

Schaffung eines Bewertungshintergrundes für die Bestimmung des Infiltrationsbeiwertes mit dem Standrohr-Infiltrometer im Labor – Bewertungshintergrund Standrohr-Infiltrometer

FA 6.112

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau (Prof. Dr.-Ing. habil. F. Wellner)

Bearbeiter: Spanier, T. / Wolf, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Dezember 2018

1 Aufgabenstellung

1.1 Einleitung und Problemstellung

Die Qualität beziehungsweise Gebrauchstauglichkeit der ToB wird in den Regelwerken des Straßenbaus im Wesentlichen über die Eigenschaften Tragfähigkeit, Verdichtung und Wasserdurchlässigkeit definiert. Detaillierte Vorgaben des Regelwerks zur Beschaffenheit der einzusetzenden Baustoffgemische und Böden bilden den Ausgangspunkt, diese Eigenschaften im Herstellungsprozess realisieren zu können [TL SoB 07].

Während die Forderung nach ausreichender Tragfähigkeit je nach Bauweise, Belastungsklasse und Schichtdicke in konkreten Anforderungen an den Tragfähigkeitswert (E_{v2} -Wert) ihren Ausdruck findet, gibt es derartig konkrete Forderungen für die Wasserdurchlässigkeit bisher nicht. Dies liegt einerseits daran, dass die Prüfung dieser Eigenschaft noch nicht verbindlich vorgeschrieben ist. Andererseits liegen bisher kaum gesicherte Erkenntnisse vor, wonach sich eine Bauweise als "ausreichend durchlässig" bezeichnen lässt, und in welchen Größenordnungen Wasserdurchlässigkeiten von Befestigungen mit ToB unter Praxisbedingungen überhaupt erzielt werden können (WOL 14).

Im Allgemeinen wird unterstellt, dass bei Einhaltung der im Regelwerk vorgegebenen Korngrößenverteilung eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit gewährleistet ist. Wie Schäden, vor allem an mit Pflaster und mit Platten befestigten Flächen, immer wieder zeigen, ist diese Annahme nicht zutreffend.

Durch Ermittlung der Korngrößenverteilung im ToB-Material ist folglich keine gesicherte Aussage über die Wasserdurchlässigkeit einer ToB möglich. Es besteht die Notwendigkeit, direkt an der ToB geeignete Versuche zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit durchzuführen.

Dem Thema "Prüfung der Wasserdurchlässigkeit von ToB" wurden in den letzten Jahrzehnten einige Forschungsvorhaben gewidmet. Schließlich haben diese Forschungen zu einer Reihe von Technischen Prüfvorschriften geführt, die seit 2012 beziehungsweise 2015 veröffentlicht sind.

Der einfache Versuchsaufbau und die Möglichkeit, das Standrohr-Infiltrometer-Verfahren sowohl in situ als auch im Labor anwenden zu können, stellt sich als signifikanter Vorteil gegenüber anderen Prüfverfahren dar, deshalb wurde es für eine breitere Anwendung favorisiert. Auf Grundlage der bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse in der Anwendung des Verfahrens in der Praxis sind jedoch keine gesicherten Aussagen zu Kennwerten für die Wasserdurchlässigkeit abzuleiten.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollte für die Anwendung des Standrohr-Infiltrometers im Labor ein Bewertungshintergrund für in Deutschland gebräuchliche Tragschichtmaterialien geschaffen werden. Dieser Bewertungshintergrund soll es ermöglichen, im Ergebnis von Laboruntersuchungen Prognosen zur Durchlässigkeit eines Baustoffgemischs im eingebauten Zustand treffen zu können.

1.3 Untersuchungsmethodik

Die Realisierung des Forschungsvorhabens stützt sich einerseits auf bereits vorhandene Erfahrungen und Messdaten sowie neue, im Zuge des Projekts durchgeführte Untersuchungen an ungebundenen Tragschichten. Die Untersuchungen gliedern sich in folgende Teilkomplexe:

- Untersuchungen unter Baustellenbedingungen,
- Untersuchungen auf Versuchsfeldern und
- Untersuchungen im Labor.

In den Bewertungshintergrund für Messungen mit dem Standrohr-Infiltrometer sollten Erfahrungen mit einer möglichst großen Anzahl repräsentativer Baustoffe und Bauweisen einfließen. Es wurden 43 Baustellen beprobt, insgesamt liegen 132 Messwerte von Baustellen vor.

Prüfprogramm je Baustelle:

- 3 x Bestimmung des Infiltrationsbeiwerts mit dem Standrohr-Infiltrometer,
- 1 x Bestimmung der Lagerungsdichte nach [DIN 18125-2:2011] mittels Desitometer und
- 1 x Bestimmung der Korngrößenverteilung an Ausbauproben der Messpunkte.

