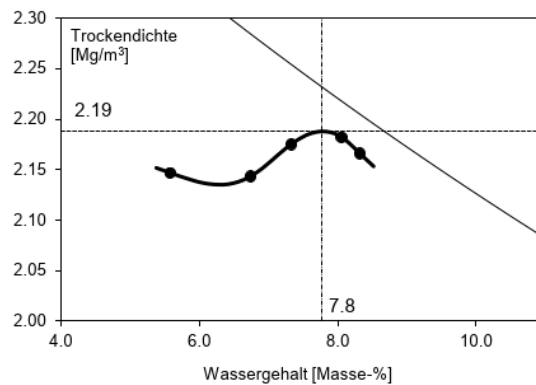


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0579
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Flussskies teilgebrochen	Probeneingang	13.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 4		
Wassergehalt	1.6 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	1.2 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	5.6	2.147
2	6.7	2.143
3	7.3	2.175
4	8.1	2.182
5	8.3	2.166
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	7.8	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.19	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	33.6	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	.5	Masse-%
Kornrohndichte**	2.70	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 5.3	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.27	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohndichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 04.08.2022
Laborant: ef

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfresultate. 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.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

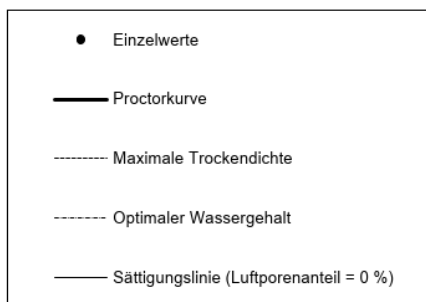
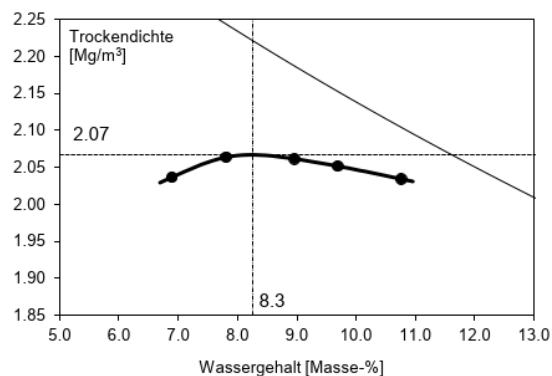


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0578
		Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Wassergehalt	5.5 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	1.2 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	6.9	2.036
2	7.8	2.064
3	9.0	2.061
4	9.7	2.052
5	10.8	2.034
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	8.3	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.07	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	43.2	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	1.5	Masse-%
Kornrohdichte**	2.72	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 5.3	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.23	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 08.07.2022
Laborant ef

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

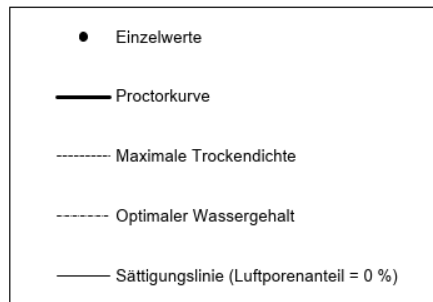
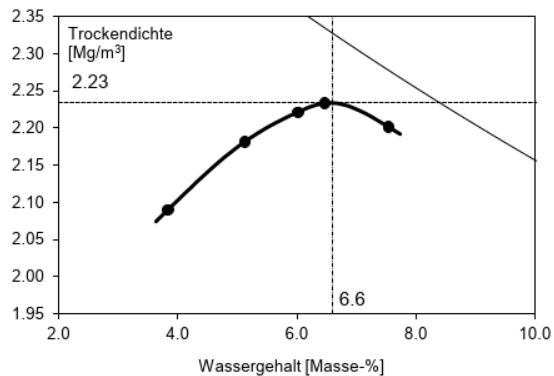


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0576
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Auftragsnummer	21.00001
Probenherkunft		Berichtsausgabe	Nr. 1
Entnahmeort	ab Depot	Probeneingang	11.08.2021
		Entnahmedatum	11.08.2021
		Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 9		
Wassergehalt	1.0 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	1.2 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	3.8	2.090
2	5.1	2.181
3	6.0	2.221
4	6.5	2.233
5	7.5	2.201
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	6.6	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.23	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkomanteil*	54.3	Masse-%
Wassergehalt Überkom	.5	Masse-%
Kornrohdichte**	2.75	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 3.3	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.36	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtsdatum: 29.06.2022
Laborant ef

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch

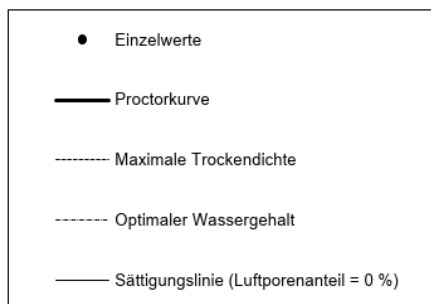
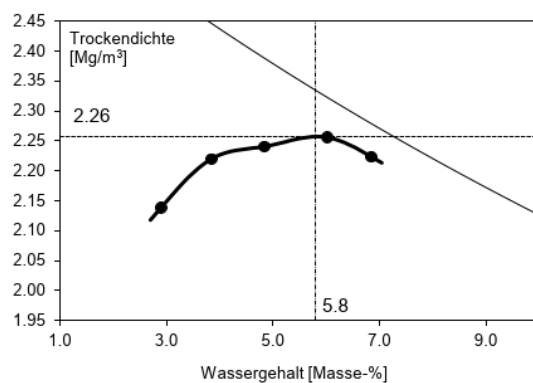


Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0575
Probenbezeichnung	Felsmaterial Jura	Auftragsnummer	21.00001
Probenherkunft		Berichtsausgabe	Nr. 1
Entnahmeort	ab Band	Probeneingang	20.07.2021
		Entnahmedatum	18.07.2021
Baustelle	VSS 2020/335	Entnahme durch	
Bemerkungen	Material Nr. 16	Unternehmung	
Wassergehalt	1.0 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	1.2 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	2.9	2.138
2	3.8	2.220
3	4.8	2.240
4	6.0	2.256
5	6.8	2.223
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	5.8	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.26	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	29.3	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	1.0	Masse-%
Kornrohdichte**	2.70	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 4.4	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.31	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohdichte Festsubstanz

Berichtdatum: 11.07.2022
Laborant ef

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

V.06.01.2016

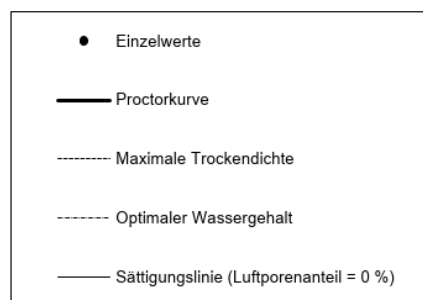
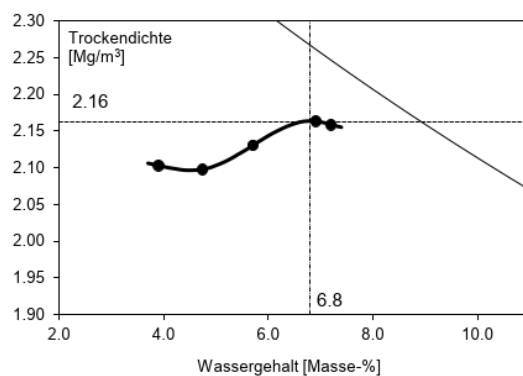
Seite 1 von 1

Proctorversuch

SN 670 330-2:2012 / SN EN 13286-2:2010

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Probennummer	M.21.0581
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Auftragsnummer	21.00001
Probenherkunft		Berichtsausgabe	Nr. 1
Entnahmeort	ab Depot	Probeneingang	21.07.2021
		Entnahmedatum	21.07.2021
		Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 40		
Wassergehalt	1.2 M.-% bei Anlieferung (Gesamtprobe; Ofentrocknung gem. SN EN 1097-5)		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Verdichtungsenergie:	1.2 MJ/m³
Proctortopf	B (Ø = 152 mm)		

Proctorkurve



Einzelwerte

Prüfkörper [-]	Wassergehalt [Masse-%]	Trockendichte [Mg/m³]
1	3.9	2.103
2	4.7	2.098
3	5.7	2.131
4	6.9	2.163
5	7.2	2.159
6	--	--

Prüfresultat gem. Proctorkurve

Opt. Wassergehalt w	6.8	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d	2.16	Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe 0/D_{max}

Überkornanteil*	48.3	Masse-%
Wassergehalt Überkorn	.5	Masse-%
Kornrohndichte**	2.68	Mg/m³
Opt. Wassergehalt w'	≈ 3.8	Masse-%
Max. Trockendichte ρ_d'	≈ 2.28	Mg/m³

* Kornanteil grösser als die geprüfte Kornklasse

** Annahme Rohndichte Festsubstanz

Berichtdatum: 04.08.2022
Laborant: ef

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

V.06.01.2016

Seite 1 von 1

III.2.4 CBR-Versuche

BAUSTOFFLABOR

BSL Baustofflabor AG

Postgässli 23a / Postfach

3661 Uetendorf

Tel 058 226 84 44

info@baustofflabor.ch



CBR-Versuch			SN EN 13286-47		
Auftraggeber Adresse	BSL Baustofflabor AG		Probennummer	M.21.0577	
	Postgässli 23 a		Auftragsnummer	21.00001	
	3661 Uetendorf		Berichtausgabe	Nr. 1	
Probenbezeichnung	Wandkies rund		Probeneingang	22.07.2021	
Probenherkunft			Entnahmedatum	22.07.2021	
Entnahmeort	ab Depot		Entnahme durch	BSL/ef	
Baustelle	VSS 2020/335		Unternehmung		
Bemerkungen	Material Nr. 3				
Geprüfte Kornklasse	0/16	mm	Einbauwassergehalt	6.5	Masse-%
Prüfkörpervolumen	2305	cm³ (Proctortopf B; Ø = 152 mm)	Feuchtraumdichte	2.395	Mg/m³
Prüfkörperherstellung	Verdichtung mit Proctorhammer ²⁾		Trockenraumdichte	2.250	Mg/m³
²⁾ Abgeändertes Verfahren: Einwaage Probenmasse bezogen auf max. Trockendichte aus Proctorversuch (EN 13286-2; Topf B; Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m³)					
Versuchsart*	CBR ₁		Masse Auflast	7.5	kg
Nachbehandlung	keine (Prüfung sofort nach Verdichtung)		Endwassergehalt	6.2	Masse-%

* gem. SN 670 330-47-NA:2018, Ziff. 4 und 5

Prüfresultate:

Stempeleindringtiefe / Last

2.5 mm

14.6 kN

5.0 mm

25.6 kN

Referenzlast (EN 13286-47:2004)

2.5 mm

13.2 kN

5.0 mm

20.0 kN

CBR-Werte

2.5 mm

110 %

5.0 mm

130 %

Gerundet gem. SN 670 330-47:2018, Ziff. 15.

Als massgebendes Resultat gilt jene Eindringtiefe bzw. Last, die den höheren Prozentwert ergibt (SN 670 330-47:2018, Ziff. 15).

Schwellmass Δh

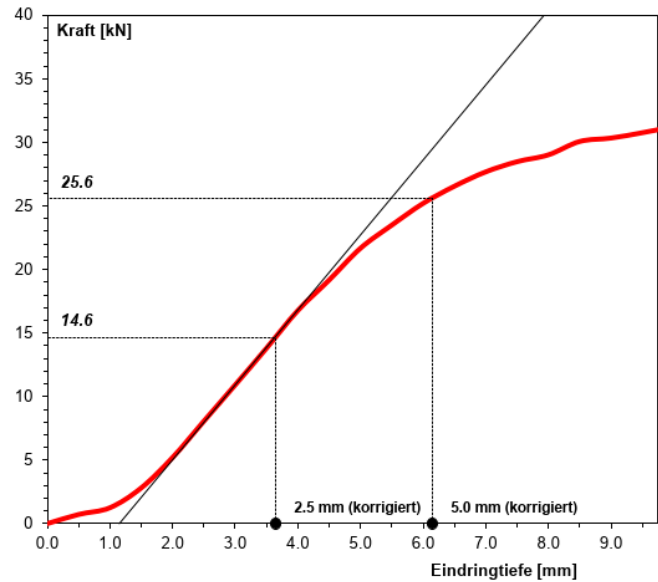
Δh

-- %

t

-- h

Δh = prozentuale Höhenänderung des Prüfkörpers bei Wasserlagerung; t = Dauer Wasserlagerung bis Δh (Das Schwellmass wird nur beim CBR₂-Versuch bestimmt).



Berichtsdatum 23.03.2023
Laborant ef

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



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44
info@baustofflabor.ch



CBR_F-WERT NACH FROSTHEBUNGSVERSUCH

VSS 70 321:2019

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0577
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 2 (ersetzt Nr. 1 vom 06.01.16)
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	22.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	22.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 3		

Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Einbauwassergehalt	6.6	Masse-%
Prüfkörpervolumen	2370 cm ³ (Zylinder gem. SN 670 321a)	Feuchtraumdichte	2.386	Mg/m ³
Prüfkörperherstellung	Verdichtung mit Proctorhammer ¹⁾	Anfangs-Trockendichte	2.239	Mg/m ³

¹⁾ Abgeändertes Verfahren: Einwaage Probenmasse bezogen auf max. Trockendichte aus Proctorversuch (EN 13286-2; Topf B; Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m³)

Versuchsart	CBR _F	Masse Auflast	7.5	kg
Nachbehandlung	Frosthebungsversuch gem. VSS 70 321	Endwassergehalt²⁾	6.7	Masse-%
Versuchsstart	11.04.2023	End-Trockendichte²⁾	2.241	Mg/m ³

²⁾ vor dem Stempeleindringversuch

Prüfresultate:

Stempeleindringtiefe / Last

2.5 mm	14.3	kN
5.0 mm	27.3	kN

Referenzlast (EN 13286-47:2004)

2.5 mm	13.2	kN
5.0 mm	20.0	kN

CBR-Werte

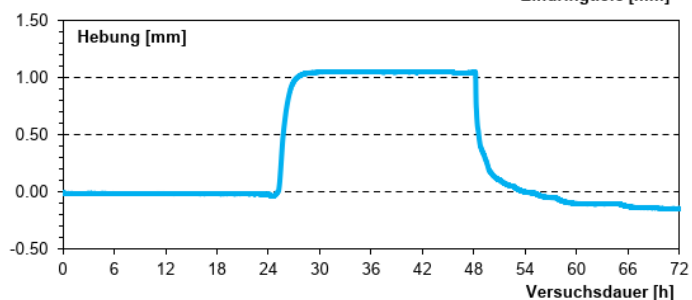
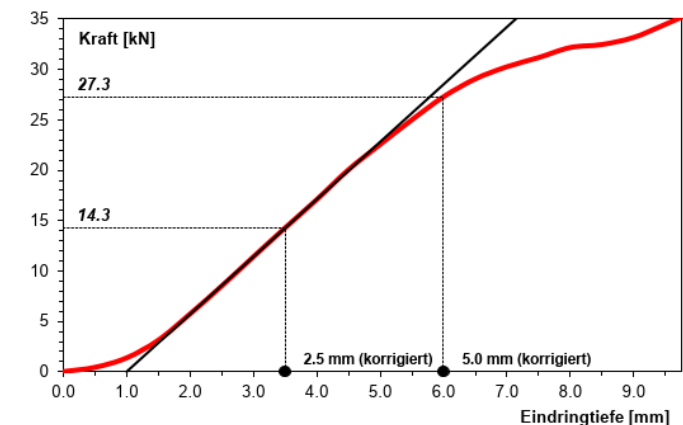
2.5 mm	110	%
5.0 mm	135	%

Gerundet gem. SN EN 13286-47:2022, Ziff. 14.
Als massgebendes Resultat gilt jene Eindringtiefe bzw. Last, die den höheren Prozentwert ergibt (EN 13286-47:2021, Ziff. 10.3).

Frosthebung:

f	1.07	mm
r	-0.14	mm
r/f	-0.13	

f = maximale Frosthebung in [mm]; r = Resthebung in [mm] (Differenz Hebung nach t = 72 und t = 0 h)



Berichtsdatum 11.04.2023
Laborant ef

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfresultate. Die übrigen Daten entsprechen den Angaben des Auftraggebers.
Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschliesslich auf die oben erwähnte Probe.
Elektronische versendete Prüfberichte sind auch ohne Unterschrift gültig. Im Streitfall gilt das unterzeichnete Laborexemplar.
V.15.12.2022

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44
info@baustofflabor.ch



CBR-Versuch

SN EN 13286-47

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0578
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Einbauwassergehalt	8.3 Masse-%
Prüfkörpervolumen	2305 cm ³ (Proctortopf B; Ø = 152 mm)	Feuchtraumdichte	2.249 Mg/m ³
Prüfkörperherstellung	Verdichtung mit Proctorhammer ²⁾	Trockenraumdichte	2.077 Mg/m ³
²⁾ Abgeändertes Verfahren: Einwaage Probenmasse bezogen auf max. Trockendichte aus Proctorversuch (EN 13286-2; Topf B; Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m ³)			
Versuchsart*	CBR ₁	Masse Auflast	7.5 kg
Nachbehandlung	keine (Prüfung sofort nach Verdichtung)	Endwassergehalt	7.9 Masse-%

* gem. SN 670 330-47-NA:2018, Ziff. 4 und 5

Prüfresultate:

Stempeleindringtiefe / Last

2.5 mm	22.8	kN
5.0 mm	41.6	kN

Referenzlast (EN 13286-47:2004)

2.5 mm	13.2	kN
5.0 mm	20.0	kN

CBR-Werte

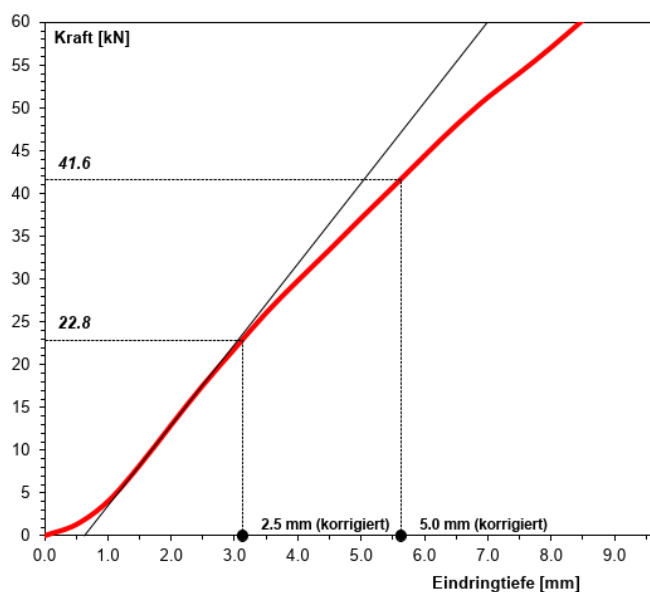
2.5 mm	175	%
5.0 mm	210	%

Gerundet gem. SN 670 330-47:2018, Ziff. 15.
Als massgebendes Resultat gilt jene Eindringtiefe bzw. Last, die den höheren Prozentwert ergibt (SN 670 330-47:2018, Ziff. 15).

Schwellmass Δh

Δh	—	%
t	—	h

Δh = prozentuale Höhenänderung des Prüfkörpers bei Wasserlagerung; t = Dauer Wasserlagerung bis Δh (Das Schwellmass wird nur beim CBR₂-Versuch bestimmt).



Berichtsdatum 23.03.2023
Laborant ef

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

V.19.01.2023

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44
info@baustofflabor.ch



CBR_F-WERT NACH FROSTHEBUNGSVERSUCH

VSS 70 321:2019

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0578
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 2 (ersetzt Nr. 1 vom 06.01.16)
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Einbauwassergehalt	7.9 Masse-%
Prüfkörpervolumen	2370 cm ³ (Zylinder gem. SN 670 321a)	Feuchtraumdichte	2.232 Mg/m ³
Prüfkörperherstellung	Verdichtung mit Proctorhammer ¹⁾	Anfangs-Trockendichte	2.069 Mg/m ³
¹⁾ Abgeändertes Verfahren: Einwaage Probenmasse bezogen auf max. Trockendichte aus Proctorversuch (EN 13286-2; Topf B; Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m ³)			

Versuchsart	CBR _F	Masse Auflast	7.5 kg
Nachbehandlung	Frosthebungsversuch gem. VSS 70 321	Endwassergehalt²⁾	9.6 Masse-%
Versuchsstart	11.04.2023	End-Trockendichte²⁾	2.071 Mg/m ³
		²⁾ vor dem Stempelerindringversuch	

Prüfresultate:

Stempelerindringtiefe / Last

2.5 mm	19.9	kN
5.0 mm	33.4	kN

Referenzlast (EN 13286-47:2004)

2.5 mm	13.2	kN
5.0 mm	20.0	kN

CBR-Werte

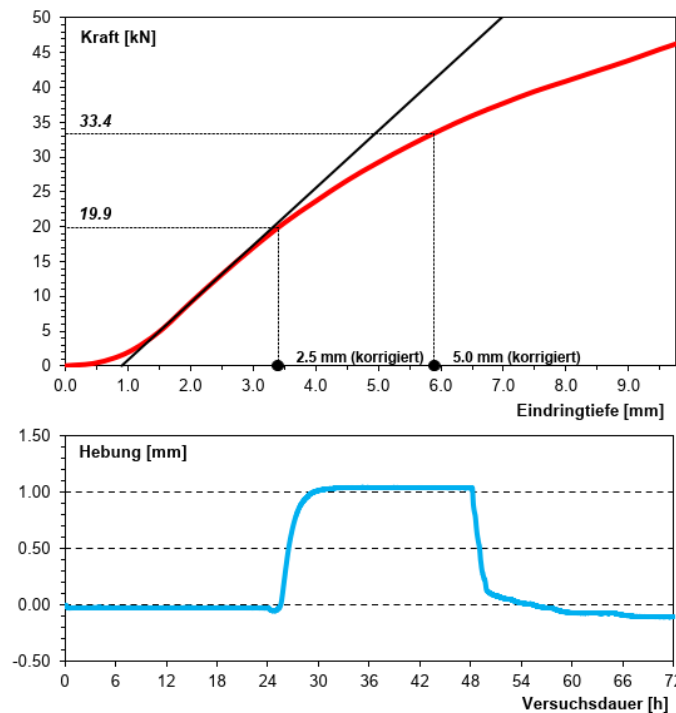
2.5 mm	150	%
5.0 mm	165	%

Gerundet gem. SN EN 13286-47:2022, Ziff. 14.
Als massgebendes Resultat gilt jene Eindringtiefe bzw. Last, die den höheren Prozentwert ergibt
(EN 13286-47:2021, Ziff. 10.3).

Frosthebung:

f	1.07	mm
r	-0.11	mm
r/f	-0.10	

f = maximale Frosthebung in [mm]; r = Resthebung in [mm] (Differenz Hebung nach t = 72 und t = 0 h)



Berichtsdatum 17.04.2023
Laborant ef

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfresultate. 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.15.12.2022

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44
info@baustofflabor.ch



CBR-Versuch

SN EN 13286-47

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0576
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Probeneingang	11.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	11.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 9		

Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Einbauwassergehalt	6.4	Masse-%
Prüfkörpervolumen	2305 cm ³ (Proctortopf B; Ø = 152 mm)	Feuchtraumdichte	2.387	Mg/m ³
Prüfkörperherstellung	Verdichtung mit Proctorhammer ²⁾	Trockenraumdichte	2.244	Mg/m ³

²⁾ Abgeändertes Verfahren: Einwaage Probenmasse bezogen auf max. Trockendichte aus Proctorversuch (EN 13286-2; Topf B; Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m³)

Versuchsart*	CBR ₁	Masse Auflast	7.5	kg
Nachbehandlung	keine (Prüfung sofort nach Verdichtung)	Endwassergehalt	6.1	Masse-%

* gem. SN 670 330-47-NA:2018, Ziff. 4 und 5

Prüfresultate:

Stempeleindringtiefe / Last

2.5 mm	14.2	kN
5.0 mm	28.4	kN

Referenzlast (EN 13286-47:2004)

2.5 mm	13.2	kN
5.0 mm	20.0	kN

CBR-Werte

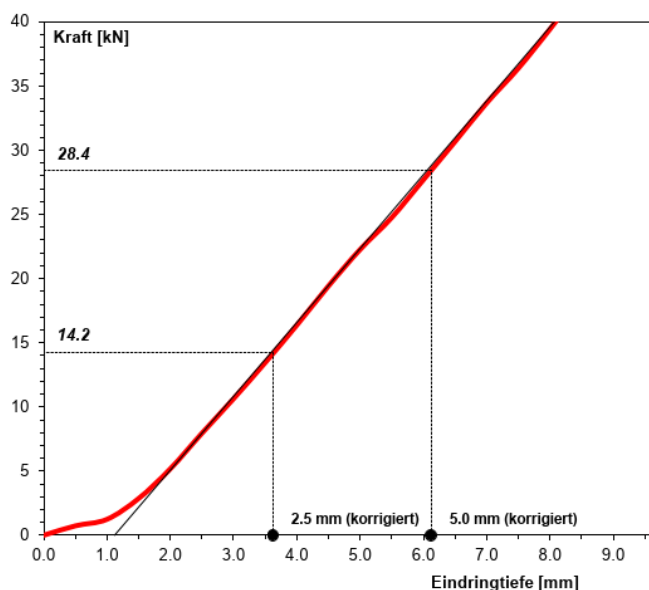
2.5 mm	110	%
5.0 mm	140	%

Gerundet gem. SN 670 330-47:2018, Ziff. 15.
Als massgebendes Resultat gilt jene Eindringtiefe bzw. Last, die den höheren Prozentwert ergibt (SN 670 330-47:2018, Ziff. 15).

Schwellmass Δh

Δh	—	%
t	—	h

Δh = prozentuale Höhenänderung des Prüfkörpers bei Wasserlagerung; t = Dauer Wasserlagerung bis Δh
(Das Schwellmass wird nur beim CBR₂-Versuch bestimmt).



Berichtsdatum 23.03.2023
Laborant ef

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

V.19.01.2023

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44
info@baustofflabor.ch



CBR_F-WERT NACH FROSTHEBUNGSVERSUCH

VSS 70 321:2019

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0576
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Probeneingang	11.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	11.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 9		

Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Einbauwassergehalt	6.5	Masse-%
Prüfkörpervolumen	2370 cm ³ (Zylinder gem. SN 670 321a)	Feuchtraumdichte	2.384	Mg/m ³
Prüfkörperherstellung	Verdichtung mit Proctorhammer ¹⁾	Anfangs-Trockendichte	2.239	Mg/m ³

¹⁾ Abgeändertes Verfahren: Einwaage Probenmasse bezogen auf max. Trockendichte aus Proctorversuch (EN 13286-2; Topf B; Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m³)

Versuchsart	CBR _F	Masse Auflast	7.5	kg
Nachbehandlung	Frosthebungsversuch gem. VSS 70 321	Endwassergehalt²⁾	6.9	Masse-%
Versuchsstart	31.03.2023	End-Trockendichte²⁾	2.238	Mg/m ³

²⁾ vor dem Stempel Eindringversuch

Prüfresultate:

Stempeleindringtiefe / Last

2.5 mm	13.6	kN
5.0 mm	25.0	kN

Referenzlast (EN 13286-47:2004)

2.5 mm	13.2	kN
5.0 mm	20.0	kN

CBR-Werte

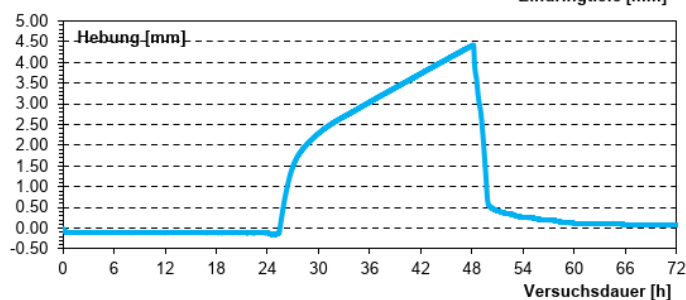
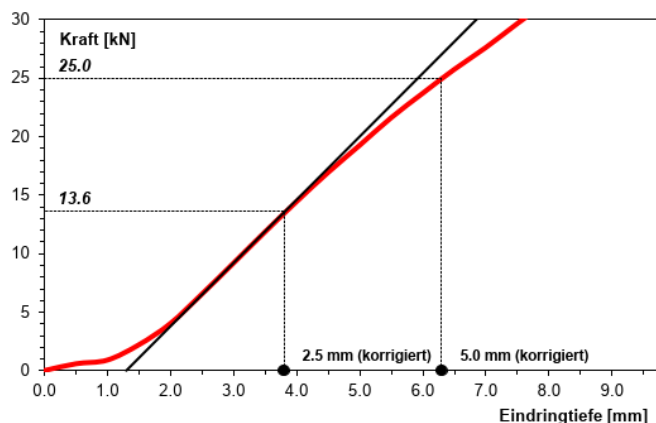
2.5 mm	105	%
5.0 mm	125	%

Gerundet gem. SN EN 13286-47:2022, Ziff. 14.
Als massgebendes Resultat gilt jene Eindringtiefe bzw. Last, die den höheren Prozentwert ergibt (EN 13286-47:2021, Ziff. 10.3).

Frosthebung:

f	4.54	mm
r	0.06	mm
r/f	0.01	

f = maximale Frosthebung in [mm]; r = Resthebung in [mm] (Differenz Hebung nach t = 72 und t = 0 h)



Berichtsdatum 05.04.2023
Laborant ef

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfresultate. 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.15.12.2022

Seite 1 von 1

III.2.5 Wasserdurchlässigkeit 0.6 MJ/m³

BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0577_2
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	22.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	22.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 3		
Feuchtraumdichte	2.317 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.224 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	84 %
Einbau-Wassergehalt	4.2 Masse-%	End-Wassergehalt²	6.6 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 26.09.2022 10:00 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
22.8	19.7	0.1	2.02 × 10 ⁻⁵	1.57 × 10 ⁻⁵
23.4	19.6	0.5	1.66 × 10 ⁻⁵	1.29 × 10 ⁻⁵
23.8	19.7	0.9	1.60 × 10 ⁻⁵	1.24 × 10 ⁻⁵
24.6	19.7	0.5	1.50 × 10 ⁻⁵	1.17 × 10 ⁻⁵
25.4	19.7	0.3	1.60 × 10 ⁻⁵	1.24 × 10 ⁻⁵
Mittelwert (Prüfresultat)	19.7	--	1.68 × 10⁻⁵	1.30 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 28.09.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0579_1
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Flusskies teilgebrochen	Probeneingang	13.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 4		
Feuchtraumdichte	2.263 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.141 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	93 %
Einbau-Wassergehalt	5.7 Masse-%	End-Wassergehalt²	9.0 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 04.07.2022 10:15 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
21.8	23.1	0.1	2.92×10^{-5}	2.09×10^{-5}
22.6	22.7	0.5	2.66×10^{-5}	1.92×10^{-5}
23.5	22.5	0.9	2.56×10^{-5}	1.86×10^{-5}
23.9	22.3	0.5	2.36×10^{-5}	1.72×10^{-5}
24.5	22.4	0.2	1.62×10^{-5}	1.18×10^{-5}
Mittelwert (Prüfresultat)	22.6	--	2.42×10^{-5}	1.76×10^{-5}

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 06.07.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0578_1
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Feuchtraumdichte	2.199 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.041 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	85 %
Einbau-Wassergehalt	7.7 Masse-%	End-Wassergehalt²	10.4 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 29.06.2022 08:30 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
26.1	23.0	0.3	5.60 × 10 ⁻⁶	4.02 × 10 ⁻⁶
26.8	23.1	0.9	5.81 × 10 ⁻⁶	4.17 × 10 ⁻⁶
27.3	23.1	1.5	5.94 × 10 ⁻⁶	4.26 × 10 ⁻⁶
28.4	23.2	0.9	5.99 × 10 ⁻⁶	4.28 × 10 ⁻⁶
29.0	23.2	0.5	5.78 × 10 ⁻⁶	4.13 × 10 ⁻⁶
Mittelwert (Prüfresultat)	23.1	--	5.82 × 10⁻⁶	4.17 × 10⁻⁶

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 04.07.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0578_3
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Feuchtraumdichte	2.201 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.058 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	81 %
Einbau-Wassergehalt	7.0 Masse-%	End-Wassergehalt²	9.6 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 13.03.2023 10:00 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
24.8	20.7	1.0	6.84×10^{-7}	5.19×10^{-7}
25.6	20.8	1.7	7.31×10^{-7}	5.53×10^{-7}
27.0	20.7	2.8	7.74×10^{-7}	5.87×10^{-7}
27.8	20.7	4.0	8.08×10^{-7}	6.13×10^{-7}
28.5	20.8	2.9	7.44×10^{-7}	5.63×10^{-7}
29.6	20.9	1.8	6.92×10^{-7}	5.22×10^{-7}
Mittelwert (Prüfresultat)	20.8	--	7.39×10^{-7}	5.59×10^{-7}

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 15.03.2023
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0578_5
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Feuchtraumdichte	2.200 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.055 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	85 %
Einbau-Wassergehalt	7.0 Masse-%	End-Wassergehalt²	10.1 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 11.04.2023 11:40 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
23.2	20.7	1.3	1.47 × 10 ⁻⁶	1.11 × 10 ⁻⁶
23.7	20.8	1.8	1.45 × 10 ⁻⁶	1.10 × 10 ⁻⁶
24.3	20.8	2.4	1.42 × 10 ⁻⁶	1.07 × 10 ⁻⁶
25.4	20.8	1.8	1.31 × 10 ⁻⁶	0.99 × 10 ⁻⁶
26.4	20.8	1.3	1.25 × 10 ⁻⁶	9.46 × 10 ⁻⁷
Mittelwert (Prüfresultat)	20.8	--	1.38 × 10⁻⁶	1.04 × 10⁻⁶

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 14.04.2023
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0576_5
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Probeneingang	11.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	11.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 9		
Feuchtraumdichte	2.344 Mg/m ³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.230 Mg/m ³	Prüfkörpervolumen	2180 cm ³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	92 %
Einbau-Wassergehalt	5.1 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.8 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m ³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 16.05.2022 08:15 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
31.0	22.2	2.0	6.60 × 10 ⁻⁶	4.83 × 10 ⁻⁶
31.5	22.3	1.5	7.40 × 10 ⁻⁶	5.40 × 10 ⁻⁶
32.2	22.2	1.0	8.52 × 10 ⁻⁶	6.24 × 10 ⁻⁶
48.0	22.3	1.1	8.98 × 10 ⁻⁶	6.56 × 10 ⁻⁶
48.9	22.2	0.7	9.48 × 10 ⁻⁶	6.94 × 10 ⁻⁶
Mittelwert (Prüfresultat)	22.2	--	8.20 × 10⁻⁶	5.99 × 10⁻⁶

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 19.05.2022
Laborant ef/kam

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.22.0194_2
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	22.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Betongranulatgemisch	Probeneingang	22.03.2022
Probenherkunft		Entnahmedatum	14.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	TFB
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 11		
Feuchtraumdichte	1.986 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	1.830 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	98 %
Einbau-Wassergehalt	8.5 Masse-%	End-Wassergehalt²	17.1 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 31.03.2022 08:30 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
24.1	22.5	0.1	2.70×10^{-5}	1.96×10^{-5}
24.9	22.2	0.4	2.64×10^{-5}	1.93×10^{-5}
25.4	22.2	0.7	2.50×10^{-5}	1.83×10^{-5}
25.9	21.9	1.0	2.35×10^{-5}	1.73×10^{-5}
26.3	21.8	0.7	2.24×10^{-5}	1.66×10^{-5}
26.9	20.7	0.4	2.11×10^{-5}	1.60×10^{-5}
Mittelwert (Prüfresultat)	21.9	—	2.42×10^{-5}	1.78×10^{-5}

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 04.04.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0575_1
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Felsmaterial Jura	Probeneingang	20.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	18.07.2021
Entnahmeort	ab Band	Entnahme durch	
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 16		
Feuchtraumdichte	2.264 Mg/m ³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.153 Mg/m ³	Prüfkörpervolumen	2180 cm ³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	88 %
Einbau-Wassergehalt	5.2 Masse-%	End-Wassergehalt²	8.3 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuchs	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m ³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 11.07.2022 08:45 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
23.1	22.9	0.1	4.02 × 10 ⁻⁵	2.90 × 10 ⁻⁵
23.6	22.8	0.5	4.38 × 10 ⁻⁵	3.16 × 10 ⁻⁵
24.0	22.7	0.9	3.82 × 10 ⁻⁵	2.76 × 10 ⁻⁵
24.6	22.7	0.5	4.09 × 10 ⁻⁵	2.96 × 10 ⁻⁵
25.9	22.8	0.1	4.43 × 10 ⁻⁵	3.20 × 10 ⁻⁵
Mittelwert (Prüfresultat)	22.8	--	4.15 × 10⁻⁵	3.00 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 13.07.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0581_1
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	21.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 40		
Feuchtraumdichte	2.252 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.157 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	81 %
Einbau-Wassergehalt	4.4 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.4 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 06.07.2022 08:40 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
22.8	23.1	0.1	1.20 × 10 ⁻⁵	8.59 × 10 ⁻⁶
23.6	23.0	0.5	1.45 × 10 ⁻⁵	1.04 × 10 ⁻⁵
24.0	22.9	0.9	1.41 × 10 ⁻⁵	1.02 × 10 ⁻⁵
24.7	22.6	0.6	1.38 × 10 ⁻⁵	1.00 × 10 ⁻⁵
25.8	22.4	0.2	1.36 × 10 ⁻⁵	0.99 × 10 ⁻⁵
Mittelwert (Prüfresultat)	22.8	--	1.36 × 10⁻⁵	0.98 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 08.07.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1

Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.1047_14
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Planiekies 0/16	Probeneingang	12.11.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.11.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 41 (Testgemisch)		
Feuchtraumdichte	2.249 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.137 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	80 %
Einbau-Wassergehalt	5.2 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.6 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate**Versuchsbeginn** 20.01.2022 9:00 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
23.3	20.0	0.4	2.15×10^{-5}	1.66×10^{-5}
25.8	20.0	0.5	2.16×10^{-5}	1.66×10^{-5}
26.3	19.9	0.8	2.09×10^{-5}	1.62×10^{-5}
26.8	19.8	1.1	2.08×10^{-5}	1.61×10^{-5}
27.1	19.8	0.8	2.07×10^{-5}	1.60×10^{-5}
27.6	19.2	0.5	2.04×10^{-5}	1.61×10^{-5}
Mittelwert (Prüfresultat)	19.8	--	2.10×10^{-5}	1.63×10^{-5}

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 24.01.2022
Laborant kam, PL

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.1047_15
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Planiekies 0/16	Probeneingang	12.11.2021
Probenherkunft	Daep	Entnahmedatum	
Entnahmeort		Entnahme durch	
Baustelle		Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 41 (Testgemisch)		
Feuchtraumdichte	2.244 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.137 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	88 %
Einbau-Wassergehalt	5.0 Masse-%	End-Wassergehalt²	8.4 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 15.02.2022 8:20 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
24.3	20.1	0.2	1.98 × 10 ⁻⁵	1.52 × 10 ⁻⁵
25.1	19.5	0.4	2.07 × 10 ⁻⁵	1.62 × 10 ⁻⁵
25.6	19.8	0.7	2.10 × 10 ⁻⁵	1.63 × 10 ⁻⁵
26.2	19.8	0.9	2.24 × 10 ⁻⁵	1.73 × 10 ⁻⁵
27.0	20.0	0.6	2.22 × 10 ⁻⁵	1.71 × 10 ⁻⁵
27.4	20.2	0.4	2.17 × 10 ⁻⁵	1.67 × 10 ⁻⁵
28.0	20.5	0.2	2.22 × 10 ⁻⁵	1.69 × 10 ⁻⁵
Mittelwert (Prüfresultat)	20.0	--	2.14 × 10⁻⁵	1.65 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 17.02.2022
Laborant kam, ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.1047_16
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Planiekies 0/16	Probeneingang	12.11.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.11.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 41 (Testgemisch)		
Feuchtraumdichte	2.245 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.134 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	81 %
Einbau-Wassergehalt	5.2 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.7 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 3.02.2022 10:00 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
24.0	20.5	0.3	1.13 × 10 ⁻⁵	8.64 × 10 ⁻⁶
25.3	20.3	0.6	1.10 × 10 ⁻⁵	8.43 × 10 ⁻⁶
25.8	20.1	0.9	1.06 × 10 ⁻⁵	8.14 × 10 ⁻⁶
28.5	20.6	1.2	1.03 × 10 ⁻⁵	7.80 × 10 ⁻⁶
29.2	20.5	1.5	0.97 × 10 ⁻⁵	7.41 × 10 ⁻⁶
30.0	20.5	1.1	0.99 × 10 ⁻⁵	7.53 × 10 ⁻⁶
30.5	20.6	0.8	0.98 × 10 ⁻⁵	7.47 × 10 ⁻⁶
31.2	20.8	0.4	0.99 × 10 ⁻⁵	7.50 × 10 ⁻⁶
Mittelwert (Prüfresultat)	20.5	--	1.03 × 10⁻⁵	7.87 × 10⁻⁶

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 04.02.2022
Laborant kam, PL