Ergänzend zu den Baustellenversuchen erfolgten Untersuchungen auf Versuchsfeldern. Unter Anwendung von Infiltrometern unterschiedlicher Bauart wurden verschiedene ungebundene Baustoffgemische beprobt.

Prüfprogramm je Versuchsfeld:

Zwei unterschiedliche Lagerungsdichten mit je:

- 9 x Doppelring-Infiltrometer,
- 9 x Standrohr-Infiltrometer Baustellengerät,
- 9 x Standrohr-Infiltrometer Laborgerät,
- 1 x Bestimmung der Lagerungsdichte und
- 1 x Bestimmung der Korngrößenverteilung.

Damit liegen Ergebnisse zu 324 Infiltrationsmessungen auf Versuchsfeldern vor.

Zu jeder untersuchten Baustelle und jedem Versuchsfeld wurden mindestens zwei Infiltrometerversuche im Labor durchgeführt. Insofern Liefermaterial der Baustellen zur Verfügung

stand, wurde dieses zu Herstellung der Probekörper verwendet, überwiegend musste jedoch auf Ausproben zurückgegriffen werden. Insgesamt wurden für 120 Probekörper Infiltrationsbeiwert, Trockendichte und Korngrößenverteilung bestimmt.

2 Untersuchungsergebnisse

2.1 Baustellenversuche

Bild 1 zeigt die Einzelwerte der Baustellenversuche, bezogen auf den Mittelwert der Versuchsserie der jeweiligen Baustelle. Die zu einer Serie (Baustelle) gehörenden Einzelwerte bilden eine vertikale Linie über dem Mittelwert der Baustelle.

Als durchlässig gilt nach [DIN 18130-1:1998] der Bereich $10^{-6} < k < 10^{-4}$ m/s. In diesem Bereich liegt die Mehrzahl der Messergebnisse.

Um die im Rahmen dieses Forschungsprojekts ermittelten Versuchsergebnisse bewerten und einordnen zu können, soll in diesem Bericht, unter Bezugnahme auf die Arbeiten von Berner und Floss (BER 92) und Wolf (KEL 18), sowohl für FSS als auch für KTS/STS ein Mindestwert von $k_{i(10)} \geq 10^{-5}$ m/s als ausreichend angesehen werden.

Die Forderung nach guter Wasserdurchlässigkeit mit dem Orientierungswert $k_{i(10)} \geq 1 \times 10^{-5}$ m/s erfüllen somit nur ca. 50 % der geprüften Messstellen. Bezogen auf die einzelnen Baustellen (Prüflose) bedeutet das, auf 47 % der Baustellen liegt mindestens ein Messergebnis unter $k_{i(10)} \geq 1 \times 10^{-5}$ m/s, 28 % der Baustellen erfüllen den Orientierungswert an keinem Messpunkt.

Insgesamt ist nur für wenige Baustellen eine befriedigende Übereinstimmung zwischen den an einzelnen Messpunkten ermittelten Infiltrationsraten festzustellen. In der überwiegenden Mehrheit streuen die Messergebnisse erheblich. Als mögliche Ursachen für diese Streuungen kommen Inhomogenitäten in der Lagerungsdichte und der Korngrößenverteilung im Material in Betracht.

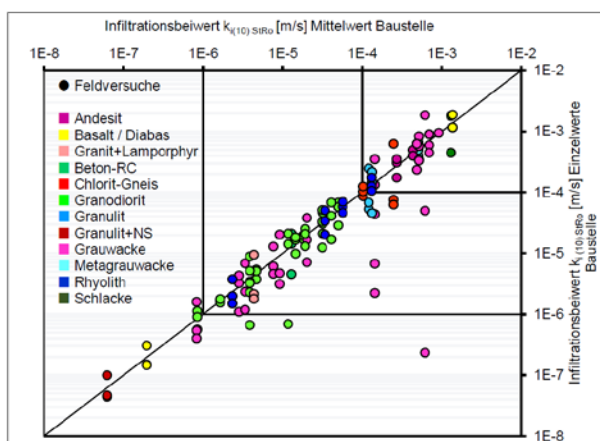


Bild 1: Einzelwerte der Infiltrationsbeiwerte Baustelle bezogen auf den Mittelwert der Versuchsserie.