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.1047_17
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Planiekies 0/16	Probeneingang	12.11.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.11.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 41 (Testgemisch)		
Feuchtraumdichte	2.245 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.137 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	82 %
Einbau-Wassergehalt	5.0 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.8 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 7.02.2022 8:30 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
27.4	21.1	0.2	2.25 × 10 ⁻⁵	1.69 × 10 ⁻⁵
28.0	21.0	0.5	2.30 × 10 ⁻⁵	1.73 × 10 ⁻⁵
28.5	20.9	0.7	2.26 × 10 ⁻⁵	1.70 × 10 ⁻⁵
29.1	20.7	0.9	2.38 × 10 ⁻⁵	1.81 × 10 ⁻⁵
29.6	20.6	1.0	2.42 × 10 ⁻⁵	1.84 × 10 ⁻⁵
30.0	20.6	0.7	2.44 × 10 ⁻⁵	1.86 × 10 ⁻⁵
30.7	20.4	0.5	2.30 × 10 ⁻⁵	1.76 × 10 ⁻⁵
Mittelwert (Prüfresultat)	20.8	--	2.34 × 10⁻⁵	1.77 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 08.02.2022
Laborant kam

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1

III.2.6 Wasserdurchlässigkeit 1.2 MJ/m³

BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0577_1
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	22.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	22.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 3		
Feuchtraumdichte	2.355 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.250 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	98 %
Einbau-Wassergehalt	4.7 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.1 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 27.06.2022 08:30 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
25.8	22.4	1.1	9.03×10^{-7}	6.58×10^{-7}
26.6	22.6	2.2	1.04×10^{-6}	7.52×10^{-7}
28.4	22.7	3.3	1.18×10^{-6}	8.53×10^{-7}
29.2	22.6	2.4	1.17×10^{-6}	8.46×10^{-7}
29.9	22.7	1.2	1.12×10^{-6}	8.14×10^{-7}
Mittelwert (Prüfresultat)	22.6	--	1.08×10^{-6}	7.85×10^{-7}

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 29.06.2022
Laborant ef

Durch das Baustofflabor bereitgestellte Daten: Prüfresultate. 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.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0577-4
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Kiesgemisch 0/45 OC85	Probeneingang	22.07.2021
Probenherkunft	IFF AG Niederbipp	Entnahmedatum	
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	
Baustelle		Unternehmung	
Bemerkungen	Forschungsprojekt VSS 220/335		
Feuchtraumdichte	2.354 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.249 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	82 %
Einbau-Wassergehalt	4.7 Masse-%	End-Wassergehalt²	6.0 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 20.09.2022 10:30 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
47.5	21.0	1.0	4.00 × 10 ⁻⁷	3.01 × 10 ⁻⁷
48.6	21.3	2.1	4.37 × 10 ⁻⁷	3.27 × 10 ⁻⁷
49.5	21.3	3.6	4.59 × 10 ⁻⁷	3.43 × 10 ⁻⁷
50.9	21.7	5.0	4.71 × 10 ⁻⁷	3.49 × 10 ⁻⁷
51.9	21.9	3.7	4.29 × 10 ⁻⁷	3.17 × 10 ⁻⁷
53.3	21.2	2.1	4.19 × 10 ⁻⁷	3.14 × 10 ⁻⁷
Mittelwert (Prüfresultat)	21.4	--	4.36 × 10⁻⁷	3.25 × 10⁻⁷

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 27.09.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0579_2
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Flussskies teilgebrochen	Probeneingang	13.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 4		
Feuchtraumdichte	2.309 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.190 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	82 %
Einbau-Wassergehalt	5.4 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.0 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 11.10.2022 08:00 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wassertemperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
25.8	20.5	0.5	5.86 × 10 ⁻⁵	4.47 × 10 ⁻⁵
26.2	20.5	1.0	5.27 × 10 ⁻⁵	4.02 × 10 ⁻⁵
26.6	20.5	0.5	5.37 × 10 ⁻⁵	4.09 × 10 ⁻⁵
27.1	20.6	0.2	5.45 × 10 ⁻⁵	4.14 × 10 ⁻⁵
Mittelwert (Prüfresultat)	20.5	--	5.49 × 10⁻⁵	4.18 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 13.10.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0579_3
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Flusskies teilgebrochen	Probeneingang	13.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 4		
Feuchtraumdichte	2.301 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.186 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	100 %
Einbau-Wassergehalt	5.3 Masse-%	End-Wassergehalt²	8.7 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 17.04.2023 09:40 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
27.8	20.5	0.2	4.50 × 10 ⁻⁵	3.43 × 10 ⁻⁵
28.4	20.5	0.3	4.75 × 10 ⁻⁵	3.62 × 10 ⁻⁵
28.8	20.4	0.6	4.76 × 10 ⁻⁵	3.63 × 10 ⁻⁵
29.5	20.4	0.4	4.74 × 10 ⁻⁵	3.62 × 10 ⁻⁵
Mittelwert (Prüfresultat)	20.5	--	4.69 × 10⁻⁵	3.58 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 19.04.2023
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0578_2
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Feuchtraumdichte	2.184 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.064 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	99 %
Einbau-Wassergehalt	5.8 Masse-%	End-Wassergehalt²	11.6 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 17.01.2023 11:40 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
21.0	20.1	0.2	1.24×10^{-5}	0.96×10^{-5}
21.8	20.0	0.7	1.09×10^{-5}	8.43×10^{-6}
22.3	19.9	1.1	1.06×10^{-5}	8.22×10^{-6}
22.9	19.9	1.5	1.09×10^{-5}	8.42×10^{-6}
23.9	19.7	0.7	1.14×10^{-5}	8.88×10^{-6}
23.5	19.7	1.1	1.11×10^{-5}	8.66×10^{-6}
Mittelwert (Prüfresultat)	19.9	--	1.12×10^{-5}	8.69×10^{-6}

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 19.01.2023
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0578_4
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Kiesgemisch B	Probeneingang	12.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	12.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 5		
Feuchtraumdichte	2.185 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.063 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	87 %
Einbau-Wassergehalt	5.9 Masse-%	End-Wassergehalt²	10.2 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 15.03.2023 08:00 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
23.9	21.3	0.3	8.69 × 10 ⁻⁶	6.49 × 10 ⁻⁶
25.5	21.1	0.8	8.70 × 10 ⁻⁶	6.54 × 10 ⁻⁶
26.0	21.1	1.2	8.25 × 10 ⁻⁶	6.20 × 10 ⁻⁶
26.4	21.1	1.6	8.33 × 10 ⁻⁶	6.25 × 10 ⁻⁶
26.8	21.0	1.2	8.07 × 10 ⁻⁶	6.08 × 10 ⁻⁶
27.4	21.1	0.8	7.94 × 10 ⁻⁶	5.96 × 10 ⁻⁶
Mittelwert (Prüfresultat)	21.1	--	8.33 × 10⁻⁶	6.25 × 10⁻⁶

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 17.03.2023
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0576_6
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies teilgebrochen	Probeneingang	11.08.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	11.08.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 9		
Feuchtraumdichte	2.339 Mg/m ³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.238 Mg/m ³	Prüfkörpervolumen	2180 cm ³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	78 %
Einbau-Wassergehalt	4.5 Masse-%	End-Wassergehalt²	6.5 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m ³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 03.10.2022 10:00 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
45.8	19.8	1.0	2.49 × 10 ⁻⁶	1.93 × 10 ⁻⁶
46.7	19.8	1.5	2.49 × 10 ⁻⁶	1.93 × 10 ⁻⁶
47.5	19.9	1.8	2.44 × 10 ⁻⁶	1.88 × 10 ⁻⁶
48.3	20.1	1.4	2.47 × 10 ⁻⁶	1.90 × 10 ⁻⁶
49.3	20.1	0.9	2.18 × 10 ⁻⁶	1.68 × 10 ⁻⁶
Mittelwert (Prüfresultat)	19.9	--	2.41 × 10⁻⁶	1.86 × 10⁻⁶

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 06.10.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.22.0194_1
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	22.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	RC-Betongranulatgemisch	Probeneingang	22.03.2022
Probenherkunft		Entnahmedatum	14.07.2021
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	TFB
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 11		
Feuchtraumdichte	1.984 Mg/m ³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	1.837 Mg/m ³	Prüfkörpervolumen	2180 cm ³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	98 %
Einbau-Wassergehalt	8.1 Masse-%	End-Wassergehalt²	16.8 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	0.6 MJ/m ³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke I (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 24.03.2022 10:30 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
22.6	21.6	0.3	1.45 × 10 ⁻⁵	1.08 × 10 ⁻⁵
23.1	21.5	0.5	1.43 × 10 ⁻⁵	1.07 × 10 ⁻⁵
23.5	21.6	0.8	1.42 × 10 ⁻⁵	1.05 × 10 ⁻⁵
24.0	21.5	1.1	1.40 × 10 ⁻⁵	1.04 × 10 ⁻⁵
24.5	21.5	0.8	1.28 × 10 ⁻⁵	9.50 × 10 ⁻⁶
25.1	21.6	0.5	1.20 × 10 ⁻⁵	8.94 × 10 ⁻⁶
25.6	21.7	0.2	1.15 × 10 ⁻⁵	8.51 × 10 ⁻⁶
Mittelwert (Prüfresultat)	21.6	--	1.33 × 10⁻⁵	0.99 × 10⁻⁵

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 25.03.2022
Laborant kam

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0575_2
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Felsmaterial Jura	Probeneingang	20.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	18.07.2021
Entnahmeort	ab Band	Entnahme durch	
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 16		
Feuchtraumdichte	2.352 Mg/m³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.263 Mg/m³	Prüfkörpervolumen	2180 cm³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	77 %
Einbau-Wassergehalt	3.9 Masse-%	End-Wassergehalt²	5.5 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 30.08.2022 08:35 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
23.7	22.7	0.4	2.79×10^{-6}	2.02×10^{-6}
24.3	22.7	0.8	2.84×10^{-6}	2.05×10^{-6}
25.1	22.7	1.4	2.87×10^{-6}	2.08×10^{-6}
25.6	22.8	1.9	3.75×10^{-6}	2.71×10^{-6}
26.3	22.9	1.4	3.80×10^{-6}	2.74×10^{-6}
26.9	23.0	0.8	3.97×10^{-6}	2.85×10^{-6}
Mittelwert (Prüfresultat)	22.8	--	3.34×10^{-6}	2.41×10^{-6}

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 01.09.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1



BSL Baustofflabor AG
Postgässli 23a / Postfach
3661 Uetendorf
Tel 058 226 84 44 / Fax 058 226 84 40
info@baustofflabor.ch



Wasserdurchlässigkeit (k-Wert nach Darcy)

SN EN ISO 17892-11

Auftraggeber	BSL Baustofflabor AG	Probennummer	M.21.0581_2
Adresse	Postgässli 23 a 3661 Uetendorf	Auftragsnummer	21.00001
		Berichtsausgabe	Nr. 1
Probenbezeichnung	Wandkies rund	Probeneingang	21.07.2021
Probenherkunft		Entnahmedatum	
Entnahmeort	ab Depot	Entnahme durch	BSL/ef
Baustelle	VSS 2020/335	Unternehmung	
Bemerkungen	Material Nr. 40		
Feuchtraumdichte	2.261 Mg/m ³	Prüfkörperabmessung	Zylinder (D=15; h=12.5 cm)
Trockenraumdichte	2.164 Mg/m ³	Prüfkörpervolumen	2180 cm ³
Geprüfte Kornklasse	0/16 mm	Sättigungsgrad²	79 %
Einbau-Wassergehalt	4.5 Masse-%	End-Wassergehalt²	7.0 Masse-%
¹ bei Verdichtung		² nach Beendigung des Durchlässigkeitsversuch	
Prüfkörperherstellung	Berechnung Probenmenge bezogen auf max. Trockendichte gem. Proctorversuch nach EN 13286-2		
Verdichtung	Verdichtung mit dem Proctorhammer		
Verdichtungsenergie	1.2 MJ/m ³ (Referenzwert)		
Ziel-Trockendichte	100% Proctordichte		
Ziel-Wassergehalt	70% opt. Wassergehalt Proctor		
Versuchsmethode	Durchlässigkeitsversuch im Proctortopf B. Durchströmung der Probe mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben bei konstantem Wasserdruck. Messung des Wasserdrucks (hydraulischer Gradient) am unteren und oberen Ende der Sickerstrecke l (=8.8 cm).		

Prüfresultate

Versuchsbeginn 01.12.2022 10:45 (Start Wassersättigung)

Versuchsdauer nach Sättigungsbeginn [h]	Wasser-temperatur ³ [°C]	Hydraulischer Gradient ⁴ [-]	k-Wert [m/s]	k ₁₀ -Wert (korrigiert auf T _{H2O} = 10°C) [m/s]
22.6	21.4	0.3	4.90 × 10 ⁻⁶	3.65 × 10 ⁻⁶
23.5	21.2	0.9	5.27 × 10 ⁻⁶	3.95 × 10 ⁻⁶
24.0	21.2	1.4	4.99 × 10 ⁻⁶	3.74 × 10 ⁻⁶
24.5	21.1	1.9	4.65 × 10 ⁻⁶	3.49 × 10 ⁻⁶
24.9	21.0	1.4	4.58 × 10 ⁻⁶	3.45 × 10 ⁻⁶
25.3	21.0	0.9	4.60 × 10 ⁻⁶	3.46 × 10 ⁻⁶
Mittelwert (Prüfresultat)	21.2	--	4.83 × 10⁻⁶	3.62 × 10⁻⁶

³ Wassertemperatur = Raumtemperatur

⁴ Quotient aus Wasserdruck [cmWS] und Sickerstrecke [cm]

Berichtsdatum 05.12.2022
Laborant ef

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

V.28.04.2021

Seite 1 von 1

III.3 Laborprüfberichte TFB

III.3.1 Korngrössenverteilung



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

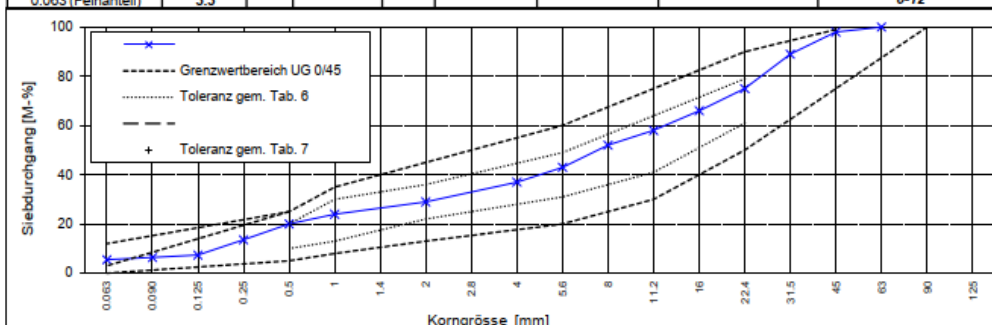
Wildeg, 5. Oktober 2023

Prüfbericht:

Ungebundene Gemische nach SN 670 119-NA, EN 13242 / EN 13285
Siebanalyse nach SN 670 902-1b bzw. SN EN 933-1 / SOP 3073

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Probenart	UG 0/45	Entnahmedatum	14.07.2021
Projekt-Nr.	213704-03	Eingang Labor	14.07.2021
Entnahmeort	Provenienz/Material 2 - UG 0/45 - Wandkies gebrochen	Prüfdatum	30.07.2021
Verfahren	Nasssiebung	geprüft durch	st/ck

Verfahren	Masssiebung	Siebdurchgang [Massen-%]				geprüft durch	Stück	
Siebweite [mm]	Proben-Nr. TFB	Differenzen Δ der Siebdurchgänge SN EN 13285, Tab. 8			Vom Liefer- anten ange- gebener Wert S	Zul. Bereich für Wert S, SN EN 13285, Tab. 6	Zul. Abweichung zum Wert S, SN EN 13285, Tab. 7	Grenzwert- bereich Kat. G _c SN 670 119-NA, Tab. 4
		Sieb	Δ effektiv	Δ zul.				
125.0								100
90.0								
63.0	100							
45.0	98							75-99
31.5	89							
22.4	75	A	A-B = 17	7-30		61-79		50-90
16.0	66							
11.2	58	B	B-C = 15	7-30		41-64		30-75
8.0	52							
5.6	43	C	C-E = 14	7-20		31-49		20-60
4.0	37							
2.0	29	E	E-F = 5	4-15		22-36		13-45
1.0	24	F				13-30		8-35
0.5	20	G				10-20		5-25
0.25	13.6							
0.125	7.4							
0.063 (Feinanteil)	5.5							0-12



Frostbeständigkeit: Der Nachweis der Frostbeständigkeit ist erforderlich (SN 670 119-NA, Ziffer 26).
Beurteilung: Nach SN 670 119-NA Tab. 4 - es handelt sich um ein ungebundenes Gemisch
Nach SN EN 13285 Tab. 6 - es handelt sich um ein ungebundenes Gemisch
Nach SN EN 13285 Tab. 8 - es handelt sich um ein ungebundenes Gemisch
Wassergehalt: 2% gemäss SN 670 903-5b bzw. SN EN 1097-5

LaborErdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen
Katja von Allmen



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.

3073aPBd V21

Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildeg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



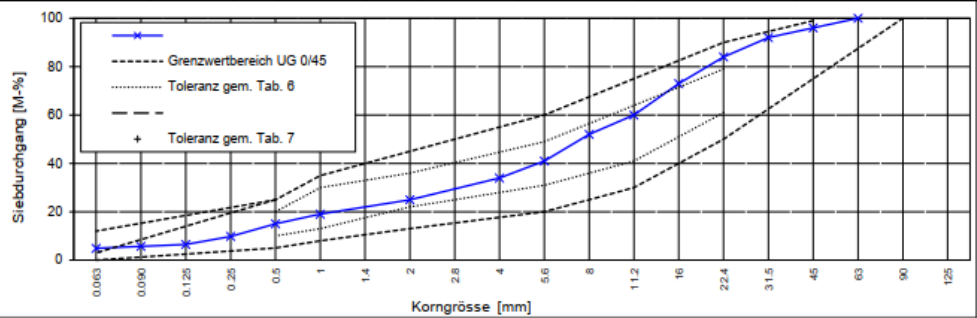
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 12. Mai 2022

Prüfbericht:
Ungebundene Gemische nach SN 670 119-NA, EN 13242 / EN 13285
Siebanalyse nach SN 670 902-1b bzw. SN EN 933-1 / SOP 3073

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Probenart	UG 0/45	Entnahmedatum	14.07.2021
Projekt-Nr.	213704-02	Eingang Labor	14.07.2021
Entnahmeort	RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz 11	Prüfdatum	02.08.2021
Verfahren	Nasssiebung	geprüft durch	st/ck

Siebweite [mm]	Siebdurchgang [Massen-%]							
	Proben-Nr. TFB	Differenzen Δ der Siebdurchgänge SN EN 13285, Tab. 8			Vom Liefer- anten ange- gebener Wert S	Zul. Bereich für Wert S, SN EN 13285, Tab. 6	Zul. Abweichung zum Wert S, SN EN 13285, Tab. 7	Grenzwert- bereich Kat. G _c SN 670 119-NA, Tab. 4
		Sieb	Δ effektiv	Δ zul.				
125.0								100
90.0								
63.0	100							75-99
45.0	96							
31.5	92							50-90
22.4	84	A	A-B = 24	7-30		61-79		
16.0	73							30-75
11.2	60	B	B-C = 19	7-30		41-64		
8.0	52							20-60
5.6	41	C	C-E = 16	7-20		31-49		
4.0	34							13-45
2.0	25	E	E-F = 6	4-15		22-36		
1.0	19	F				13-30		8-35
0.5	15	G				10-20		5-25
0.25	9.8							
0.125	6.5							
0.063 (Feinanteil)	4.9							0-12



Frostbeständigkeit: Der Nachweis der Frostbeständigkeit ist erforderlich (SN 670 119-NA, Ziffer 26).
Beurteilung: Nach SN 670 119-NA Tab. 4 - es handelt sich um ein ungebundenes Gemisch
Nach SN EN 13285 Tab. 6 - es handelt sich nicht um ein ungebundenes Gemisch
Nach SN EN 13285 Tab. 8 - es handelt sich um ein ungebundenes Gemisch
Wassergehalt: 3.3% gemäss SN 670 903-5b bzw. SN EN 1097-5

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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.



3073aPBd V21

Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



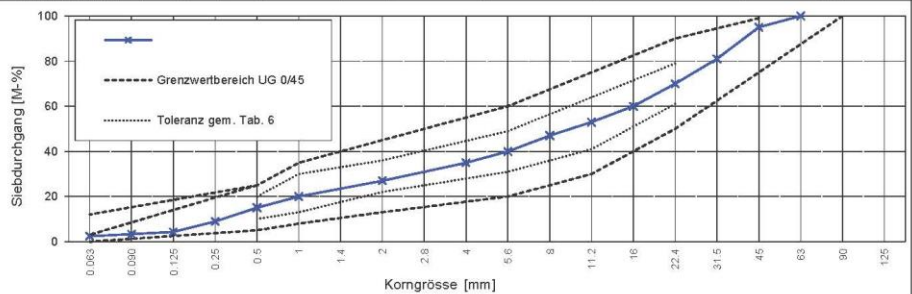
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 23. Juni 2022

Prüfbericht:
Ungebundene Gemische nach SN 670 119-NA, EN 13242 / EN 13285
Siebanalyse nach SN 670 902-1b bzw. SN EN 933-1 / SOP 3073

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Probenart	UG 0/45 - Material 12	Entnahmedatum	21.07.2021
Projekt-Nr.	213704-04	Eingang Labor	21.07.2021
Entnahmeort	UG 0/45 -Felsmaterial - Material 12	Prüfdatum	22.12.2021
Verfahren	Nasssiebung	geprüft durch	vb

Siebweite [mm]	Proben-Nr. TFB	Siebdurchgang [Masse-%]			Vom Liefer- anten ange- gebener Wert S	Zul. Bereich für Wert S, SN EN 13285, Tab. 6	Zul. Abweichung zum Wert S, SN EN 13285, Tab. 7	Grenzwert- bereich Kat. G _c SN 670 119-NA, Tab. 4
		Sieb	Δ effektiv	Δ zul.				
125.0								100
90.0								
63.0	100							
45.0	95							75-99
31.5	81							
22.4	70	A	A-B = 17	7-30		61-79		50-90
16.0	60							
11.2	53	B	B-C = 13	7-30		41-64		30-75
8.0	47							
5.6	40	C	C-E = 13	7-20		31-49		20-60
4.0	35							
2.0	27	E	E-F = 7	4-15		22-36		13-45
1.0	20	F				13-30		8-35
0.5	15	G				10-20		5-25
0.25	8.9							
0.125	4.3							
0.063 (Feinanteil)	2.4							0-12



Wassergehalt: 3.8% gemäss SN 670 903-5b bzw. SN EN 1097-5

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



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.

3073aPBd V21

Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



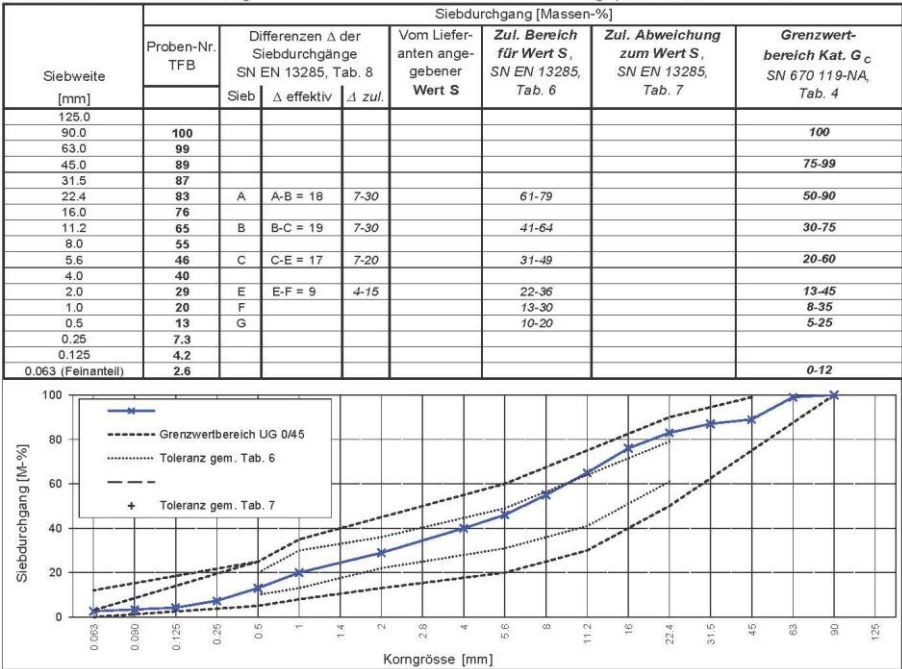
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung
Portfoliomangement
3003 Bern

Wildeg, 21. Juli 2022

Prüfbericht:

Ungebundene Gemische nach SN 670 119-NA, EN 13242 / EN 13285
Siebanalyse nach SN 670 902-1b bzw. SN EN 933-1 / SOP 3073

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Probenart	UG 0/45	Entnahmedatum	13.12.2021
Projekt-Nr.	213704-09	Eingang Labor	13.12.2021
Entnahmeort	UG 0/45 - Kiesgemisch rund - Provenienz/Material 24	Prüfdatum	04.07.2022
Verfahren	Nasssiebung	geprüft durch	ck



Wassergehalt: 2.8% gemäss SN 670 903-5b bzw. SN EN 1097-5

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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.

3073aPBd V21



Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildeg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

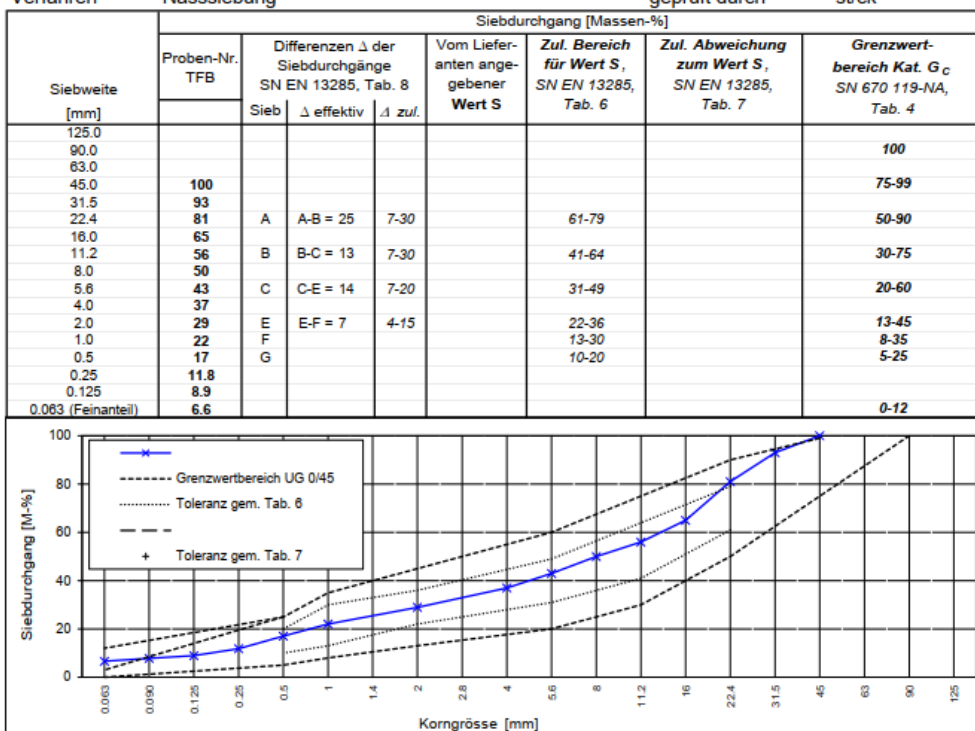
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildeg, 11. Juli 2023

Prüfbericht:

Ungebundene Gemische nach SN 670 119-NA, EN 13242 / EN 13285
Siebanalyse nach SN 670 902-1b bzw. SN EN 933-1 / SOP 3073

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Probenart	UG 0/45	Entnahmedatum	12.07.2021
Projekt-Nr.	213704-01	Eingang Labor	12.07.2021
Entnahmeort	RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz/Mat. 26	Prüfdatum	27.07.2021
Verfahren	Nasssiebung	geprüft durch	st/ck



Frostbeständigkeit: Der Nachweis der Frostbeständigkeit ist erforderlich (SN 670 119-NA, Ziffer 26).
Beurteilung: Nach SN 670 119-NA Tab. 4 - es handelt sich nicht um ein ungebundenes Gemisch
 Nach SN EN 13285 Tab. 6 - es handelt sich nicht um ein ungebundenes Gemisch
 Nach SN EN 13285 Tab. 8 - es handelt sich um ein ungebundenes Gemisch
Wassergehalt: 6% gemäss SN 670 903-5b bzw. SN EN 1097-5

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

Die Prüfergebnisse haben nur Gültigkeit für die untersuchten Proben. Dieser Bericht darf nicht auszugsweise kopiert werden. Unzuständige 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.

3073aPBd V21



Seite 1 von 1

 TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildeg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung
Portfoliomangement
3003 Bern



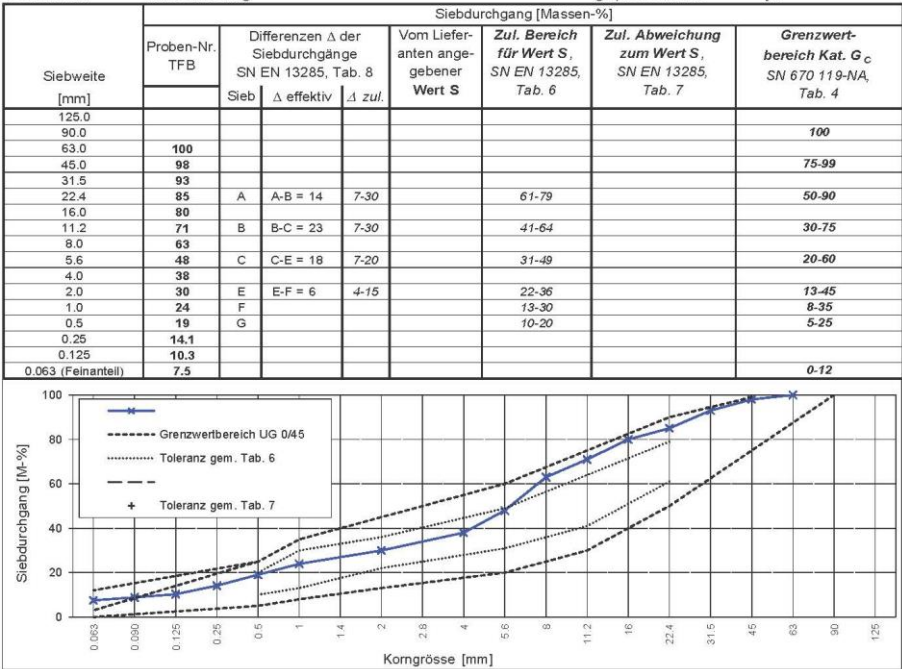
Katja von Allmen

Wildeg, 30. August 2022

Prüfbericht:

Ungebundene Gemische nach SN 670 119-NA, EN 13242 / EN 13285
Siebanalyse nach SN 670 902-1b bzw. SN EN 933-1 / SOP 3073

Projekt VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Probenart UG 0/45
Projekt-Nr. 213704-07
Entnahmeort RC-Kiesgemisch B 0/45 - Provenienz/Material 29
Verfahren Nasssiebung
Probenahme durch Auftraggeber
Entnahmedatum 13.12.2021
Eingang Labor 13.12.2021
Prüfdatum 08.02.2022
geprüft durch jk



Wassergehalt: 5.7% gemäss SN 670 903-5b bzw. SN EN 1097-5

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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.

3073aPBd V21



Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildeg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



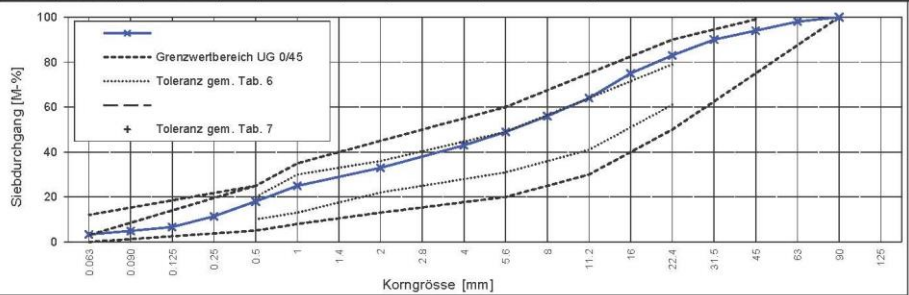
Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildeg, 4. November 2021

Prüfbericht:
Ungebundene Gemische nach SN 670 119-NA, EN 13242 / EN 13285
Siebanalyse nach SN 670 902-1b bzw. SN EN 933-1 / SOP 3073

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Probenart	UG 0/45	Entnahmedatum	16.09.2021
Projekt-Nr.	213704-06	Eingang Labor	17.09.2021
Entnahmeort	Provenienz/Material 33 - UG 0/45 - Felsmaterial	Prüfdatum	22.09.2021
Verfahren	Nasssiebung	geprüft durch	jk/vb

Siebweite [mm]	Proben-Nr. TFB	Siebdurchgang [Massen-%]					Grenzwert- bereich Kat. G _c SN 670 119-NA, Tab. 4
		Differenzen Δ der Siebdurchgänge SN EN 13285, Tab. 8		Vom Liefer- anten ange- gebener Wert S	Zul. Bereich für Wert S, SN EN 13285, Tab. 6	Zul. Abweichung zum Wert S, SN EN 13285, Tab. 7	
		Sieb	Δ effektiv				
125.0							
90.0	100						100
63.0	98						
45.0	94						75-99
31.5	90						
22.4	83	A	A-B = 19	7-30	61-79		50-90
16.0	75						
11.2	64	B	B-C = 15	7-30	41-64		30-75
8.0	56						
5.6	49	C	C-E = 16	7-20	31-49		20-60
4.0	43						
2.0	33	E	E-F = 8	4-15	22-36		13-45
1.0	25	F			13-30		8-35
0.5	18	G			10-20		5-25
0.25	11.4						
0.125	6.6						
0.063 (Feinanteil)	3.3						0-12



Wassergehalt: 3.3% gemäss SN 670 903-5b bzw. SN EN 1097-5

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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.

3073aPBd V21

III.3.2 Proctor 0.6 MJ/m³



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

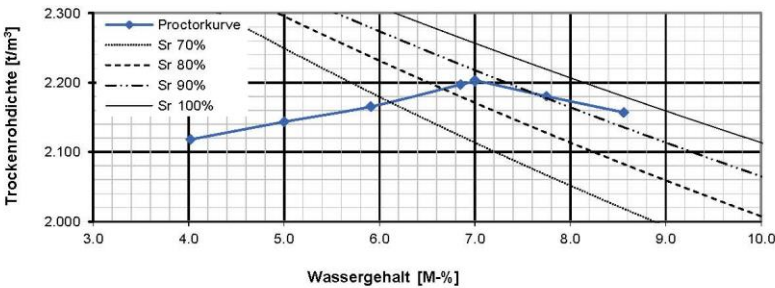
gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-03
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Entnahmeort: UG 0/45 - Material 2
Probenart: UG 0/45 - Kiesgemisch teilgebrochen - Provenienz 2
Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

Herstelldatum Proctoren: 05.08.2021 Visum: ck
Anteil >16mm: 34 [M-%] *Wassergehalt >16mm 0.3 [M-%]
Anteil <16mm: 66 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)
Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 0.6 (3 Schichten mit je 63 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Wassergehalt w_s [M-%]	4.0	5.0	5.9	6.9	7.0	7.0	7.8	8.6
Masse Probe G [g]	5204.0	5316.0	5417.0	5545	5564.0	5568.0	5549	5531
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.203	2.251	2.293	2.348	2.356	2.357	2.349	2.342
Trockendichte ρ_d [t/m³]	2.118	2.143	2.165	2.197	2.202	2.203	2.180	2.157
Sättigungsgrad S_r [%]	41	54	67	84	86	87	91	95



Proctorkurve
opt. Wassergehalt w 7.0 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 2.203 Mg/m³
Berechnung Gesamtprobe
opt. Wassergehalt w' 4.722 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 2.274 Mg/m³
Kornrohndichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Chris Kirchberger

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.



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-02 Probenahme durch: TFB
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335 Entnahmedatum: 14.07.2021
 Entnahmeort: UG 0/45 / Provenienz 11 Eingang Labor: 14.07.2021
 Probenart: RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Material 11 geprüfte Kornkl.: 0/16
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

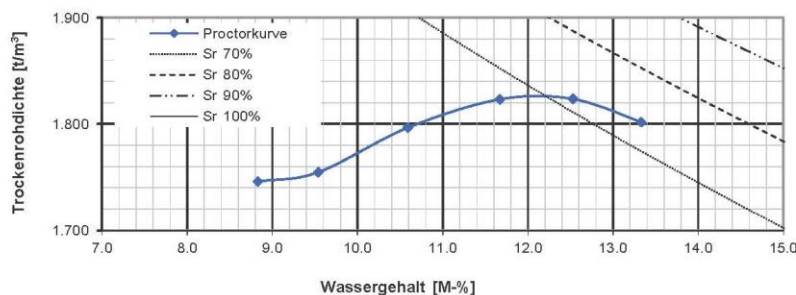
Herstelldatum Proctoren: 09.11.2021 Visum: jk

Anteil >16mm: 27 [M-%] *Wassergehalt >16mm 0.5 [M-%]
 Anteil <16mm: 73 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 0.6 (3 Schichten mit je 63 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_e [M-%]	8.8	9.5	10.6	11.7	12.5	13.3	
Masse Probe G [g]	4488	4540	4693	4809	4847	4823	
Feuchtdichte ρ [t/m³]	1.900	1.922	1.987	2.036	2.052	2.042	
Trockendichte ρ_d [t/m³]	1.746	1.755	1.797	1.823	1.824	1.802	
Sättigungsgrad S_r [%]	44	48	58	67	72	73	



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w 12.2 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 1.827 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w' 9.041 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 1.990 Mg/m³
 Kornrohdichte (geschätzt) 2.70 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



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.

3392aPBd V15 213704-02 Proctor 0.6MJ-m3 RC-Betongranulatgemisch 0-45 - Mat 11 / 29.08.2022

5 von 5

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.:	213704-04	Probenahme durch:	TFB
Objekt/Projekt:	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Entnahmedatum:	21.07.2021
Entnahmeort:	UG 0/45 - Material 12	Eingang Labor:	21.07.2021
Probenart:	Felsmaterial 0/45 - Provenienz 12	geprüfte Kornkl.:	0/16
Autraggeber:	Bundesamt für Strassen (ASTRA) Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern		

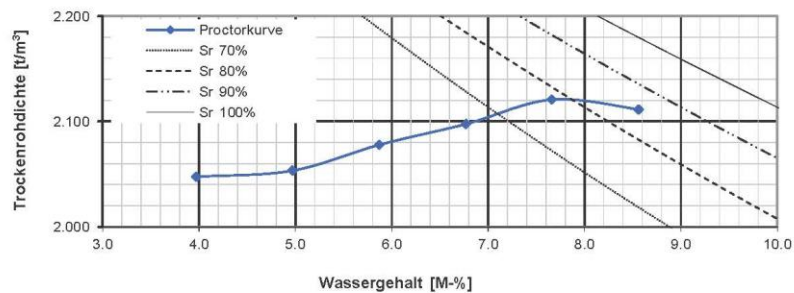
Herstelldatum Proctoren: 10.11.2021 Visum: jk

Anteil >16mm:	40 [M-%]	*Wassergehalt >16mm	0.5 [M-%]
Anteil <16mm:	60 [M-%]	*geschätzt	

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 0.6 (3 Schichten mit je 63 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_a [M-%]	4.0	5.0	5.9	6.8	7.7	8.6	
Mass Probe G [g]	5028	5091	5196	5290	5393	5414	
Feuchtdichte ρ [t/m ³]	2.129	2.155	2.200	2.240	2.283	2.292	
Trockendichte ρ_d [t/m ³]	2.047	2.053	2.078	2.098	2.121	2.111	
Sättigungsgrad S_r [%]	34	44	54	65	78	85	



Proctorkuве	
opt. Wassergehalt w	7.9 [M-%]
max. Trockendichte ρ _d	2.122 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe	
opt. Wassergehalt w'	4.94 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d	2.238 Mg/m ³
Kornrohdichte (geschätzt)	2.68 Mg/m ³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



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.ltb.ch

3392aPBd V15

213704-04 Proctor 0.6 MJ-m3 / 15.09.2022

5 von 5

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.:	213704-09	Probenahme durch:	Werkspersonal
Objekt/Projekt:	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Entnahmedatum:	13.12.2022
Entnahmeort:	UG 0/45 - Provenienz 24	Eingang Labor:	13.12.2022
Probenart:	Kiesgemisch rund - Material 24	geprüfte Kornkl.:	0/16
Autraggeber:	Bundesamt für Strassen (ASTRA)		
	Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern		

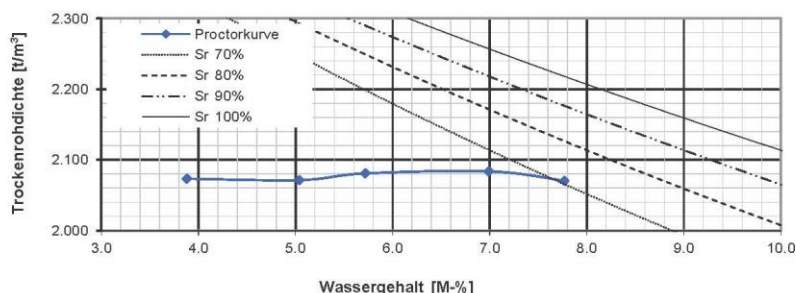
Herstelldatum Proctoren: 19.08.2022 Visum: jk

Anteil >16mm:	24 [M-%]	*Wassergehalt >16mm	0.3 [M-%]
Anteil <16mm:	76 [M-%]	*geschätzt	

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 0.6 (3 Schichten mit je 63 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_s [M-%]	3.9	5.0	5.7	7.0	7.8		
Masse Probe G [g]	5087	5139	5196	5266	5270		
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.154	2.176	2.200	2.229	2.231		
Trockendichte ρ_d [t/m³]	2.073	2.071	2.081	2.084	2.070		
Sättigungsgrad S_r [%]	36	46	53	65	71		



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w 7.0 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.084 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w^* 5.392 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.163 Mg/m³
 Kornrohdichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



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.