Welche Infiltrationsbeiwerte bei bestimmten Feinanteilen (Klassen in 0,5-M.-%-Schritten) erzielt wurden, zeigt Bild 2. Dargestellt sind die Anzahl gemessener Infiltrationsbeiwerte in Abhängigkeit der Klasse des Feinanteils. Die Farbcodierungen geben an, wie viele Messwerte für das jeweilige Wertepaar

stehen (siehe Bildunterschrift). Bei Feinanteilen ≤ 5 M.-% lagen die Werte mehrheitlich über 10^{-5} m/s. Für Feinanteile im Intervall $5 \leq 7$ M.-% wurden überwiegend Infiltrationswerte $10^{-7} < k_{i(10)} < 5 \times 10^{-4}$ m/s gemessen. Es ist gut erkennbar, dass mit Zunahme des Feinanteils auch die Anzahl von Messpunkten mit $k_{i(10)} < 10^{-5}$ m/s steigt. Eine generelle Schwerpunktverschiebung findet jedoch nicht statt.

Klassen	Infiltrationsbeiwerte $k_{i(10)STRO}$ m/s										
	>1E-8 ≤5E-8	>5E-8 ≤1E-7	>1E-7 ≤5E-7	>5E-7 ≤1E-6	>1E-6 ≤5E-6	>5E-6 ≤1E-5	>1E-5 ≤5E-5	>5E-5 ≤1E-4	>1E-4 ≤5E-4	>5E-4 ≤1E-3	>1E-3 ≤5E-3
0 ≤ 1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5 ≤ 2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2
2 ≤ 2,5	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-
2,5 ≤ 3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	-
3 ≤ 3,5	-	-	-	-	1	2	4	2	7	3	-
3,5 ≤ 4	-	-	-	-	3	1	5	2	3	-	-
4 ≤ 4,5	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
4,5 ≤ 5	-	-	-	1	2	2	8	1	3	1	-
5 ≤ 5,5	-	-	3	-	3	2	3	4	5	4	3
5,5 ≤ 6	-	-	1	1	3	-	2	3	1	-	-
6 ≤ 6,5	2	1	-	1	4	1	-	-	2	-	-
6,5 ≤ 7	-	-	1	2	4	-	2	-	-	-	1
7 ≤ 7,5	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-
7,5 ≤ 8	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
8 ≤ 8,5	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-
8,5 ≤ 9	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
9 ≤ 9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,5 ≤ 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 ≤ 10,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,5 ≤ 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 ≤ 11,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,5 ≤ 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12 ≤ 12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12,5 ≤ 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13 ≤ 13,5	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Bild 2: Feldversuche, Feinanteil und Anzahl der zugehörigen Infiltrationsbeiwerte

Die Ergebnisse machen deutlich, dass die Einhaltung einer bestimmten Sieblinie (hier Feinanteil + Sandanteil) kein hinreichendes Kriterium für eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit ist. Die Bewertung einer ToB hinsichtlich Wasserdurchlässigkeit auf Grundlage des Feinanteils und der erreichten Verdichtung erscheint somit nicht möglich, hierzu bedarf es der Durchführung von In-situ-Versuchen (Infiltrationsmessungen). Die Bewertungsmethode muss große Messwertschwankungen und den geringen Stichprobenumfang angemessen berücksichtigen.

2.2 Versuchsfelder

Die Messergebnisse der Versuchsfelder (Bild 3) streuen insgesamt nahezu in gleicher Breite wie die Baustellenergebnisse. In den Versuchsfeldern Nr. 2 (Grauwacke) und Nr. 4 (Chlorit-Gneis) liegen die Werte am weitesten auseinander, für diese Serien ist keine Messwerthäufung erkennbar. Die Serien der übrigen Felder haben, von Einzelwerten oberhalb der Verfahrensgrenze abgesehen (V3.1), einen Konzentrationsbereich.

Vergleichsmessungen mit unterschiedlichen Geräten auf demselben Messpunkt bildeten den Schwerpunkt der Arbeit auf den Versuchsfeldern. Die Ergebnisse der Vergleichsversuche in Bild 4 und 5 zeigen erhebliche Differenzen zwischen den Messungen mit dem Doppelping-Infiltrimeter und den Standrohr-Infiltrimetern. Die Messwertdifferenzen zwischen den Standrohr-Infiltrimetern (Baustellengerät/Laborgerät) sind deutlich geringer. (Bild 6)