3392aPBd V15

213704-09 Proctorkurve 0.6 MJ-m3 - A-24-1 / 29.08.2022

5 von 5

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-01
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Probenart: UG 0/45 - Material 26
 Entnahmeort: RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz 26
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Probenahme durch: Werkspersonal
 Entnahmedatum: 12.07.2021
 Eingang Labor: 12.07.2021
 geprüfte Kornkl.: 0/16
 Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

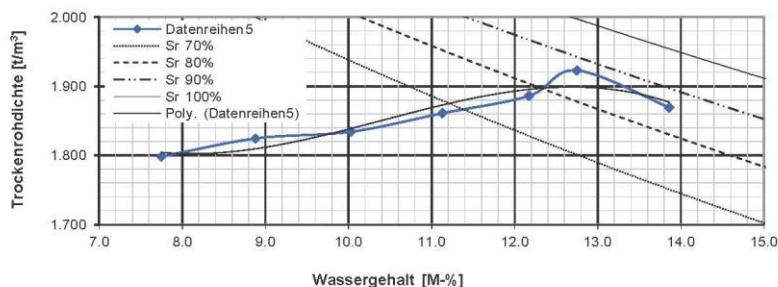
Herstelldatum Proctoren: 15.06.2022 Visum: jk

Anteil >16mm: 35 [M-%]
 Anteil <16mm: 65 [M-%]
 *Wassergehalt >16mm: 0.8 [M-%]
 *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 0.6 (3 Schichten mit je 63 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7	7
Wassergehalt w_e [M-%]	7.8	8.9	10.0	11.1	12.2	12.8	13.9	
Masse Probe G [g]	4577	4692	4767	4885	4997	5121	5027	
Feuchtdichte ρ [t/m³]	1.938	1.986	2.018	2.068	2.116	2.168	2.128	
Trockendichte ρ_d [t/m³]	1.798	1.824	1.834	1.861	1.886	1.923	1.869	
Sättigungsgrad S_r [%]	42	51	58	68	77	87	86	



Resultat gemäss Proctorkurve (Ausgl.):

opt. Wassergehalt w 12.7 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 1.901 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe

opt. Wassergehalt w' 8.535 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.086 Mg/m³
 Kornrohdichte (geschätzt) 2.7 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen
 Katja von Allmen



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.

3392aPBd V18

213704-01 Proctorkurve 0.6 - copy me for Frost / 29.08.2022

5 von 5

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Proctorversuch
gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-07
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Probenart: UG 0/45 - Material 29
Entnahmeort: RC Kiesgemisch B 0/45 - Provenienz 29
Ausgabgeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

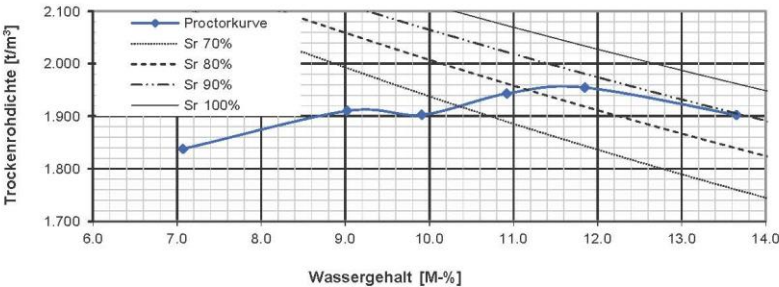
Probenahme durch: Werkspersonal
Entnahmedatum: 13.12.2021
Eingang Labor: 13.12.2021
geprüfte Kornkl.: 0/16

Herstelldatum Proctoren: 09.06.2022 Visum: jk

Anteil >16mm: 20 [M-%] *Wassergehalt >16mm 0.7 [M-%]
Anteil <16mm: 80 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)
Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 0.6 (3 Schichten mit je 63 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	2	3	4	5	6	7	7
Wassergehalt w_e [M-%]	7.1	9.0	9.9	10.92	11.9	13.7	
Masse Probe G [g]	4648	4919	4940	5091	5164	5107	
Feuchtdichte ρ [t/m³]	1.968	2.083	2.091	2.155	2.186	2.162	
Trockendichte ρ_d [t/m³]	1.838	1.910	1.903	1.943	1.955	1.902	
Sättigungsgrad S_r [%]	41	60	65	77	86	90	



Resultat gemäss Proctorkurve:
opt. Wassergehalt w 11.8 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 1.956 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
opt. Wassergehalt w 9.58 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 2.051 Mg/m³
Kornrohdichte (geschätzt) 2.7 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



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.

3392aPBd V18

213704-07 Proctorkurve 0.6 - Mat 29 / 29.08.2022

5 von 5

TFB AG - Lindenstrasse 10 - CH-5103 Wildegg - Tel 062 887 72 72 - Fax 062 887 72 70 - www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-06
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmeort: Material 33
 Probenart: Provenienz 33 - UG 0/45 - Felsmaterial
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Probenahme durch: Werkspersonal
 Entnahmedatum: 13.09.2021
 Eingang Labor: 16.09.2021
 geprüfte Kornkl.: 0/16
 Abteilung Strassenetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

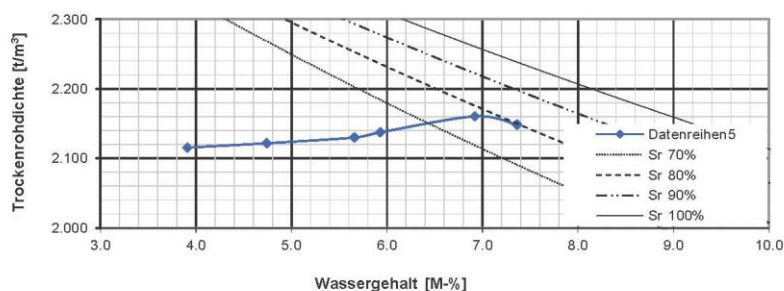
Herstelldatum Proctoren: 07.10.2021 Visum: jk

Anteil >16mm: 25 [M-%]
 Anteil <16mm: 75 [M-%]
 *Wassergehalt >16mm: 0.5 [M-%]
 *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 0.6 (3 Schichten mit je 63 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_e [M-%]	3.9	4.7	5.7	5.9	6.9	7.4	
Masse Probe G [g]	5192	5249	5316	5348	5456	5448	
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.198	2.222	2.251	2.264	2.310	2.307	
Trockendichte ρ_d [t/m³]	2.115	2.122	2.130	2.137	2.160	2.148	
Sättigungsgrad S_r [%]	39	48	59	63	77	80	



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w' 6.9 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.160 Mg/m³
 Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w' 5.3 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.223 Mg/m³
 Kornrohdichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Chris Kirchberger



Katja von Allmen



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.

3392aPBd V15

213704-06 Proctor 0.6MJ-m3 UG 0-45 / 04.11.2021

5 von 5

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch

III.3.3 Proctor 1.2 MJ/m³

Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-03
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmeort: UG 0/45 - Material 2
 Probenart: UG 0/45 - Kiesgemisch teilgebrochen - Provenienz 2
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

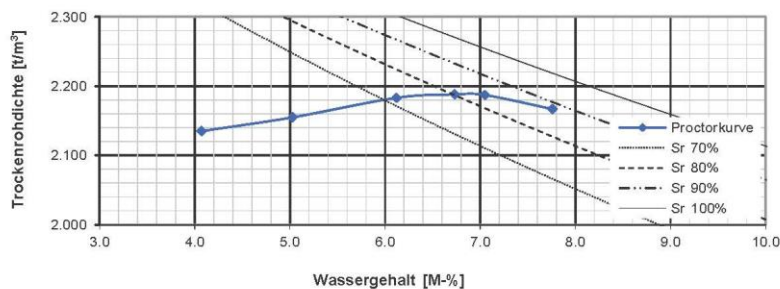
Herstelldatum Proctoren: 14.10.2022 Visum: jk

Anteil >16mm: 34 [M-%] *Wassergehalt >16mm 0.3 [M-%]
 Anteil <16mm: 66 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 1.2 (5 Schichten mit je 28 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_e [M-%]	4.1	5.0	6.12	6.7	7.05	7.8	
Masse Probe G [g]	5248	5346	5472	5516	5530	5515	
Feuchtdichte ρ [t/m ³]	2.222	2.263	2.317	2.335	2.341	2.335	
Trockendichte ρ_d [t/m ³]	2.135	2.155	2.183	2.188	2.187	2.167	
Sättigungsgrad S_r [%]	43	55	72	80	84	88	



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w 6.7 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.188 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w 4.524 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.264 Mg/m³
 Kornrohdichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



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

3392aPBd V15

213704-03 Proctor 1.2 und CBRs / 01.03.2023

5 von 5

 TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-02 Probenahme durch: TFB
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335 Entnahmedatum: 14.07.2021
 Entnahmeort: UG 0/45 / Material 11 Eingang Labor: 14.07.2021
 Probenart: RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz 1geprüfte Kornkl.: 0/16
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Abteilung Strassenetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

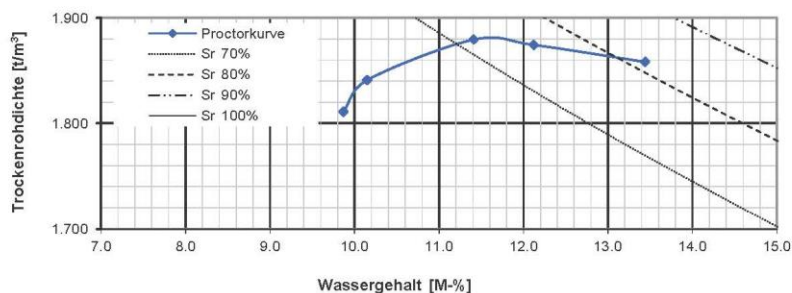
Herstelldatum Proctoren: 13.10.2022 Visum: jk

Anteil >16mm: 27 [M-%] *Wassergehalt >16mm: 0.5 [M-%]
 Anteil <16mm: 73 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 1.2 (5 Schichten mit je 28 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_e [M-%]	9.9	10.2	11.4	12.1	13.4		
Masse Probe G [g]	4700	4790	4946	4964	4979		
Feuchtdichte ρ [t/m³]	1.990	2.028	2.094	2.102	2.108		
Trockendichte ρ_d [t/m³]	1.811	1.841	1.880	1.874	1.858		
Sättigungsgrad S_r [%]	55	60	72	76	81		



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w 11.6 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 1.881 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w 8.603 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.024 Mg/m³
 Kornrohddichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen
Katja von Allmen



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

3392aPBd V15

213704-02 Proctorkurve 1.2 und CBRs - Mat 11 / 21.11.2022

5 von 5

 TFB AG - Lindenstrasse 10 - CH-5103 Wildegg - Tel 062 887 72 72 - Fax 062 887 72 70 - www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-04 Probenahme durch: TFB
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335 Entnahmedatum: 21.07.2021
 Entnahmekort: UG 0/45 - Provenienz 12 Eingang Labor: 21.07.2021
 Probenart: Felsmaterial 0/45 - Material 12 geprüfte Kornkl.: 0/16
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

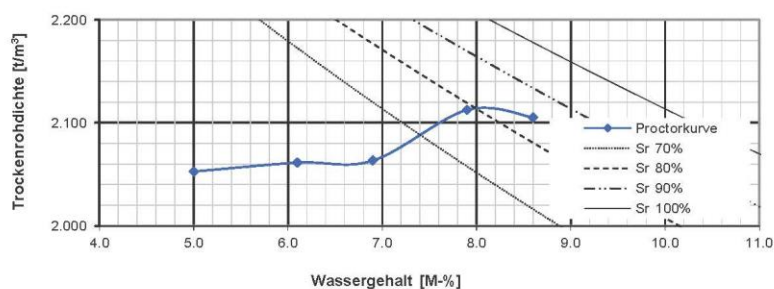
Herstelldatum Proctoren: 24.11.2022 Visum: ck

Anteil >16mm: 40 [M-%] *Wassergehalt >16mm 0.5 [M-%]
 Anteil <16mm: 60 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 1.2 (5 Schichten mit je 28 Schlägen)

PK	5	6	7	8	9	6	7
Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5		
Wassergehalt w_e [M-%]	5.0	6.1	6.9	7.9	8.6		
Masse Probe G [g]	5091	5166	5210	5384	5400		
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.155	2.187	2.206	2.279	2.286		
Trockendichte ρ_d [t/m³]	2.053	2.061	2.063	2.113	2.105		
Sättigungsgrad S_r [%]	44	54	62	79	84		



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w' 8.0 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.115 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w' 5 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.234 Mg/m³
 Kornrohndichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen
 Katja von Allmen



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.

3392aPBd V15

213704-04 Proctorkurve 1.2 und CBRs / 11.04.2023

5 von 5

 TFB AG - Lindenstrasse 10 - CH-5103 Wildegg - Tel 062 887 72 72 - Fax 062 887 72 70 - www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-09 Probenahme durch: Werkspersonal
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335 Entnahmedatum: 13.12.2022
Entnahmeort: UG 0/45 - Provenienz 24 Eingang Labor: 13.12.2022
Probenart: Kiesgemisch rund - Material 24 geprüfte Kornkl.: 0/16
Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

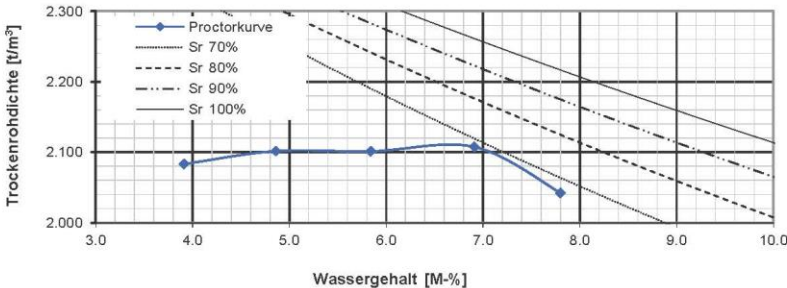
Herstelldatum Proctoren: 07.10.2022 Visum: ck

Anteil >16mm: 24 [M-%] *Wassergehalt >16mm 0.3 [M-%]
Anteil <16mm: 76 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 1.2 (5 Schichten mit je 28 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_a [M-%]	3.9	4.9	5.8	6.9	7.8		
Masse Probe G [g]	5113	5205	5253	5322	5200		
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.165	2.204	2.224	2.253	2.202		
Trockendichte ρ_d [t/m³]	2.083	2.102	2.101	2.108	2.042		
Sättigungsgrad S_r [%]	37	47	57	68	67		



Proctorkurve
opt. Wassergehalt w 6.7 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 2.112 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
opt. Wassergehalt w' 5.164 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 2.184 Mg/m³
Kornrohdichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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



3392aPBd V15

213704-09 Proctorkurve 1.2 und CBRs / 21.11.2022

5 von 5

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-01
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Probenart: UG 0/45 - Material 26
 Entnahmeort: RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz 26
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Probenahme durch: Werkspersonal
 Entnahmedatum: 12.07.2021
 Eingang Labor: 12.07.2021
 geprüfte Kornkl.: 0/16
 Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

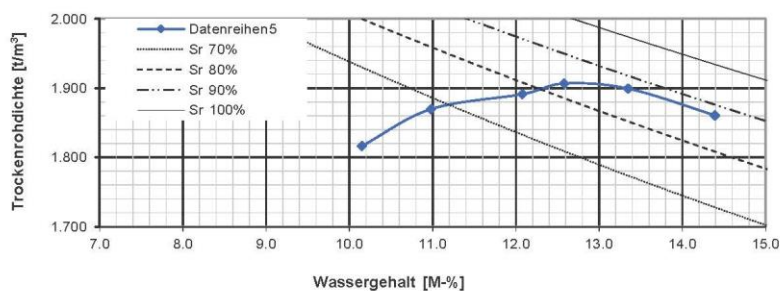
Herstelldatum Proctoren: 30.11.2022 Visum: ck

Anteil >16mm: 35 [M-%]
 Anteil <16mm: 65 [M-%]
 *Wassergehalt >16mm: 0.8 [M-%]
 *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 1.2 (5 Schichten mit je 28 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_p [M-%]	10.2	11.0	12.1	12.6	13.4	14.4	
Masse Probe G [g]	4726	4901	5007	5070	5085	5027	
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.001	2.075	2.120	2.146	2.153	2.128	
Trockendichte ρ_d [t/m³]	1.816	1.870	1.891	1.907	1.899	1.861	
Sättigungsgrad S_r [%]	57	68	78	83	87	88	



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w : 12.6 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d : 1.907 Mg/m³
 Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w : 8.47 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d : 2.090 Mg/m³
 Kornrohdichte (geschätzt): 2.7 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



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

3392aPBd V18

213704-01 Proctorkurve 1.2 und CBRs / 01.03.2023

5 von 5

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

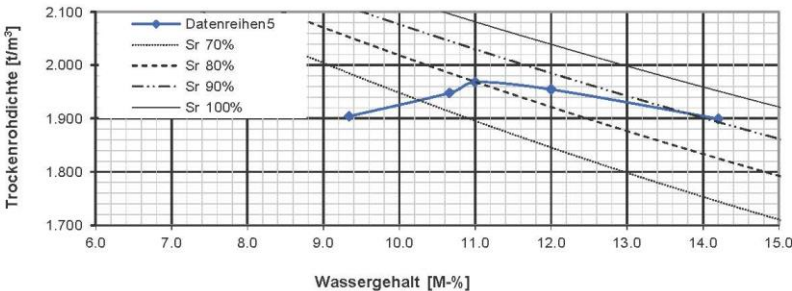
gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-07 Probenahme durch: Werkspersonal
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335 Entnahmedatum: 13.12.2021
Probenart: UG 0/45 - Material 29 Eingang Labor: 13.12.2021
Entnahmeort: RC Kiesgemisch B 0/45 - Provenienz 29 geprüfte Kornkl.: 0/16
Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Herstelldatum Proctoren: 18.11.2022 Visum: ck
Anteil >16mm: 20 [M-%] *Wassergehalt >16mm 0.7 [M-%]
Anteil <16mm: 80 [M-%] *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)
Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 1.2 (5 Schichten mit je 28 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	2	3	4	5	6	7	8
Wassergehalt w_e [M-%]	9.3	10.7	11	12.0	14.2		
Masse Probe G [g]	4918	5092	5161	5171	5124		
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.082	2.156	2.185	2.189	2.169		
Trockendichte ρ_d [t/m³]	1.904	1.948	1.968	1.955	1.900		
Sättigungsgrad S_r [%]	60	75	80	85	91		



Proctorkurve:
opt. Wassergehalt w 11.1 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 1.968 Mg/m³
Berechnung Gesamtprobe
opt. Wassergehalt w' 9.02 [M-%]
max. Trockendichte ρ_d 2.060 Mg/m³
Kornrohdichte (geschätzt) 2.7 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen



Die Prüfungsberichte 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.

3392aPBd V18

213704-07 Proctorkurve 1.2 und CBRs / 01.03.2023

5 von 5



Technik und Forschung im Betonbau

Proctorversuch

gem. SN 670 330-2/EN 13286-2 / SOP 3312

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-06
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmeort: UG 0/45 Provenienz 33
 Probenart: Felsmaterial - Material 33
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Probenahme durch: Werkspersonal
 Entnahmedatum: 13.09.2021
 Eingang Labor: 16.09.2021
 geprüfte Kornkl.: 0/16
 Abteilung Strassennetze, Strassenforschung Portfoliomanagement, 3003 Bern

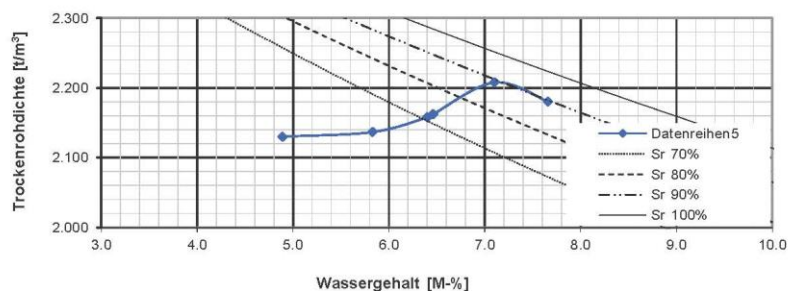
Herstelldatum Proctoren: 22.11.2022 Visum: ck

Anteil >16mm: 25 [M-%]
 Anteil <16mm: 75 [M-%]
 *Wassergehalt >16mm: 0.5 [M-%]
 *geschätzt

Proctorversuch mit Material <16mm (Proctortopf B, Ø 150mm)

Verdichtungsenergie [MJ/m³]: 1.2 (5 Schichten mit je 28 Schlägen)

Laborwerte Proctor Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt w_e [M-%]	4.9	5.8	6.4	6.5	7.1	7.7	
Masse Probe G [g]	5277	5341	5423	5437	5585	5544	
Feuchtdichte ρ [t/m³]	2.234	2.261	2.296	2.302	2.365	2.347	
Trockendichte ρ_d [t/m³]	2.130	2.137	2.158	2.162	2.208	2.180	
Sättigungsgrad S_r [%]	51	61	71	72	89	90	



Proctorkurve
 opt. Wassergehalt w 7.1 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.208 Mg/m³

Berechnung Gesamtprobe
 opt. Wassergehalt w' 5.45 [M-%]
 max. Trockendichte ρ_d 2.259 Mg/m³
 Kornrohdichte (geschätzt) 2.68 Mg/m³

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Chris Kirchberger



Katja von Allmen



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

3392aPBd V15

213704-06 Proctorkurve 1.2 und CBRs / 27.02.2023

5 von 5

 TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch

III.3.4 CBR-Versuche



Prüfbericht Frostbeständigkeit (CBR-Versuche)

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-03
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Entnahmeort: UG 0/45 - Material 2
Probenart/Bez.: UG 0/45 - Kiesgemisch teilgebrochen - Provenienz 2

Probenahme durch TFB
Entnahmedatum: 14.07.2021
Eingang Labor: 14.07.2021
geprüfte Kornkl.: 0/16

Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Zusammenfassung Prüfergebnisse:			
	CBR ₁		CBR _F
	[%]		[%]
	180		145
	Ergebnis:	*Anforderung:	*Beurteilung:
CBR _F /CBR ₁	0.8	≥ 0.5	erfüllt
*gemäss SN VSS 70 119			

Bemerkung:

Berichtsdatum: 27.04.2023

Labor Erdbau: Katja von Allmen



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.





Technik und Forschung im Betonbau

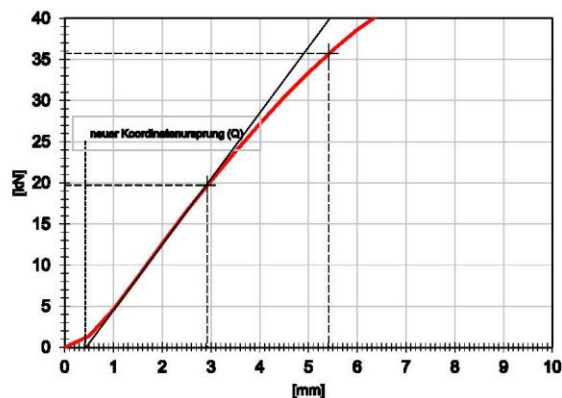
CBR₁-Versuch

gem. SN 670 330-47/EN 13286-47, Auflast 7.5kg, ohne Nachbehandlung / SOP 3396

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-03
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmeort: UG 0/45 - Material 2
 Probenart: UG 0/45 - Kiesgemisch teilgebrochen - Provenienz 2
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Angaben Prüfverfahren

Probenvolumen [cm ³]:	2362	Trockendichte w_{mit} [Mg/m ³]:	2.186
Verdichtungsenergie [MJ/m ³]:	1.2	Anfangswassergehalt [M-%]:	6.5
Vorlast Druckstempel [N]:	40	*Endwassergehalt [M-%]:	6.6
Eindringgeschwindigkeit [mm/min]:	1.27	*Wasserverlust durch Stempelerindringversuch berücksichtigt	
Datum Eindringversuch & Visum:	20.03.2023	jk	
Prüfalter:	sofort nach Verdichtung		

Prüfergebnisse**CBR₁-Eindringversuch**

Stempelerindringtiefe/Kraft (korrigiert)

Kraft bei 2.5 mm [kN] 19.73 CBR [%] **150
 Kraft bei 5.0 mm [kN] 35.72 CBR [%] **180

**oder korrigierter Wert gem. SN EN 13286-47

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


 TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

CBR_F-Versuch

gem. SN 670 330-47/EN 13286-47, Auflast 7.5kg, Nachbehandlung: Frost-Auftauzyklus gem. SN 70 321 / SOP 3392

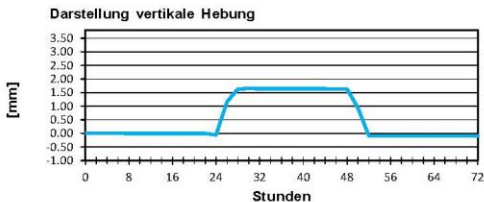
Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-03
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Entnahmeort: UG 0/45 - Material 2
Probenart: UG 0/45 - Kiesgemisch teilgebrochen - Provenienz 2
Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Angaben Prüfverfahren

Probevolumen V [cm ³]:	2361	Trockendichte $\rho_{d\text{ init}}$ [Mg/m ³]:	2.189
Verdichtungsenergie [MJ/m ³]:	1.2	Trockendichte $\rho_{d\text{ end}}$ [Mg/m ³]:	2.188
Vorlast Druckstempel [N]:	40	Anfangswassergehalt w_{init} [M-%]:	6.6
Eindringgeschwindigkeit [mm/min]:	1.27	*Endwassergehalt w_{end} [M-%]:	7.5
Datum Eindringversuch & Visum:	21.04.2023 jk	*ausgetretene Wassermenge Δw [g]:	8
Prüfalter:	15 Min. nach Nachbehandlung	*Wasserverlust durch Stempelerindringversuch berücksichtigt	

Prüfergebnisse

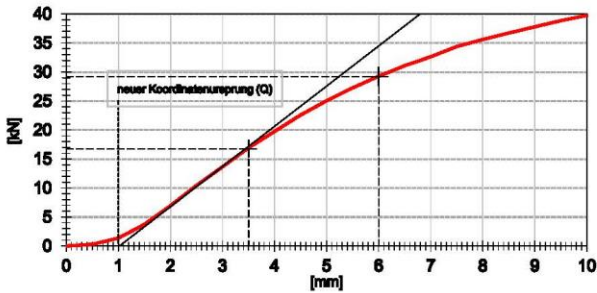
Frosthebung f [mm] 1.69
Resthebung r [mm] -0.10



Frostlinsen:
dicke gefrorene Zone [mm]: 0
dicke nicht gefrorenen Zone [mm]: 0

**Endwassergehalt gefrorene Zone $w_{\text{end F}}$ [%]:
**Endwassergehalt nicht gefrorene Zone $w_{\text{end NF}}$ [%]
**Wasserverlust durch Stempelerindringversuch nicht berücksichtigt

CBR_F-Eindringversuch nach 72 Stunden



***Kraft bei 2.5 mm [kN] 16.74 CBR [%] 125
***Kraft bei 5.0 mm [kN] 29.21 CBR [%] 145

***oder korrigierter Wert gem. SN EN 13286-47

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Prüfbericht Frostbeständigkeit (CBR-Versuche)

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-02
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmeort: UG 0/45 / Material 11
 Probenart/Bez.: RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz 11

Probenahme durch TFB
 Entnahmedatum: 14.07.2021
 Eingang Labor: 14.07.2021
 geprüfte Kornkl.: 0/16

Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
 Abteilung Strassenetze
 Strassenforschung Portfoliomanagement
 3003 Bern

Zusammenfassung Prüfergebnisse:

	CBR ₁ [%] 140		CBR _F [%] 175
	Ergebnis:	*Anforderung:	*Beurteilung:
CBR _F /CBR ₁	1.3	≥ 0.5	erfüllt

*gemäss VSS 70 119

Bemerkung:

Berichtsdatum: 01.05.2023

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen
Katja von Allmen

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.


 TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch

3392aP8d V15

213704-02 Proctorkurve 1.2 und CBRs - Mat 11 / 01.05.2023

1 von 4



Technik und Forschung im Betonbau

CBR₁-Versuch

gem. SN 670 330-47/EN 13286-47, Auflast 7.5kg, ohne Nachbehandlung / SOP 3396

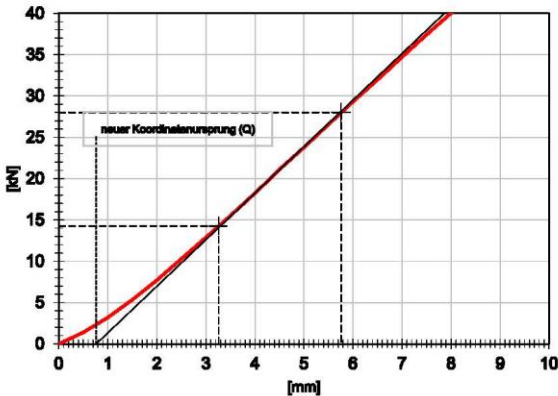
Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-02
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Entnahmeort: UG 0/45 / Material 11
Probenart: RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz 11
Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Angaben Prüfverfahren

Probevolumen [cm ³]:	2362	Trockendichte w_{ait} [Mg/m ³]:	1.877
Verdichtungsenergie [MJ/m ³]:	1.2	Anfangswassergehalt [M-%]:	11.9
Vorlast Druckstempel [N]:	40	*Endwassergehalt [M-%]:	12.2
Eindringgeschwindigkeit [mm/min]:	1.27	*Wasserverlust durch Stempelndringversuch berücksichtigt	
Datum Eindringversuch & Visum:	27.03.2023	jk	
Prüfalter:	sofort nach Verdichtung		

Prüfergebnisse

CBR₁-Eindringversuch



Stempeleindringtiefe/Kraft (korrigiert)
**Kraft bei 2.5 mm [kN] 14.26 CBR [%] 110
**Kraft bei 5.0 mm [kN] 27.99 CBR [%] 140

**oder korrigierter Wert gem. SN EN 13286-47

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

CBR_F-Versuch

gem. SN 670 330-47/EN 13286-47, Auflast 7.5kg, Nachbehandlung: Frost-Auftauzyklus gem. SN 70 321 / SOP 3392

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-02
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmestort: UG 0/45 / Material 11
 Probenart: RC-Betongranulatgemisch 0/45 - Provenienz 11
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

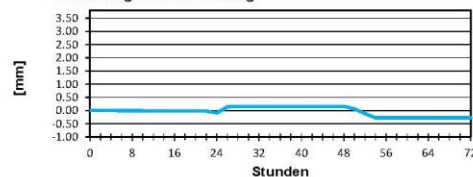
Angaben Prüfverfahren

Probekörper V [cm³]:	2361	Trockendichte $\rho_{d, \text{init}}$ [Mg/m³]:	1.861
Verdichtungsenergie [MJ/m³]:	1.2	Trockendichte $\rho_{d, \text{end}}$ [Mg/m³]:	1.910
Vorlast Druckstempel [N]:	40	Anfangswassergehalt w_{init} [M-%]:	10.9
Eindringgeschwindigkeit [mm/min]:	1.27	*Endwassergehalt w_{end} [M-%]:	11.4
Datum Eindringversuch & Visum:	27.04.2023 jk	*ausgetretene Wassermenge Δw [g]:	36
Prüfalter:	15 Min. nach Nachbehandlung	*Wasserverlust durch Stempelerindringversuch berücksichtigt.	

Prüfergebnisse

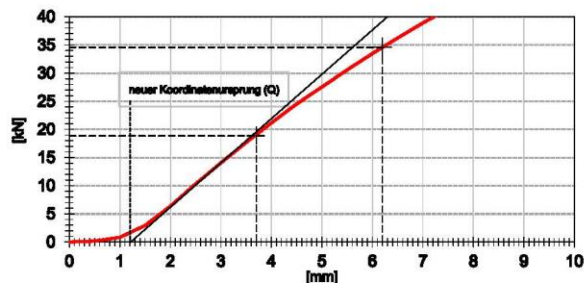
Frosthebung f [mm]: 0.25
 Resthebung r [mm]: -0.28

Darstellung vertikale Hebung



Frostlinien:
 dicke gefrorene Zone [mm]: 0
 dicke nicht gefrorenen Zone [mm]: 0

**Endwassergehalt gefrorene Zone $w_{\text{end F}}$ [%]:
 **Endwassergehalt nicht gefrorene Zone $w_{\text{end NF}}$ [%]
 **Wasserverlust durch Stempelerindringversuch nicht berücksichtigt

CBR_F-Eindringversuch nach 72 Stunden

***Kraft bei 2.5 mm [kN] 18.86 CBR [%] 145
 ***Kraft bei 5.0 mm [kN] 34.57 CBR [%] 175

***oder korrigierter Wert gem. SN EN 13286-47

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Prüfbericht Frostbeständigkeit (CBR-Versuche)

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-06
Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Entnahmeort: UG 0/45 Provenienz 33
Probenart/Bez.: Felsmaterial - Material 33

Probenahme durch Werkspersonal
Entnahmedatum: 16.09.2021
Eingang Labor: 17.09.2021
geprüfte Kornkl.: 0/16

Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Zusammenfassung Prüfergebnisse:			
	CBR ₁	CBR ₂	CBR _F
	[%]	[%]	[%]
	155		170
	Ergebnis:	*Anforderung:	*Beurteilung:
CBR _F /CBR ₁	1.1	≥ 0.5	erfüllt
*gemäss VSS 70 119			

Bemerkung:

Berichtsdatum: 26.04.2023

Labor Erdbau: Katja von Allmen



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.



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

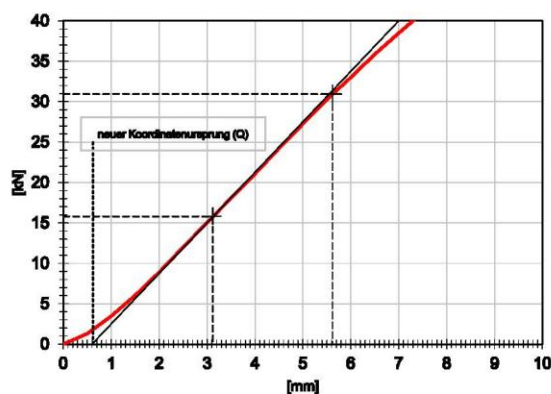
CBR₁-Versuch

gem. SN 670 330-47/EN 13286-47, Auflast 7.5kg, ohne Nachbehandlung / SOP 3396

Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-06
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmestort: UG 0/45 Provenienz 33
 Probenart: Felsmaterial - Material 33
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Angaben Prüfverfahren

Probekvolumen [cm ³]:	2362	Trockendichte w_{ent} [Mg/m ³]:	2.193
Verdichtungsenergie [MJ/m ³]:	1.2	Anfangswassergehalt [M-%]:	6.9
Vorlast Druckstempel [N]:	40	Endwassergehalt [M-%]:	6.6
Eindringgeschwindigkeit [mm/min]:	1.27	*Wasserungsverlust durch Stempelerindringversuch berücksichtigt	
Datum Eindringversuch & Visum:	03.04.2023	jk	
Prüfalter:	sofort nach Verdichtung		

Prüfergebnisse**CBR₁-Eindringversuch**

Stempelerindringtiefe/Kraft (korrigiert)

**Kraft bei 2.5 mm [kN]	15.80	CBR [%]	120
**Kraft bei 5.0 mm [kN]	30.94	CBR [%]	155

**oder korrigierter Wert gem. SN EN 13286-47

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.


 TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch

3392aPBd V15

213704-06 Proctorkurve 1.2 und CBRs / 26.04.2023

2 von 4



Technik und Forschung im Betonbau

CBR_F-Versuch

gem. SN 670 330-47/EN 13286-47, Auflast 7.5kg, Nachbehandlung: Frost-Auftauzyklus gem. SN 70 321 / SOP 3392

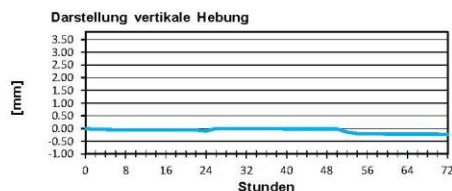
Projekt-Nr./TFB-Nr.: 213704-06
 Objekt/Projekt: VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
 Entnahmeort: UG 0/45 Provenienz 33
 Probenart: Felsmaterial - Material 33
 Auftraggeber: Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Angaben Prüfverfahren

Probevolumen V [cm³]:	2361	Trockendichte $\rho_{d\text{init}}$ [Mg/m³]:	2.192
Verdichtungsenergie [MJ/m³]:	1.2	Trockendichte $\rho_{d\text{end}}$ [Mg/m³]:	2.210
Vorlast Druckstempel [N]:	40	Anfangswassergehalt w_{init} [M-%]:	7.1
Eindringgeschwindigkeit [mm/min]:	1.27	*Endwassergehalt w_{end} [M-%]:	6.5
Datum Eindringversuch & Visum:	06.04.2023 jk	*ausgetretene Wassermenge ΔW [g]:	18
Prüfalter:	15 Min. nach Nachbehandlung	*Wasserverlust durch Stempelerindringversuch berücksichtigt	

Prüfergebnisse

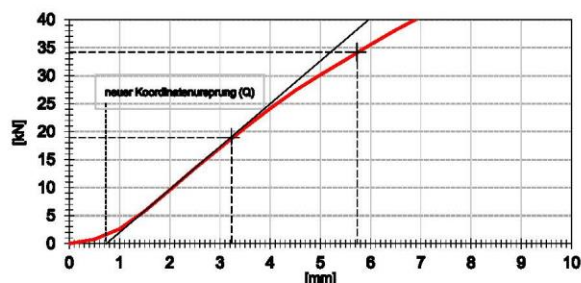
Frosthebung f [mm]: 0.08
 Resthebung r [mm]: -0.23

**Frostlinsen:**

dicke gefrorene Zone [mm]: 0
 dicke nicht gefrorenen Zone [mm]: 0

Endwassergehalt gefrorene Zone $w_{\text{end F}}$ [%]:Endwassergehalt nicht gefrorene Zone $w_{\text{end NF}}$ [%]

*Wasserverlust durch Stempelerindringversuch nicht berücksichtigt

CBR_F-Eindringversuch nach 72 Stunden

***Kraft bei 2.5 mm [kN] 18.95 CBR [%] 145
 ***Kraft bei 5.0 mm [kN] 34.20 CBR [%] 170

***oder korrigierter Wert gem. SN EN 13286-47

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 29. August 2022

Prüfbericht:

**Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401**

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Bauteil/Bezeichnung	RC Betongranulatgemisch 0/45 - Material 11	Entnahmedatum	14.07.2021
Projekt-Nr.	213704-02	Eingang Labor	01.02.2022
Entnahmeort	Provenienz 11	Prüfdatum	31.03.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	ck

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	8.6	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	16.3	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufuchtdichte [Mg/m³]	1.986	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.830	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	93.7	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes; 100% Proctordichte
³ wurde nicht gemessen			

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn (h:mm)	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
24.6	21.3	0.125	3.26E-05	2.46E-05	
25.0	21.4	0.188	4.04E-05	3.05E-05	
25.4	21.5	0.325	3.82E-05	2.89E-05	
25.7	21.2	0.401	4.26E-05	3.22E-05	
27.8	20.9	0.513	4.11E-05	3.12E-05	
28.5	21.4	0.188	3.83E-05	2.89E-05	
Prüfresultat	21.3	0.1 bis 0.5	3.89E-05	2.94E-05	0.0000294

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



3401aPBd V2

213704-02 Darcy Muttentz - Versuch 1 - 70pC - A-11-3 / 29.08.2022

Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildeggen, 29. August 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Bauteil/Bezeichnung	RC Betongranulatgemisch 0/45 - Material 11	Entnahmedatum	unbekannt
Projekt-Nr.	213704-02	Eingang Labor	14.07.2021
Entnahmeort	Provenienz 11	Prüfdatum	13.04.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	8.6	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	17.5	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	1.988	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.832	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	101.3	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basierend auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei wopt
² nach Versuchsreihe		Vorgaben Kunde	bei 70% des optimalen Wassergehaltes auf Ziebtrockendichte, mit Scheibe

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k_{10}).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
22.9	20.9	0.038	9.43E-05	7.11E-05	
24.1	21.3	0.088	1.49E-04	1.12E-04	
24.7	21.3	0.144	1.68E-04	1.27E-04	
25.3	21.4	0.200	1.75E-04	1.32E-04	
Prüfresultat	21.2	0.04 bis 0.20	1.47E-04	1.11E-04	0.0001107

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen
Katja von Allmen

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildeggen – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 29. August 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Bauteil/Bezeichnung	RC Betongranulatgemisch 0/45 - Material 11	Entnahmedatum	14.07.2021
Projekt-Nr.	213704-02	Eingang Labor	14.07.2021
Entnahmeort	Provenienz 11	Prüfdatum	26.04.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	

Prüfkörper		Prüfkörper	
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	8.6	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	16.7	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	1.986	Prüfzelle	Proctorlopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.829	Verdichtungsenergie [MJ/m³]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	96.1	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei wopt
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	bei 70% des optimalen Wassergehaltes auf Zieltrockendichte, mit Scheibe

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
22.6	20.9	0.044	2.01E-04	1.51E-04	
23.2	21.5	0.044	2.16E-04	1.63E-04	
24.1	21.2	0.225	1.04E-04	7.87E-05	
24.7	27.5	0.225	1.03E-04	7.76E-05	
25.6	21.8	0.363	1.01E-04	7.73E-05	
27.6	21.7	0.476	8.36E-05	6.25E-05	
Prüfresultat	22.4	0.04 bis 0.48	1.35E-04	1.02E-04	0.0001018