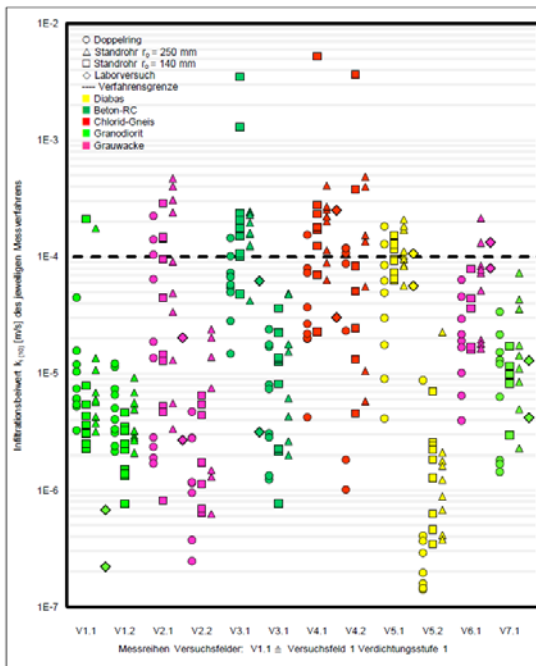


Bild 3: Gesamtübersicht der Versuchsergebnisse aller Versuchsfelder

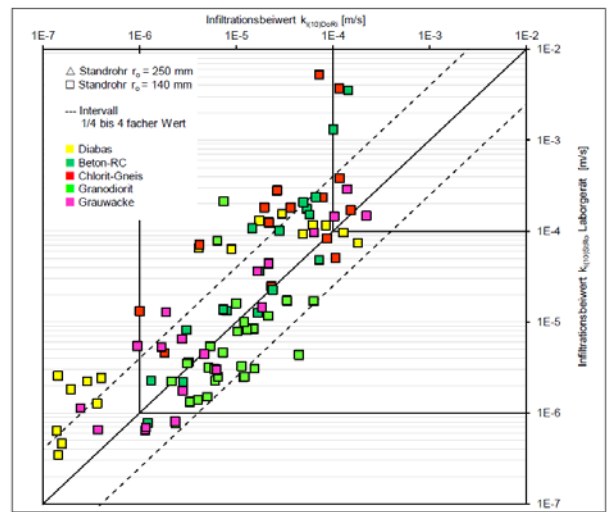


Bild 5: Messergebnis Laborgerät bezogen auf Messergebnis Doppelring-Infiltrometer

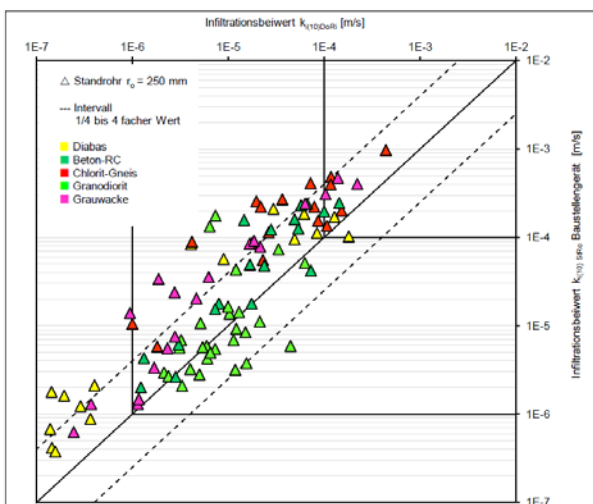


Bild 4: Messergebnis Baustellengerät bezogen auf Messergebnis Doppelring-Infiltrometer

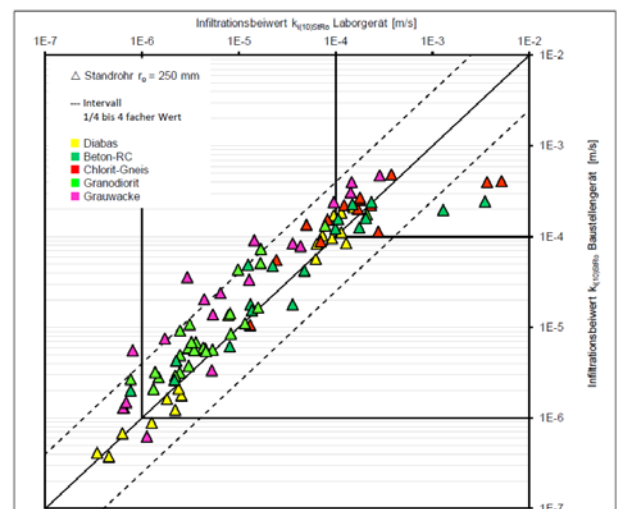


Bild 6: Messergebnis Baustellengerät bezogen auf Messergebnis Laborgerät

Für die Bestimmung des Infiltrationsbeiwerts im Feldversuch gelten nach den TP Gestein Standrohr-Infiltrometer und Doppelring-Infiltrometer als gleichwertige Verfahren. Demgegenüber sind jedoch erhebliche Differenzen in den Messergebnissen für ein und dieselbe Fläche festzustellen. Tendenziell wurden mit den Standrohr-Infiltrometern größere Infiltrationsraten gemessen.

2.3 Laborversuche

Für die Einzelwerte der Laborversuche (Bild 7) ist eine deutlich größere Streuung festzustellen als für die Einzelwerte der Baustellenversuche. Tendenziell liegen die im Labor erzielten Infiltrationsbeiwerte unter dem Mittelwert der Baustellenversuche.

Als mögliche Ursachen für diese Abweichungen kommen zunächst von den Baustellenversuchen abweichende Trocken-

dichten und gegenüber dem Ausgangsmaterial veränderte Korngrößenverteilungen in Betracht. Um die Auswirkung dieser Eigenschaften auf die Infiltrationswerte und deren Streuung erkennen zu können, wurden Grenzbereiche definiert, welche zum Ausschluss des jeweiligen Laborversuchs von der Gesamtbetrachtung führen.

Die im Laborversuch erzielten Trockendichten lagen bei 93 bis 117 % des zugehörigen Baustellenwerts.

Kriterium 1 (Trockendichte ρ_{TR}): Begrenzung der zulässigen Abweichung der im Labor erzielten Trockendichte von der Trockendichte der Baustelle auf +/- 3 % (absolut), das heißt, es werden nur die Messwertepaare berücksichtigt, bei denen die im Labor erzielte Trockendichte zwischen 97 und 103 % der in situ ermittelten Trockendichte lag.

Die Porenstruktur (Größe, Tortuosität) hängt mit der Korngrößenverteilung zusammen, für einen Vergleich können deshalb nur Ergebnisse berücksichtigt werden, die bei einer ähnlichen Korngrößenverteilung ermittelt worden sind. Als Kriterium soll hier der Feinanteil betrachtet werden. Die Korngrößenverteilungen der Laborversuche weisen eine Zunahme des Feinanteils (Siebdurchgang, Sieb < 0,063 mm in M.-%) durch Verdichtung von (relativ) 5 bis 164 % bezogen auf den Feinanteil der Ausgangsprobe aus. Die Probe mit 164 % Feinkornzunahme war ein Beton-RC-Material; im Wesentlichen liegen die Werte zwischen 5 bis 75 %.

Kriterium 2 (Korngrößenverteilung): Begrenzung der zulässigen Zunahme des Feinanteils auf 50 %. Die nach Anwendung dieser Filterkriterien verbleibenden Laborversuche sind in Bild 8 dargestellt.

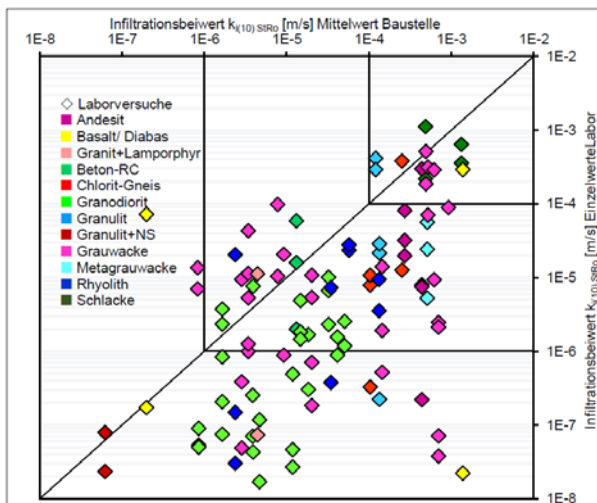


Bild 7: Einzelwerte der Infiltrationsbeiwerte aus dem Laborversuch bezogen auf den Mittelwert der Baustellenversuche

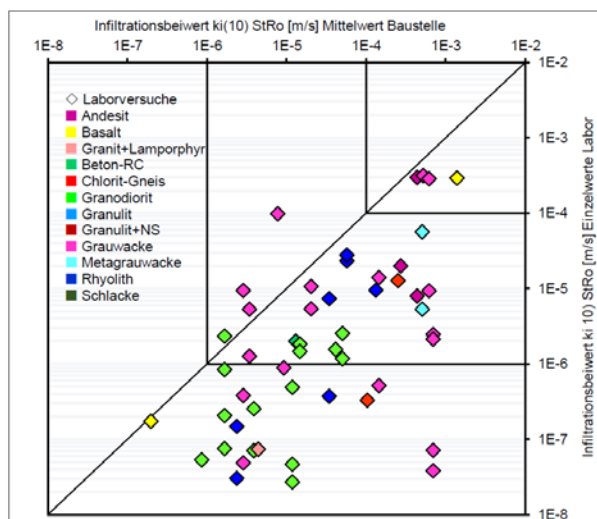


Bild 8: Nach Filterkriterium 1 und 2 reduzierte Einzelwerte der Infiltrationsbeiwerte. Laborversuch bezogen auf den Mittelwert der Baustellenversuche

Auf Grundlage der Erkenntnis, dass mit zunehmendem Verdichtungsgrad und Feinanteil die Wasserdurchlässigkeit abnimmt, wurden für Versuchsserien mit gleichem Ausgangsmaterial Plausibilitätsprüfungen durchgeführt. Für die Wasser-

durchlässigkeit in Abhängigkeit der Verdichtung haben ca. 95 % der Versuchsserien einen plausiblen Kurvenverlauf, mit steigender Verdichtung nimmt die Wasserdurchlässigkeit ab. Der Gradient ist dabei in Abhängigkeit des Verdichtungsgrads und der gleichzeitigen Feinkornzunahme unterschiedlich (Bild 9). Eine signifikante Feinkornzunahme in Abhängigkeit der Verdichtung war bei ca. 60 % der Versuchsserien nachweisbar.

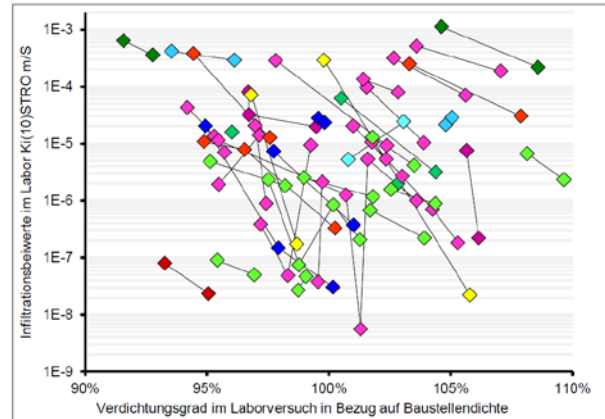


Bild 9: Plausibilitätsprüfung 1 Abnahme der Infiltrationsbeiwerte bei zunehmender Verdichtung

Im Ergebnis der vorgenannten Plausibilitätsprüfungen können die Laborergebnisse als schlüssig eingestuft werden. Einfluss der Verdichtung auf die Wasserdurchlässigkeit:

2.3.1 Einfluss der Verdichtung auf die Wasserdurchlässigkeit

Aus den Ergebnissen der Plausibilitätsprüfung 1 ist ein Zusammenhang zwischen Wasserdurchlässigkeit und Verdichtung ersichtlich. Da in den untersuchten Fällen eine höhere Verdichtung immer in Verbindung mit einer höheren Verdichtungsarbeit und daraus resultierender Kornveränderung erzielt wurde, sind diese Einflüsse ebenfalls zu berücksichtigen. Eine Isolation des Einflusses der Verdichtung auf die Wasserdurchlässigkeit war mit den zur Verfügung stehenden Verfahren nicht möglich. Die Abschätzung des Einflusses der Verdichtung für ein bestimmtes Baustoffgemisch setzt Versuchsserien an identischen Ausgangsproben voraus.

2.3.2 Wasserdurchlässigkeit in Abhängigkeit des Feinanteils der Proben

Die vorgenannten Aussagen treffen auch für den Einfluss der Korngrößenverteilung auf die Wasserdurchlässigkeit zu. Im Labor ermittelte Infiltrationsbeiwerte und zugehörige Feinanteile sind in Bild 10 zusammengefasst. Auch hier ist eine breite Streuung möglicher Kombinationen festzustellen. Für Proben mit Feinanteilen unter 7 M.-% liegen die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte mehrheitlich bei $10^{-6} \leq k_{i(10)StRk} \leq 5 \times 10^{-4}$ m/s. Für die Versuche mit mehr als 7 M.-% Feinanteil verteilen sich die gemessenen Werte nahezu gleichmäßig auf den Bereich $10^{-8} < k_{i(10)StRk} \leq 5 \times 10^{-5}$ m/s; hier ist keine Konzentration der Ergebnisse auf einen Durchlässigkeitsbereich festzustellen.

Tendenziell wurden bei höheren Feinanteilen kleinere Infiltrationsbeiwerte gemessen.

Klassen	Infiltrationsbeiwerte $K_{i(10\text{StB})}$ [m/s]											
	>5E-9	>1E-8	>5E-8	>1E-7	>5E-7	>1E-6	>5E-6	>1E-5	>5E-5	>1E-4	>5E-4	>1E-3
	≤1E-8	≤5E-8	≤1E-7	≤5E-7	≤1E-6	≤5E-6	≤1E-5	≤5E-5	≤1E-4	≤5E-4	≤1E-3	≤5E-3
0≤2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2≤2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
2,5≤3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
3≤3,5	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	-	1
3,5≤4	-	-	-	-	-	1	2	1	-	1	-	-
4≤4,5	-	-	-	-	-	3	-	-	-	1	-	-
4,5≤5	-	-	-	1	1	5	1	2	1	-	-	-
5≤5,5	-	-	-	1	1	3	-	2	2	1	-	-
5,5≤6	-	-	-	-	1	1	1	1	2	1	-	-
6≤6,5	-	-	-	1	1	1	2	1	2	4	-	-
6,5≤7	-	1	1	4	-	-	-	3	2	1	1	-
7≤7,5	-	4	2	-	-	1	3	5	-	-	-	-
7,5≤8	-	-	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-
8≤8,5	-	2	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-
8,5≤9	-	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-	-
9≤9,5	-	-	1	-	1	-	1	1	-	1	-	-
9,5≤10	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
10≤10,5	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-
10,5≤11	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
11≤11,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,5≤12	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-

Bild 10: Laborversuche, Feinanteil und Anzahl der zugehörigen Infiltrationsbeiwerte

3 Schlussfolgerungen

3.1 Baustellenversuche

In Bezug auf den Orientierungswert (für Wasserdurchlässigkeit $K_{i(10)} \geq 10^{-5}$ m/s) sind die Baustellenversuche wie folgt zu bewerten:

Auf ca. 50 % der Baustellen wurde mindestens ein Wert unterhalb des Mindestwerts gemessen, für ca. 30 % der Baustellen lagen alle gemessenen Infiltrationswerte unterhalb $K_{i(10)} = 10^{-5}$ m/s.

Damit erfüllt etwa die Hälfte der geprüften ToB zwar die derzeitigen Regelanforderungen hinsichtlich KGV, besitzen jedoch, zumindest in Teilbereichen, keine ausreichende Wasserdurchlässigkeit. Für ca. 20 % dieser ToB wurde bei keiner der Messungen eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit nachgewiesen.

Infolge der geringen Präzision der In situ-Messverfahren ist eine Isolation des Einflusses der Lagerungsdichte beziehungsweise des Feinkorngehalts auf die Wasserdurchlässigkeit nicht möglich. Mit den durchgeführten Feldversuchen konnte nur der tendenzielle Einfluss des Feinanteils auf die Wasserdurchlässigkeit nachgewiesen werden. Die Bewertung einer ToB hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit auf Grundlage des Feinanteils und der erreichten Verdichtung allein erscheint wegen der fehlenden Korrelationen nicht sinnvoll. Wenn die Wasserdurchlässigkeit einer ToB von Bedeutung ist und bewertet werden soll, bedarf es der Durchführung von In-situ-Versuchen (Infiltrationsmessungen).

ToB mit geringem Feinanteil (< 5 M.-% im Einbaustand) haben mit hoher Wahrscheinlichkeit eine gute Wasserdurchlässigkeit. Die Begrenzung des Feinanteils im Baustoffgemisch ist jedoch kein Garant für eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit der ToB (siehe Bild 2).

Aufgrund großer Streuung der Infiltrationsbeiwerte innerhalb eines Baustellenloses ist der Mittelwert aller Messergebnisse

kein geeignetes Bewertungskriterium einer Schicht. Es empfiehlt sich, für die Abnahme eines Loses einen Anforderungswert als Mindestwert zu definieren, welcher an keinem Messpunkt unterschritten werden darf. Wird der Mindestwert unterschritten, ist zu prüfen, inwiefern es sich um eine lokal begrenzte Teilfläche mit ungenügender Wasserdurchlässigkeit handelt. Dazu sind in unmittelbarer Nähe zum beanstandeten Messpunkt mindestens zwei weitere Messungen durchzuführen, welche den Mindestwert erfüllen müssen, das heißt, der Anforderungswert muss von mehr als 2/3 der untersuchten Messpunkte erfüllt sein.

3.2 Versuchsfelder – Vergleichsmessungen

Die bei den Baustellenversuchen gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich Streuung der Messwerte und Nachweis der Einflussparameter wurden im Wesentlichen durch die Messungen auf den Versuchsfeldern bestätigt. Infolge unvermeidbarer Inhomogenität der Korngrößenverteilung und Verdichtungsunterschieden traten auch hier Messwertstreuungen auf.

Die Vergleichsmessungen mit unterschiedlichen Geräten ergaben, dass jedes der eingesetzten Messverfahren für ein und denselben Messpunkt ein anderes Ergebnis ausweist. Die Messverfahren sind somit nicht als gleichwertig zu betrachten. Die Bewertung der Wasserdurchlässigkeit eines Prüfloses ist somit unter Umständen abhängig vom gewählten Messgerät beziehungsweise Prüfverfahren. Mit welchem der getesteten Verfahren die tatsächliche Situation am besten erfasst wird, kann infolge fehlender Referenzen nicht beurteilt werden. Wolf stellte jedoch im Ergebnis von Vergleichsversuchen eine gute Übereinstimmung zwischen im Lysimeter ermittelten Felddurchlässigkeiten und Infiltrationsversuchen mit dem Doppelring-Infiltrimeter fest (WOL 14). Für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im Feldversuch stehen in den TP Gestein-StB drei Prüfverfahren gleichberechtigt zu Auswahl. Die Definition von verbindlichen Anforderungswerten kann nur in Verbindung mit einem zugehörigen Prüfgerät erfolgen.

Für das Baustellengerät konnte keine gegenüber dem Laborgerät bessere Erfassung der Wasserdurchlässigkeit nachgewiesen werden. Davon ausgehend, dass die Bewertungssicherheit im Wesentlichen von Anzahl und Dichte der Messpunkte bestimmt wird, erscheint es zweckmäßig, die Messungen jedoch mit dem handlicheren Laborgerät durchzuführen und dafür die Prüfdichte zu erhöhen.

3.3 Laborversuche

Wie bei den Baustellenergebnissen ist für die Einzelwerte der Laborversuche ebenfalls eine große Streuung festzustellen. Tendenziell liegen die im Labor erzielten Infiltrationsbeiwerte unter denen der Baustellenversuche. Kollar und Radenberg [RAD 10] kamen in ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass die Ergebnisse einer Prüfung der Wasserdurchlässigkeit im Labor mit der modifizierten Arbeit nach Proctor stets auf der sicheren Seite liegen und zwar auch dann, wenn man einen "überverdichteten" Zustand der Schicht in der Praxis betrachtet. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen diese Feststellung. Die gegenüber den Baustellenversuchen geringeren Infiltrationsbeiwerte der Laborversuche können auf den Anstieg des Fein-

anteils und der höheren Verdichtung in den Laborproben zurückgeführt werden. Die Verdichtung der Proben mit modifizierter Proctorarbeit bildet die In-situ-Einbausituation in Bezug auf Verdichtungsgrad und Kornveränderung nur unzureichend ab.

Bei Materialgemischen mit ausgeprägt plattigen Körnern sind Versuchsergebnisse hinsichtlich Randumläufigkeit kritisch zu bewerten, gegebenenfalls sind Vergleichsversuche mit Randabdichtung durchzuführen.

Hinsichtlich der Erkenntnis, dass mit zunehmendem Verdichtungsgrad und Feinkorngehalt die Wasserdurchlässigkeit abnimmt, lieferten die Laborversuche schlüssige Ergebnisse. Eine präzise Vorhersage zur Entwicklung der Wasserdurchlässigkeit in Abhängigkeit von Verdichtung und/oder Korngrößenverteilung erscheint jedoch nicht möglich. Die Laborversuche sind jedoch geeignet, das Potenzial einer ToB hinsichtlich Wasserdurchlässigkeit bei einer bestimmten Lagerungsdichte und Korngrößenverteilung aufzuzeigen. Die Prognose für die Wasserdurchlässigkeit bezieht sich dabei auf die ("frische") ToB unmittelbar nach Herstellung. Welche Veränderungen (in der Regel Verringerung der Wasserdurchlässigkeit) sich zum Beispiel durch Baustellenverkehr ergeben, lässt sich im Labor nicht abbilden.

4 Quellenverzeichnis

- [BER 92] BERNER, FLOSS: Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik; Heft 619; Ausgabe 1992.
- [DIN 18123] Baugrund; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Korngrößenverteilung, Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin; 1983.
- [DIN EN 933-1] Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteinskörnungen, Teil 1; Bestimmung der Korngrößenverteilung, Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin; 1997.
- [DIN 18125-2 11] DIN 18125-2:2011-03 Baugrund; Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung der Dichte des Bodens – Teil 2: Feldversuche, Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 2011.
- [DIN 18 130-1 98] Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1, Ausgabe 1998, Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin; 1998.
- [KEL 18] KELLERMANN-KINNER, WOLF: Schichten ohne Bindemittel für die Straße im 21. Jahrhundert – Teil 1, Straße und Autobahn 8/2018
- [RAD 10] KOLLAR / RADENBERG: Forschungsprojekt FE 06.084/2006 "Entwicklung eines Laborverfahrens zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Baustoffgemischen für Tragschichten ohne Bindemittel" Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1041, 2010.
- [TL SoB 07] TL SoB-StB 04 / Fassung 2007: Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau; 2004/2007, FGSV-Nr. 697

[WOL 14] WOLF, MIKE: Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel in Straßenbefestigungen; Dissertation, TU Dresden, 2014.