Bemerkungen:



Katia von Allmen



Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 29. August 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Bauteil/Bezeichnung	UG 0/45 - Felsmaterial gebr. - Material 12
Projekt-Nr.	213704-04
Entnahmeort	Provenienz 12
geprüfte Kornklasse	0/16

Probenahme durch	TFB
Entnahmedatum	21.07.2021
Eingang Labor	21.07.2021
Prüfdatum	08.06.2022
geprüft durch	ka

Prüfkörper

¹ Anfangswassergehalt [M-%]	5.4	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	8.8	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.239	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.124	Verdichtungsenergie [MJ/m³]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	89.9	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m³ mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
24.7	20.9	0.294	1.36E-05	1.03E-05	
25.5	21.2	0.839	1.01E-05	7.61E-06	
26.4	20.8	1.170	9.83E-06	7.39E-06	
26.8	20.9	1.170	9.89E-06	7.42E-06	
27.4	21.2	1.790	9.14E-06	6.86E-06	
28.3	21.8	1.245	9.10E-06	6.80E-06	
28.8	21.6	1.176	9.69E-06	7.21E-06	
Prüfresultat	21.2	0.3 bis 1.8	1.02E-05	7.66E-06	0.0000077

Bemerkungen:



Katja von Allmen



Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 5. September 2022

Prüfbericht:
Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Bauteil/Bezeichnung	UG 0/45 - Kiesgemisch rund - Material 24	Entnahmedatum	13.12.2021
Projekt-Nr.	213704-09	Eingang Labor	13.12.2021
Entnahmeort	Provenienz 24	Prüfdatum	01.09.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	ka/ck

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	4.8	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	7.8	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.182	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.083	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	72.5	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch
Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k_{10}).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
20.8	22.4	0.075	3.64E-04	2.65E-04	
21.7	22.5	0.069	3.93E-04	2.87E-04	
22.1	22.5	0.106	3.97E-04	2.89E-04	
23.1	22.3	0.038	3.41E-04	2.49E-04	
23.6	22.7	0.088	3.84E-04	2.80E-04	
24.1	22.7	0.250	3.83E-04	2.80E-04	
24.3	22.7	0.200	4.21E-04	3.07E-04	
Prüfresultat	22.5	0.07 bis 0.25	3.83E-04	2.80E-04	0.0002796

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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





Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 29. August 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Bauteil/Bezeichnung	RC-Betongranulat B 0/45 - Material 26
Projekt-Nr.	213704-01
Entnahmeort	Provenienz 26
geprüfte Kornklasse	0/16

Probenahme durch	Werkspersonal
Entnahmedatum	12.07.2021
Eingang Labor	12.07.2021
Prüfdatum	05.07.2022
geprüft durch	ka

Prüfkörper

¹ Anfangswassergehalt [M-%]	8.8	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	14.4	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.076	Prüfzelle	Proctorlopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.908	Verdichtungsenergie [MJ/m³]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	93.8	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13269-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m³ mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn (h:mm)	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
22.7	22.6	0.244	1.1E-05	8.0E-06	
23.4	23.0	0.488	1.1E-05	7.8E-06	
23.9	22.9	0.720	1.0E-05	7.4E-06	
24.5	22.8	1.070	1.0E-05	7.4E-06	
24.9	22.9	1.402	1.0E-05	7.2E-06	
25.6	22.9	1.877	9.7E-06	6.9E-06	
26.0	23.1	2.222	9.5E-06	6.8E-06	
26.9	22.9	1.227	9.1E-06	6.6E-06	
Prüfresultat	22.9	0.2 bis 2.2	1.01E-05	7.26E-06	0.0000073

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 29. August 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Bauteil/Bezeichnung	RC-Kiesgemisch B 0/45 - Material 29
Projekt-Nr.	213704-07
Entnahmeort	Provenienz 29
geprüfte Kornklasse	0/16

Probenahme durch	Werkspersonal
Entnahmedatum	13.12.2021
Eingang Labor	13.12.2021
Prüfdatum	30.06.2022
geprüft durch	jk

Prüfkörper

¹ Anfangswassergehalt [M-%]	7.9	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	13.1	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.115	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.961	Verdichtungsenergie [MJ/m³]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	94.1	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m³ mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn (h:mm)	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_7 -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
21.2	22.8	0.038	8.63E-05	6.19E-05	
21.8	22.8	0.075	9.73E-05	6.98E-05	
22.5	22.5	0.113	9.50E-05	6.83E-05	
23.0	23.1	0.125	1.11E-04	7.96E-05	
23.4	23.0	0.175	9.45E-05	6.77E-05	
24.0	22.6	0.225	8.80E-05	6.33E-05	
26.1	22.9	1.064	6.00E-05	4.31E-05	
26.5	23.6	0.125	7.37E-05	5.26E-05	
27.1	23.7	0.551	6.08E-05	4.34E-05	
Prüfresultat	23.0	0.04 bis 1.1	8.52E-05	6.11E-05	0.0000611

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katia von Allmen

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



3401aPBd V2

213704-07 Darcy 0.6MJ-m3 UG 0-45 - 70pC - A-29-1 / 29.08.2022

Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 15. September 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Bauteil/Bezeichnung	UG 0-45 - Felsmaterial - Provenienz 33
Projekt-Nr.	213704-06
Entnahmeort	Material 33
geprüfte Kornklasse	0/16

Probenahme durch	Werkspersonal
Entnahmedatum	16.09.2021
Eingang Labor	17.09.2021
Prüfdatum	07.07.2022
geprüft durch	ka

Prüfkörper

¹ Anfangswassergehalt [M-%]	4.7	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	7.2	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.259	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.156	Verdichtungsenergie [MJ/m³]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	79.8	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m³ mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
23.2	22.6	0.075	3.56E-05	2.60E-05	
23.7	22.4	0.188	3.63E-05	2.65E-05	
24.2	22.6	0.238	3.65E-05	2.66E-05	
24.8	22.8	0.313	4.39E-05	3.19E-05	
25.5	22.8	0.432	4.38E-05	3.18E-05	
25.7	22.7	0.426	4.54E-05	3.30E-05	
27.2	23.2	0.200	4.50E-05	3.27E-05	
27.7	23.1	0.544	4.61E-05	3.35E-05	
Prüfresultat	22.8	0.1 bis 0.5	4.16E-05	3.03E-05	0.0000303

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katia von Allmen

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



3401aPBd V2

213704-06 Darcy 0.6MJ-m3 - 70pC - A 33-3 / 15.09.2022

Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 30. August 2022

Prüfbericht:
Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Bauteil/Bezeichnung	UG 0/45 - Felsmaterial - Material 33	Entnahmedatum	16.09.2021
Projekt-Nr.	213704-06	Eingang Labor	17.09.2021
Entnahmeort	Provenienz 33	Prüfdatum	28.10.2021
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	ck/jk

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	6.7	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	7.4	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.320	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.174	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	85.5	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei wopt
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	Einbau 0.6MJ/m² Verdichtungsenergie bei optimalem Wassergehalt

Versuch
Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k_{10}).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn (h:mm)	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_7 -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
23.7	20.8	0.163	3.13E-04	2.38E-04	
25.4	20.1	0.125	2.24E-04	1.71E-04	
25.9	21.2	0.100	2.51E-04	1.91E-04	
26.6	20.6	0.213	2.69E-04	2.05E-04	
28.5	20.5	0.050	2.83E-04	2.13E-04	
Prüfresultat	20.6	0.1 bis 0.3	2.68E-04	2.04E-04	0.0002037

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



Katja von Allmen



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 21. November 2022

Prüfbericht:
Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Bauteil/Bezeichnung	RC Betongranulatgemisch 0/45 - Material 11	Entnahmedatum	14.07.2021
Projekt-Nr.	213704-02	Eingang Labor	01.02.2022
Entnahmeort	Provenienz 11	Prüfdatum	18.10.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	jk/ka

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	8.3	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	15.2	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.035	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.880	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	1.2
² Sättigungsgrad [%]	95.4	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	1.2 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte
³ wurde nicht gemessen			

Versuch
Bei konstanter Druckhöhe, Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k_{10}).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
20.6	18.9	0.031	6.87E-05	5.45E-05	
20.9	19.3	0.088	4.76E-05	3.74E-05	
21.3	19.4	0.119	5.09E-05	3.99E-05	
22.4	19.5	0.188	4.41E-05	3.45E-05	
23.2	19.5	0.269	4.38E-05	3.43E-05	
23.8	19.5	0.413	4.17E-05	3.26E-05	
24.3	19.5	0.544	4.15E-05	3.24E-05	
Prüfresultat	19.4	0.031 bis 0.544	4.83E-05	3.79E-05	0.0000379

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



Katja von Allmen



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildeg, 5. Dezember 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Bauteil/Bezeichnung	RC Betongranulatgemisch 0/45 - Material 11	Entnahmedatum	14.07.2021
Projekt-Nr.	213704-02	Eingang Labor	01.02.2022
Entnahmeort	Provenienz 11	Prüfdatum	01.12.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	ka

Prüfkörper

¹ Anfangswassergehalt [M-%]	8.1	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	15.7	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.027	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.875	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	1.2
² Sättigungsgrad [%]	97.7	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	1.2 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte
³ wurde nicht gemessen			

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
21.2	19.9	0.163	2.52E-05	1.95E-05	
21.8	20.2	0.163	2.44E-05	1.88E-05	
23.0	20.2	0.263	2.53E-05	1.96E-05	
23.5	20.0	0.313	2.99E-05	2.31E-05	
24.0	20.1	0.369	3.26E-05	2.52E-05	
24.5	20.2	0.451	3.25E-05	2.51E-05	
24.9	20.2	0.513	3.36E-05	2.60E-05	
25.4	20.0	0.325	4.01E-05	3.11E-05	
Prüfresultat	20.1	0.163 bis 0.513	3.05E-05	2.35E-05	0.0000235

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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





Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 17. Mai 2023

Prüfbericht:
Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	TFB
Bauteil/Bezeichnung	Felsmaterial 0/45 - Material 12	Entnahmedatum	21.07.2021
Projekt-Nr.	213704-04	Eingang Labor	21.07.2021
Entnahmeort	Provenienz 12	Prüfdatum	16.05.2023
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	jk/ka

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	5.5	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	8.7	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.234	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.117	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	1.2
² Sättigungsgrad [%]	87.8	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	1.2 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch
Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_f -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
25.2	19.8	0.726	2.9E-06	2.2E-06	
26.1	20.1	1.245	2.7E-06	2.1E-06	
27.2	20.0	1.471	2.6E-06	2.0E-06	
27.7	20.0	1.671	2.6E-06	2.0E-06	
28.7	20.0	1.896	2.5E-06	2.0E-06	
29.5	20.2	1.489	2.5E-06	1.9E-06	
Prüfresultat	20.0	0.726 bis 1.896	2.64E-06	2.04E-06	0.0000020

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 21. November 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Bauteil/Bezeichnung	UG 0/45 - Kiesgemisch rund - Material 24	Entnahmedatum	13.12.2021
Projekt-Nr.	213704-09	Eingang Labor	13.12.2021
Entnahmeort	Provenienz 24	Prüfdatum	13.10.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	ka

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	4.7	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	7.7	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.216	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.116	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	1.2
² Sättigungsgrad [%]	77.5	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	1.2 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10° -Wert [m/s]	k_{10° -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
25.3	19.9	0.300	1.57E-05	1.20E-05	
25.8	19.8	0.526	1.56E-05	1.20E-05	
26.8	20.2	0.751	1.58E-05	1.22E-05	
27.2	20.1	1.114	1.38E-05	1.06E-05	
27.6	20.2	1.483	1.26E-05	9.68E-06	
28.0	20.2	0.788	1.30E-05	9.97E-06	
Prüfresultat	20.1	0.300 bis 1.483	1.44E-05	1.11E-05	0.0000111

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmer



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

3401aPBd V2

213704-09 Darcy 1.2MJ-m3 UG 0-45 70PC / 21.11.2022

Seite 1 von 1

ITFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.itfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 15. März 2023

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Bauteil/Bezeichnung	RC-Betongranulat B 0/45 - Material 26	Entnahmedatum	12.07.2021
Projekt-Nr.	213704-01	Eingang Labor	12.07.2021
Entnahmeort	Provenienz 26	Prüfdatum	14.03.2023
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	jk/ka

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	9.1	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	13.8	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.075	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.901	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	1.2
¹ Sättigungsgrad [%]	89.0	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	1.2 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn (h:mm)	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
23.6	20.8	0.413	1.0E-05	7.6E-06	
24.8	20.9	0.663	9.6E-06	7.3E-06	
25.3	20.9	0.914	9.4E-06	7.1E-06	
26.0	20.9	1.277	9.4E-06	7.1E-06	
26.5	20.7	1.640	9.3E-06	7.1E-06	
27.2	21.0	1.051	8.7E-06	6.6E-06	
Prüfresultat	20.9	0.413 bis 1.640	9.40E-06	7.13E-06	0.0000071

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen



Katja von Allmen

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildeg, 14. Dezember 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335
Bauteil/Bezeichnung RC-Kiesgemisch B 0/45 - Material 29
Projekt-Nr. 213704-07
Entnahmeort Provenienz 29
geprüfte Kornklasse 0/16

Probenahme durch Werkspersonal
Entnahmedatum 13.12.2021
Eingang Labor 13.12.2021
Prüfdatum 13.12.2022
geprüft durch ka/jk

Prüfkörper

¹ Anfangswassergehalt [M-%]	7.9	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	13.6	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.121	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	1.967	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	1.2
² Sättigungsgrad [%]	98.5	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	1.2MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k_{10}).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
21.4	18.1	0.125	7.43E-06	6.01E-06	
22.0	17.9	0.282	8.66E-06	7.01E-06	
22.8	18.3	0.451	8.63E-06	6.95E-06	
23.3	18.3	0.638	8.28E-06	6.67E-06	
24.0	18.4	1.339	8.44E-06	6.78E-06	
25.9	18.4	0.451	7.43E-06	6.01E-06	
Prüfresultat	18.2	0.125 bis 1.339	8.14E-06	6.57E-06	0.0000066

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildeg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 12. Dezember 2022

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11
/ SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Werkspersonal
Bauteil/Bezeichnung	UG 0-45 - Felsmaterial - Provenienz 33	Entnahmedatum	16.09.2021
Projekt-Nr.	213704-06	Eingang Labor	17.09.2021
Entnahmeort	Material 33	Prüfdatum	08.12.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	ka

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	5,0	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	6,0	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.314	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.205	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	1.2
² Sättigungsgrad [%]	75,0	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	1,2 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüfteter Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
23.0	20.2	0.638	4.74E-06	3.67E-06	
23.7	19.6	0.939	5.50E-06	4.26E-06	
24.3	19.9	1.302	5.86E-06	4.52E-06	
24.6	19.9	1.665	6.18E-06	4.79E-06	
25.1	19.8	2.034	6.58E-06	5.11E-06	
25.6	19.8	1.270	6.76E-06	5.24E-06	
Prüfresultat	19.9	0.638 bis 2.034	5.94E-06	4.60E-06	0.0000046

Bemerkungen:



Katja von Ailmen



Labor Erdbau: Katja von Allmen

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

3401aPBd V2

213704-06 Darcy 1.2MJ-m3 - 70pC - B-33-1 / 12.12.2022

Seite 1 von 1

TFB AG – Lindenstrasse 10 – CH-5103 Wildegg – Tel 062 887 72 72 – Fax 062 887 72 70 – www.tfb.ch



Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 5. Oktober 2023

Prüfbericht:
Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Auftraggeber
Bauteil/Bezeichnung	UG 0/45 - Wandkies, teilgebrochen - Mat. 41	Entnahmedatum	unbekannt
Projekt-Nr.	213704-08	Eingang Labor	01.02.2022
Entnahmeort	Provenienz 41	Prüfdatum	02.03.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	ka

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	5.0	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	7.2	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.240	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.133	Verdichtungsenergie [MJ/m²]	Referenz 1.2 MJ/m²
² Sättigungsgrad [%]	75.0	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m² mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch
Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k10).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_T -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
23.3	21.2	0.175	1.15E-05	8.81E-06	
23.9	20.8	0.175	1.16E-05	8.86E-06	
24.7	20.7	0.338	1.35E-05	1.03E-05	
25.2	20.9	0.538	1.33E-05	1.01E-05	
25.7	21.1	0.651	1.30E-05	9.88E-06	
26.3	21.1	0.876	1.26E-05	9.59E-06	
27.0	21.4	0.588	1.23E-05	9.30E-06	
28.2	21.5	0.357	1.31E-05	9.85E-06	
Prüfresultat	21.1	0.2 bis 0.9	1.26E-05	9.58E-06	0.0000096

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



Katja von Allmen





Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 5. Oktober 2023

Prüfbericht:
Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Auftraggeber
Bauteil/Bezeichnung	UG 0/45 - Wandkies, teilgebrochen - Mat. 41	Entnahmedatum	unbekannt
Projekt-Nr.	213704-08	Eingang Labor	01.02.2022
Entnahmeort	Provenienz 41	Prüfdatum	09.03.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	jk

Prüfkörper			
¹ Anfangswassergehalt [M-%]	4.9	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	7.5	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m³]	2.241	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m³]	2.136	Verdichtungsenergie [MJ/m³]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	79.0	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m³ mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch					
Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fliessrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k_{10}).					
Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_7 -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
23.6	21.3	0.088	2.55E-05	1.92E-05	
24.9	21.4	0.163	2.31E-05	1.73E-05	
25.2	21.6	0.238	2.54E-05	1.90E-05	
25.7	21.5	0.363	2.66E-05	1.99E-05	
26.3	21.2	0.476	2.72E-05	2.04E-05	
28.0	21.5	0.538	2.85E-05	2.12E-05	
28.5	21.6	0.088	3.06E-05	2.28E-05	
Prüfresultat	21.4	0.09 bis 0.54	2.67E-05	2.00E-05	0.00002

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen
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



Katja von Allmen





Technik und Forschung im Betonbau

Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Abteilung Strassennetze
Strassenforschung Portfoliomanagement
3003 Bern

Wildegg, 5. Oktober 2023

Prüfbericht:

Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit nach Darcy (k_{10} -Wert) nach SN EN ISO 17892-11 / SOP 3401

Projekt	VSS Forschungsprojekt VSS 2020/335	Probenahme durch	Auftraggeber
Bauteil/Bezeichnung	UG 0/45 - Wandkies, teilgebrochen - Mat. 41	Entnahmedatum	unbekannt
Projekt-Nr.	213704-08	Eingang Labor	01.02.2022
Entnahmeort	Provenienz 41	Prüfdatum	17.03.2022
geprüfte Kornklasse	0/16	geprüft durch	jk

Prüfkörper

¹ Anfangswassergehalt [M-%]	5.0	Probenart	gestört
² Endwassergehalt [M-%]	7.3	Herstellung	schichtweiser Einbau
¹ Einbaufeuchtdichte [Mg/m ³]	2.244	Prüfzelle	Proctortopf B (150x125mm)
¹ Einbautrockendichte [Mg/m ³]	2.137	Verdichtungsenergie [MJ/m ³]	0.6
² Sättigungsgrad [%]	77.4	Verdichtungsart	Fallhammer
¹ basiert auf SN EN 13286-2		Einbauwassergehalt	bei 70% des wopt/100% Proctordichte
² nach Versuchsende		Vorgaben Kunde	0.6 MJ/m ³ mit Scheibe bei 70% des opt. Wassergehaltes, 100% Proctordichte

Versuch

Bei konstanter Druckhöhe. Zelle mit starrer Wand. Anlage mit zwei Piezometern. Fließrichtung von unten nach oben mit entlüftetem Leitungswasser bei Raumtemperatur. Bezugstemperatur ist 10°C (k_{10}).

Versuchsdauer ab Sättigungsbeginn [h:mm]	mittlere Raumtemperatur [°C]	hydraulisches Gefälle i	k_7 -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s]	k_{10} -Wert [m/s] Darstellung mit Dezimalstellen
24.0	20.0	0.388	1.06E-05	8.22E-06	
24.7	20.5	0.476	1.44E-05	1.10E-05	
25.1	20.7	0.701	1.55E-05	1.19E-05	
25.7	20.7	0.801	1.73E-05	1.33E-05	
26.3	20.8	1.076	1.48E-05	1.14E-05	
28.5	20.9	0.463	1.29E-05	9.81E-06	
Prüfresultat	20.6	0.39 bis 1.08	1.43E-05	1.09E-05	0.0000109

Bemerkungen:

Labor Erdbau: Katja von Allmen

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



Katja von Allmen
Katja von Allmen



3401aPBd V2

213704-08 M.21.1047 Darcy 0.6MJ-m3 - Versuch 5 - 70pC - A-41-19 / 05.10.2023

Seite 1 von 1

TFB AG - Lindenstrasse 10 - CH-5103 Wildegg - Tel 062 887 72 72 - Fax 062 887 72 70 - www.tfb.ch

Glossar

Begriff	Bedeutung
CBR	California bearing ratio
CBR ₁	Ohne Nachbehandlung
CBR ₂	Nach 4 Tagen Wasserlagerung
CBR _F	Nach Frostversuch
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
IBI	Direkter Tragindex
SN	Schweizer Norm (SN)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
WPK	Werkseigene Produktionskontrolle
W _{opt.}	Optimaler Wassergehalt (mittels Proctor-Versuch bestimmt)

Literaturverzeichnis

Dokumentation

- 1 Plehm, T. (2013), **"Merkblatt über die Verhütung von Frostschäden an Straßen"**; Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen FGSV, Nr. 545
- 2 Wolf, M., (2014), **"Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel in Straßenbefestigungen"**, Dissertation TU Dresden
- 3 Beyer W., (1964), **"Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve"**; Wasserwirtschaft – Wassertechnik
- 4 Sherard, J. L., Dunnigan, L.P. und Talbot, J.R., (1984), **"Filters for silts and clays"**, J. Geotech. Engng., ASCE, 110(6): 701-718
- 5 Hazen, A., (1892), **"Some physical properties of sands and gravels"**, Mass. State Board of Health, Ann. Rept. pp. 539-556.
- 6 Yong R. N., Warkentin B. P. (1975), **"Soil Properties and Behaviour"**, Amsterdam/New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- 7 Holtz R. D., Kovacs W. D. und Sheahan T. C. (2011), **"An Introduction To Geotechnical Engineering"**. London: Pearson Education.
- 8 Cudmani R., Henzinger Ch., Birle E. und Barka E. (2021), **"Anforderungen an Baustoffe für schwach durchlässige, dauerhaft tragfähige, ungebundene Bankette"**, Bundesanstalt für Strassenwesen (BAST), Heft 158
- 9 Koukoulidou A., Birle E. und Heyer D. (2017), **"Baustoffe für standfeste Bankette"**, Bundesanstalt für Strassenwesen (BAST), Heft 107
- 10 Dachroth, W.R. (2002), **"Handbuch der Baugeologie und Geotechnik"**, Deutschland: Springer-Verlag, 3. erweiterte und überarbeitete Auflage
- 11 Schmitt J., Burbaum U., Bormann A.E. (2021), **"Sinner Grundbau 1; Bodenmechanik und erdstatische Berechnungen"**, Deutschland: Springer Fachmedien Wiesbaden (20. Auflage)
- 12 Verband Öffentlicher Verkehr (2005) **"Regelwerk Technik Eisenbahn Nr. 21110, Unterbau und Schotter"**, R RTE 21110
- 13 Darcy, H. (1856), **"Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon"**, Dalmont, Paris
- 14 Wietek M., Wetzig V., Meglin R. (2017), **"Reduktion des Prüfaufwandes zur Kontrolle der Frostepfindlichkeit von Gesteinskörnungen für ungebundene Gemische"**, Bundesamt für Strassen ASTRA, Forschungsprojekt VSS 2011/505, Bericht Nr. 1611
- 15 Mühlen B., Nandedkar R., Angst Ch., Solcà F., Kaeser B. (2019), **"Frost-Tauwechselbeständigkeit von hydraulisch gebundenen Gemischen – Grundlagen für die Festlegung nationaler Anforderungen"**, Bundesamt für Strassen ASTRA, Forschungsprojekt VSS 2015/313, Bericht Nr. 1665
- 16 Vereinigung Akkreditiert Baustoffprüflabors VAB (2019), **"VAB-Ringversuch Proctorverdichtung SN EN 13286-2:2010/AC"**, Bericht Nr. 4-1-018-1119a
- 17 Kaltenböck H., Breymann H., Henögl O., Premstaller M., Strasser W., Waldhans H. (1999), **"Durchlässigkeitsprüfung ungebundener Tragschichten – Endbericht"**, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten (Republik Österreich), Strassenforschung. Heft 484
- 18 Floss R., Berner U. (1992) **"Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel, Anforderungen an die Durchlässigkeiten von ungebundenen Tragschichten"**, Forschung Strassenbau und Strassentechnik, Heft 619
- 19 Keppler E. (1986), **"Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit ungebundener Tragschichtbaustoffe"**, Die Natursteinindustrie, Heft 1/86
- 20 Randolph B.W., Heydinger A.G., Gupta, J.D. (2000), **"Permeability and Stability of Base and Subbase Materials"**, Department of Civil Engineering, The University of Toledo
- 21 Rabaiotti C., Caprez M., Yang F.L.. (2004), **"Beziehung zwischen den Verdichtungswerten AASHTO-Standard und AASHTO-Modified"**, Eidg. Technische Hochschule Zürich ETHZ, Institut für Geotechnik, Bericht zum Forschungsprojekt VSS 1999/283
- 22 Rütli R., Angst Ch., (2021), **"Anforderungen an CBR-Werte und CBR-Verhältnis von Kiesgemischen und RC-Kiesgemischen"**, Bundesamt für Strassen ASTRA, Forschungsprojekt VSS 2011/508, Bericht Nr. 1707

- 23 Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Tiefbau (2019), **"Newsletter der Abteilung Tiefbau, Ungebundene Gemische"**, Ausgabe vom Mai 2019 und revidierte Ausgabe vom 01.06.2022
- 24 Wolf, M., Wellner F. (2015), **"Tragfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel unter Pflasterdecken"**, 11. Internationale Konferenz für Betonpflasterbefestigungen ICCBP, Dresden, 2015 (S. 1-24)
- 25 Bundesanstalt für Wasserbau, BAW (2013), **"Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Bundeswasserstrassen (MAK)"**, BAWMerkblatt, Karlsruhe
- 26 Heindel, Noyes (1997), **"Permeability of Highway Base an Sub-Base Material"**, Vermont Agency of Transportation, (1997)

Normen

- 27 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2011) **„Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Strassenbau – Ungebundene Gemische - Anforderungen“**, Norm SN 670 119-NA (ungültig) und mitgeltende EN 13242:2002 und EN 13285:2010
- 28 Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV (2004, Fassung 2007), **«Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Strassenbau»**, TL SoB-StB 20
- 29 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2008) **„Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit mit konstanter und fallender Druckhöhe“**, Norm SN 670 340-11 resp. technische Spezifikation CEN ISO/TS 17892-11:2004/AC:2005
- 30 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2020) **„Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Laborversuche an Bodenproben – Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit (ISO 17892-11:2019)“**, Norm SN EN ISO 17892-11
- 31 Deutsche Norm DIN (1998), **"Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche"**, Norm DIN 18130-1
- 32 Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA (2016), **„Deponiebau“**, Norm SIA 203.
- 33 Deutsche Norm DIN (2018), **"Sportplätze – Teil 4: Rasenflächen"**, Norm DIN 18035-4
- 34 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2013) **„Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 1: Bestimmung der Korngrößenverteilung - Siebverfahren“**, Norm SN EN 933-1
- 35 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2009) **„Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 11: Einteilung der Bestandteile grober recycelter Gesteinskörnung“**, Norm SN EN 933-11 bzw. SN 670 902-11-NA
- 36 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019) **„Gesteinskörnungen – Qualitative und quantitative Mineralogie und Petrographie“**, REG-Norm VSS 70 115
- 37 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2012) **„Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Dichte und des Wassergehalts - Proctorversuch“**, Norm SN EN 13286-2
- 38 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021) **„Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Frosthebungsversuch“**, REG-Norm VSS 70 321
- 39 International Organization for Standardization ISO (1994), **"Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results - Part 1: General principles and definitions"**, Norm ISO 5725-1
- 40 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2005) **„Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Verfahren zum Einengen von Laboratoriumsproben“**, Norm SN EN 932-2 bzw. SN 670 901-2a
- 41 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021) **„Ungebundene Gemische – Technische Lieferanforderungen“**, REG-Norm VSS 70 119
- 42 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021) **„Ungebundene Gemische – Anforderungen (EN 13285:2018)“**, Norm SN EN 13285
- 43 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019) **„Frost“**, REG-Norm VSS 70 140
- 44 Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2019) **„Dimensionierung des Strassaufbaus – Unterbau und Oberbau“**, REG-Norm VSS 40 324

-
- | | |
|----|--|
| 45 | Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2022) „ Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische – Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes “, Norm SN EN 13286-47 |
|----|--|
-
- | | |
|----|--|
| 46 | Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1999) „ Kiessande für Foundationsschichten – Qualitätsanforderungen “ VSS 670 120d |
|----|--|
-
- | | |
|----|---|
| 47 | Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2008) „ Prüfverfahren für allgemeine Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 2: Grundlagen von Bodenklassifizierung “, Norm EN ISO 14688-2 bzw. SN 670 004-2b-NA |
|----|---|
-
- | | |
|----|--|
| 48 | Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2023) „ Ungebundene Foundationsschichten; Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten “, REG-Norm VSS 40 580 |
|----|--|
-
- | | |
|----|---|
| 49 | Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2021) „ Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Strassenbau “, Norm SN EN 13242 |
|----|---|
-
- | | |
|----|--|
| 50 | Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2014) „ Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen – Teil 6: Bestimmung der Rohdichte und der Wasseraufnahme “, Norm SN EN 1067-6 |
|----|--|
-

Projektabschluss



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: 17.10.2023

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2020/335
Projekttitel: Wasserdurchlässigkeit von Fundamentalschichten als Einflussparameter für den Frostwiderstand
Enddatum: 31.12.2023

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Das vorliegende Forschungsprojekt hatte zum Ziel, die Grundlagen für die Festlegung von Leistungsanforderungen an die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen zu erarbeiten und gleichzeitig das Prüfverfahren für die Anwendung an ungebundenen Gemischen zu spezifizieren. Die Projektidee beruhte dabei auf dem Grundprinzip einer «Standortbestimmung» unter Berücksichtigung einer möglichst repräsentativen Stichprobe von ungebundenen Gemischen, welche sich bisher in der Praxis des Schweizer Verkehrsbaus bewährt haben und an welchen das Entwässerungsverhalten im Labor detailliert geprüft werden sollte. Die Ergebnisse sollten dazu dienen, allfällige Zusammenhänge mit anderen Eigenschaften aufzuzeigen (z.B. mit der Frostempfindlichkeit) und Anforderungen bzw. Grenzwerte für die Wasserdurchlässigkeit von ungebundenen Gemischen zu definieren.

Die Forschungsarbeit umfasste 3 Projektphasen:

Die erste Phase umfasste eine Evaluierung und Datenerhebung mittels Umfrage bei verschiedenen Akteuren im Verkehrswegebau (Produzenten, Unternehmen, Bauherren und Prüfstellen). Diese Erhebungen hatten u.a. zum Ziel, geeignete Materialien für die anschliessenden Laborversuche zu identifizieren. Zudem wurden Informationen zum Gebrauchsverhalten und zu Erfahrungen mit regional verfügbaren ungebundenen Gemischen aus der Strassenbaupraxis gesammelt.

Die zweite Phase umfasste den methodologischen Teil. Anhand von Vergleichs- und Wiederholversuchen wurde das Prüfverfahren, welches für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit angewendet werden soll (die Bestimmung des k-Werts gem. Norm SN EN ISO 17892-11) überprüft und für die Anwendung an ungebundenen Gemischen spezifiziert. Die Laboruntersuchungen wurden dabei in 2 verschiedenen akkreditierten Prüfstellen durchgeführt, wobei ein Hauptaugenmerk auf eine ausreichend gute Reproduzierbarkeit gelegt wurde. In der dritten Phase wurde schliesslich die «Standortbestimmung» an den 13 ausgewählten Typ-Materialien durchgeführt. Nebst der Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit unter verschiedenen Prüfbedingungen wurden hierbei ergänzend auch Versuche zur Frostempfindlichkeit der Materialien durchgeführt (CBR-Versuche).

Im Rahmen der Datenerhebung wurden Kenndaten von insgesamt 38 ungebundenen Gemischen zusammengetragen und daraus 13 «Typ-Materialien» für die weiteren Untersuchungen identifiziert, beprobt und charakterisiert. Die gewählten Materialien umfassten aus Kiesgruben gewonnenes Material (sowohl Gemische aus Rundkorn als auch gebrochenes Material), aus Steinbrüchen aufbereitetes Felsmaterial und betonhaltige rezyklierte Gesteinskörnungen (RC-Kiesgemische B und RC-Betongranulatgemische).

In der zweiten, methodologischen Projektphase wurden in den beiden Prüfstellen umfangreiche Wiederhol- und Vergleichsversuche durchgeführt und mit einer ergänzenden Literaturrecherche das gewählte Prüfverfahren nach SN EN ISO 17892-11 analysiert und für die Anwendung an ungebundenen Gemischen spezifiziert. Zentrale Bestandteile sind dabei die Festlegung der Probekörperverdichtung unter Verwendung einer genau definierten Probenmenge («Ziel-Trockendichte») und einem Einbauwasseranteil, der 70% vom optimalen Wasseranteil gemäss vorgängig ausgeführtem Proctorversuch entspricht.

Nach dem Abschluss des methodologischen Teils wurde die Durchlässigkeit (k-Werte) an den 13 ausgewählten Typ-Materialien im Laborversuch bestimmt. Dabei wurde auch der Einfluss unterschiedlicher Verdichtungsgrade geprüft (nominelle Verdichtungsenergie von 0.6 MJ/m³ gem. «Proctor-Standard» und 1.2 MJ/m³ wie in der Schweiz für die CBR-Versuche angewendet). Die untersuchten Gemische weisen k-Werte im Bereich von 1.9*10⁻⁶ bis 2.8*10⁻⁴ m/s (Standard-Verdichtung von 0.6 MJ/m³) auf. Die k-Werte, die bei gleicher Verdichtung wie bei den CBR-Versuchen ermittelt wurden (nominelle Verdichtungsenergie 1.2 MJ/m³), liegen mit 5.6*10⁻⁷ bis 3.9*10⁻⁵ m/s erwartungsgemäss in einem etwas niedrigeren Bereich.

Eine vertiefte Analyse der Untersuchungsergebnisse zeigte, dass insbesondere die Lagerungsdichte des geprüften Materials eine massgebende Einflussgrösse auf die Wasserdurchlässigkeit darstellt. Über alle Daten betrachtet zeigt sich eine Tendenz, dass die Durchlässigkeit erwartungsgemäss abnimmt, wenn das Material bei einer definierten Verdichtungsenergie eine höhere «Verdichtungswilligkeit» zeigt. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass für andere Eigenschaften – insbesondere Kennwerten der Korngrößenverteilung – nur sehr schwache Korrelationen vorhanden sind. Die Durchlässigkeit wird nebst der Sieblinie von einer Vielzahl weiterer Faktoren beeinflusst, welche sich oft zusätzlich überlagern. Im Besonderen zeigte sich, dass der Feinanteil in der Gesamtprobe eines ungebundenen Gemisches kein belastbares Kriterium ist, um die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen abzuschätzen. Die Datenanalysen zeigten, dass dies ebenso für das Tragverhalten (CBR-Versuche) im Labor gilt, welche letztlich für die Beurteilung der Frostsicherheit verwendet werden. Die Verwendung des Feinanteils als Schwellenwert für den Entscheid, ob ein ungebundenes Gemisch in Bezug auf die Durchlässigkeit oder die Frostsicherheit geprüft werden muss, ist also grundsätzlich zu hinterfragen.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Die 4 im Projekt adressierten Fragestellungen konnten alle beantwortet werden:
1) Spezifizierung der Labormethode: Mit den durchgeführten Vergleichsversuchen in den beiden beteiligten Prüfstellen und mit der umfangreichen Analyse der Einflussgrößen wurde eine Arbeitsanleitung erstellt, anhand derer der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von ungebundenen Gemischen mit zufriedenstellender Reproduzierbarkeit bestimmt werden kann.
2) Das Entwässerungsverhalten im Labor von "typischen", bisher in der Praxis erfolgreich eingesetzten ungebundenen Gemischen wurde an 13 Typ-Materialien bestimmt. Die untersuchten Gemische weisen Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von $1.9 \cdot 10^{-6}$ bis $2.8 \cdot 10^{-4}$ m/s (Standard-Verdichtung von 0.6 MJ/m³) auf. Bei höherer Verdichtung (CBR: 1.2 MJ/m³) resultieren erwartungsgemäss etwas niedrigere k-Werte ($5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5}$ m/s).
3) Die Zusammenhänge zwischen der Wasserdurchlässigkeit und anderer, im Labor bestimmter Materialkenngrößen (insbesondere CBR-Werte) wurden geprüft. Es konnte gezeigt werden, dass in puncto Wasserdurchlässigkeit die Lagerungsdichte des zu prüfenden Materials eine massgebende Einflussgrösse darstellt. Gleichzeitig wurde festgehalten, dass für andere Eigenschaften – insbesondere Kennwerten der Korngrößenverteilung – nur schwache Korrelationen vorhanden sind. Im Besonderen zeigte sich, dass der Feinanteil in der Gesamtprobe kein belastbares Kriterium ist, um die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen abzuschätzen.
4) Festlegung von Anforderungen an die Durchlässigkeit ungebundener Gemische: Die 13 untersuchten Typ-Materialien repräsentierten wie gewünscht eine grosse Spannweite von Materialarten und ein breites Sieblinienspektrum. Entsprechend kann der Datensatz als breit abgestützt betrachtet werden, wobei natürlich eine Auswahl von 13 Proben immer noch einen Stichprobencharakter beibehält und die Datenbasis gering bleibt. In Bezug auf die Korngrößenverteilung konnte der sehr feinkörnige Bereich mit Feinanteilen zwischen 8 und 12 Masse-% nicht berücksichtigt werden. Solche Kiesgemische sind am Markt nur selten zu finden und somit für repräsentative Produkte auch nicht unbedingt relevant. Gesamthaft ist festzuhalten, dass die geprüften Proben summa summarum als ausgewogene Auswahl beurteilt werden können. Die k-Werte, die unter "harmonisierten" Versuchsbedingungen (also gleich wie für CBR-Versuche) ermittelt wurden, liegen im Bereich von $5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5}$ m/s. Diese Werte können also als Basis für die Festlegung von normativen Anforderungen an die Durchlässigkeit verwendet werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Die Standortbestimmung an den 13 Typ-Materialien zeigte, dass im Sinne einer Harmonisierung der Prüfbedingungen für die werkseigene Produktionskontrolle wird die Durchlässigkeit ungebundener Gemische auch weiterhin bei einer nominellen Verdichtung von 1.2 MJ/m³ geprüft werden kann.
Die k-Werte, die unter "harmonisierten" Versuchsbedingungen (also gleich wie für CBR-Versuche) ermittelt wurden, liegen im Bereich von $5.6 \cdot 10^{-7}$ bis $3.9 \cdot 10^{-5}$ m/s. Diese Werte können also als Basis für die Festlegung von normativen Anforderungen an die Durchlässigkeit verwendet werden.
Die Ergebnisse der Studie förderten also auch neue Fragestellungen zu Tage, welche für die zukünftige Weiterentwicklung des Normenwerks noch vertiefter analysiert werden sollten. Ein zentraler Punkt ist hierbei die Frage der Grundlage, auf der bei der werkseigenen Produktionskontrolle entschieden wird, ob ein ungebundenes Gemisch überhaupt auf Gebrauchstauglichkeitseigenschaften wie die Durchlässigkeit und die Frostsicherheit zu prüfen ist oder nicht. Nicht nur das vorliegende Forschungsprojekt, sondern auch frühere VSS-Studien zeigten auf, dass die bisherigen einfachen Kriterien bzw. Schwellenwerte, welche im Wesentlichen auf einer Betrachtung des Feinanteils (Siebdurchgang bei 0.063 mm) in der Gesamtprobe beruhen, hierfür nicht ausreichend sind. Vielmehr zeigt sich, dass die Verdichtungseigenschaften – also die Kenngrößen welche typischerweise mittels Proctorversuch ermittelt werden – wesentlich relevanter zu sein scheinen.

Publikationen:

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Kaeser

Vorname: Benjamin

Amt, Firma, Institut: BSL Baustofflabor 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 Begleitkommission hat die Forschungsarbeit in mehreren Sitzungen eng begleitet und erachtet die Arbeit und Ergebnisse als relevant für das Normenwesen. Die Beurteilung der Forschungsstelle betreffend der Ergebnisse und Einflussfaktoren wird geteilt. Es hat sich gezeigt, dass die Frage der Frostbeständigkeit und Wasserdurchlässigkeit von vielfältigen Faktoren abhängig sind.

Umsetzung:

Die Forschungsarbeit wurde durch die Normenkommission initiiert. Mit den vorliegenden Ergebnissen wurde die Grundlage geschaffen in den Anforderungsnormen Grenzwerte für die Wasserdurchlässigkeit zu definieren.

weitergehender Forschungsbedarf:

Wie von der Forschungsstelle ausgeführt zeigt sich eindeutig weiterer Forschungsbedarf wie z. B. der Frage nach dem Einfluss der Verdichtungseigenschaften – also der Kenngrößen welche typischerweise mittels Proctorversuch ermittelt werden.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Forschungsergebnisse lösen eine Normenrevision aus mit der in der VSS 70119 Grenzwerte für die Durchlässigkeit von ungebundenen Gemischen definiert werden.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Wetzig

Vorname: Volker

Amt, Firma, Institut: FSKB, Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission: