

Entwicklung eines Laborverfahrens zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Baustoffgemischen für Tragschichten ohne Bindemittel

FA 6.084

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswegebau (Prof. Dr.-Ing. M. Radenberg)

Bearbeiter: Kollar, J.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: August 2009

1 Aufgabenstellung

1.1 Einleitung und Problemstellung

Nach den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO 01) muss der Straßenoberbau frostsicher und für den Verkehr ausreichend tragfähig sein. Gemäß den ZTV SoB-StB 04 sind Tragschichten ohne Bindemittel so auszuführen, dass sie auch im verdichteten Zustand ausreichend wasserdurchlässig sind. Konkrete Anforderungswerte an die Wasserdurchlässigkeit werden aber bisher nicht gestellt. Insbesondere für die Langlebigkeit von Pflaster- und Plattenbelägen sowie Betondecken über Schottertragschichten ist es jedoch von entscheidender Bedeutung, dass die Unterlage neben einer gleichmäßigen und hohen Tragfähigkeit auch eine ausreichende vertikale Wasserdurchlässigkeit aufweist. Das heißt, dass eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel besonders für die Bauweisen von Bedeutung ist, bei denen Fugen in den Deckschichten vorhanden sind. Aber auch bei Bauweisen mit dichter Deckschicht ist eine hohe Wasserdurchlässigkeit der Tragschicht ohne Bindemittel nützlich, wenn das von der Straßenböschung über das Bankett oder von einem Hang bei Einschnittslage eintretende Wasser schnell versickern soll.

Derzeit wird eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit von Tragschichten ohne Bindemittel lediglich über die Vorgabe einer definierten Korngrößenverteilung nach den TL SoB-StB 04 vorausgesetzt. Für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit dieser Schichten können und werden aber auch heute schon sowohl Laborverfahren als auch In-situ-Verfahren verwendet. Oftmals wird aber für Baustoffgemische, die mit Laborverfahren als durchlässig und damit geeignet für Tragschichten ohne Bindemittel eingestuft werden, in der Praxis eine nicht ausreichende Durchlässigkeit mit In-situ-Verfahren nachgewiesen.

Dies führt dazu, dass sich bei stärkeren Niederschlägen und teildurchlässigen Oberbaukonzepten häufig Stauwasser im Oberbau bildet, das wiederum zu einem signifikanten Tragfähigkeitsverlust und im Extremfall sogar zu Kornumlagerungen in der Schicht führt.

Bei der Auswahl eines geeigneten Laborverfahrens wird zwar auch heute schon unterschieden, ob ein gut durchlässiges oder ein schwach durchlässiges Material geprüft wird, fraglich ist dabei aber, ob die Prüfungsrandbedingungen, wie z. B. Probekörperabmessungen und Verdichtungsmanagement, dem geprüften Baustoff und Einsatzbereich gerecht werden.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Laborverfahrens, mit dem die unter Praxisbedingungen eingebauten Baustoffgemische hinreichend genau hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit beurteilt werden können. Von entscheidender Bedeutung ist dabei die Art und Weise der Probenverdichtung,

die einerseits die notwendigen Tragfähigkeiten aber auch die in der Praxis auftretenden Kornverfeinerungen berücksichtigen muss. Ein brauchbares Verfahren lässt sich somit nur durch einen direkten Abgleich verschiedener Baustoffgemische mit den In-situ-Durchlässigkeiten beim Praxiseinbau finden.

2 Untersuchungsmethodik

In einer Literaturübersicht wurden die in Deutschland sowie im europäischen Ausland angewandten Laborverfahren zur Prüfung der Verdichtbarkeit von Baustoffgemischen ohne Bindemittel sowie ein Vergleich der unterschiedlichen Verfahren zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im Labor und in situ dargestellt. Dadurch wurde ein Überblick über die vielfältigen Prüfungsrandbedingungen geschaffen.

Ein für die Praxistauglichkeit der Prüfergebnisse maßgebender Aspekt ist sicherlich das Verdichtungsmanagement bei der Probenherstellung. Erst nach Betrachtung der verschiedenen Aspekte wurde der Grundaufbau des Prüfverfahrens festgelegt. Einige Prüfungsrandbedingungen blieben dabei zunächst noch als variable Größe bestehen. Diese sind

- Verdichtungsenergie,
- Hydraulisches Gefälle und
- Randumläufigkeit.

Der gewählte Ansatz der Arbeit bestand darin, dass für die Entwicklung eines Laborverfahrens zunächst die Bedingungen der Praxis erfasst wurden, die dann für die Festlegung der Laborbedingungen maßgeblich waren. Dafür wurden Versuchsfelder angelegt, in denen ein Kalksteingemisch unter Variation der Korngrößenverteilung und eventuell der Verdichtungsarbeit eingebaut wurde. Dabei wurden jeweils alle Einbaukennwerte einschließlich der Wasserdurchlässigkeit ermittelt. Für diesen Untersuchungsschritt wurden mit einer Gesteinsart vier verschiedene Korngrößenverteilungen (0/32 mm "fein" und "grob" sowie 0/56 mm "fein" und "grob") untersucht.

Tabelle 1: Überblick über die weiteren untersuchten Gesteinsarten

Gesteinsart	Laboruntersuchung		Felduntersuchung	
	BPA	Auflussmessgerät	Tropfentropfenfildrometer	Auflussmessgerät
Basalt	x	x	x	x
Diabas	x	x		
Kiessand	x	x		
Kalkstein I	x	x	x	x
Kalkstein II	x	x	x	x
RC-Baustoff I	x	x	x	x
RC-Baustoff II	x	x	x	x
HMV-Asche	x	x	x	x

BPA = Back-Pressure-Anlage

Anschließend wurden dann an verschiedenen Baustoffgemischen die Wasserdurchlässigkeiten auf den Baustellen

und im Labor ermittelt. Einen Überblick über das weitere Untersuchungsprogramm zeigt die Tabelle 1.

Die Korngrößenverteilung der Baustoffgemische wurde unter Berücksichtigung der Vorgaben der TL SoB-StB 04 zusammengesetzt, wobei die Gemische "grob" jeweils an der unteren Begrenzungslinie der Sieblinienbereiche für Schotter- und Kiesfraktionen angesiedelt sind und die Gemische "fein" den Bereich der oberen Sieblinienbegrenzung abdecken.

Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im Labor wurden zwei Verfahren gegenübergestellt: das Verfahren mit einer an der Ruhr-Universität Bochum entwickelten Back-Pressure-Anlage sowie das Ausflussgerät mit Standrohren nach den österreichischen RVS 11.062.

3 Untersuchungsergebnisse

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Literaturstudie zum Thema Verdichtung von Gesteinskörnungen ohne Bindemittel im Laborverfahren ergab, dass das in Deutschland angewandte Proctorverfahren in leichten Variationen in vielen Ländern ebenfalls als Standardverfahren angewendet wird. Ein geeignetes Ersatzverfahren, das den Proctorversuch ersetzen könnte, weil dieser mit gewissen Unsicherheiten besonders bei Verwendung gebrochener Korngemische behaftet ist, wird als nicht zwingend notwendig erachtet.

Bei der Recherche über die Verfahren zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit wurden sowohl Labor- als auch Feldverfahren betrachtet. Im Labor werden hauptsächlich die Methoden nach DIN 18130-1 angewendet. Für Durchlässigkeitsmessungen mit veränderlicher Druckhöhe beschreibt die DIN 18130-1 ein Verfahren mit dem Kompressions-Durchlässigkeitsgerät, das für die Untersuchung feinkörniger Böden (Tone und Schluffe) geeignet ist. Die Fließrichtung des Wassers durch die Probe ist dabei nur von unten nach oben möglich. Dieses Verfahren scheidet aufgrund des Anwendungsbereichs sowie der Prüfbedingungen für die Prüfung von Tragschichten ohne Bindemittel aus.

In der Laborpraxis werden aber auch Verfahren angewendet, bei denen, wie im Falle der In-situ-Versuche das Wasser von oben nach unten die Probe durchströmt. Solche Verfahren sind jedoch nicht für die Gewährleistung von einheitlichen Prüfbedingungen genormt. Das in Österreich verwendete Ausflussmessgerät bietet eine gute Alternative zu den in DIN 18130-1 genannten Verfahren sowie zu den anderen nicht genormten Verfahren. Die Prüfbedingungen des Verfahrens

sind den natürlichen Verhältnissen (teilgesättigtes Korngemisch, geringe Gefälleunterschiede, zunehmende Sättigung) stark angepasst.

Die in den Versuchsfeldern ermittelten Lagerungsdichten waren maßgeblich für die Verdichtung der Materialproben in den Laborversuchen mit dem Ziel, im Labor ähnliche Verdichtungszustände wie in situ zu erreichen.

Zum Vergleich der in den Versuchsfeldern erzielten Dichten mit den im Labor erzielten Werten sind in der Tabelle 2 die Trockendichten der Baustoffgemische bei den jeweiligen Verdichtungsverfahren zusammengestellt. Dort wird ersichtlich, dass die Trockendichten im Versuchsfeld etwa in der Größenordnung der Trockendichten der mit einfacher Proctorarbeit verdichteten Proben liegen. Mit der modifizierten Proctorverdichtung wurden Dichten erreicht, die im Bereich der Lagerungsdichten der Versuchsfelder nach der "Überverdichtung" liegen bzw. noch geringfügig höher.

Zum Vergleich zwischen den in der Praxis erreichten Lagerungsdichten und den Dichten im Labor wurden die auf den Baustellen entnommenen Proben im Labor mit der einfachen und mit der modifizierten Proctorarbeit verdichtet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Bild 1 dargestellt. Aus der Darstellung ist erkennbar, dass ein linearer Zusammenhang zwischen den Trockendichten in situ und den Trockendichten bei der Proctorverdichtung im Labor abgeleitet werden kann. Die Dichten der mit der einfachen Proctorarbeit verdichteten Baustoffgemische streuen geringfügig stärker als die Dichten der Proben mit der modifizierten Proctorarbeit. Die Trendlinien für die beiden Verdichtungsarten nach Proctor verlaufen im parallelen Abstand von ca. 0,2 Mg/m³ zueinander.

Die Ergebnisse der Wasserdurchlässigkeitsuntersuchungen in situ mit dem Tropfinfiltrimeter wurden den Ergebnissen der Wasserdurchlässigkeiten im Labor, ermittelt mit dem Ausflussmessgerät, gegenübergestellt (Bild 2). Auch hier zeigt sich eine zufriedenstellende Korrelation der beiden Messmethoden. Lediglich im Bereich von 1×10^{-6} m/s zeigen sich größere Abweichungen zwischen den beiden Prüfverfahren, die sich aber durch die untere Kapazitätsgrenze des Tropfinfiltrimeters, die bei etwa 1×10^{-6} m/s liegt, erklären lassen. Mit dem Ausflussmessgerät können dagegen geringere k-Werte bis zu 5×10^{-7} m/s erfasst werden.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Trockendichten im Versuchsfeld zu Trockendichten im Labor

Gesteinskörnungsgemisch	Verdichtung im Versuchsfeld	Trockendichte im Versuchsfeld g/cm ³	Trockendichte im Labor			
			Proctor einfach		Proctor modifiziert	
			Back-Pressure-Anlage g/cm ³	Ausflussmessgerät g/cm ³	Back-Pressure-Anlage g/cm ³	Ausflussmessgerät g/cm ³
Kalkstein 0/32 fein	100 %	2,132	2,156	2,159		
	nachverdichtet	2,245			2,330	2,291
Kalkstein 0/32 grob	100 %	2,121	1,980	2,159		
	nachverdichtet	2,310			2,338	2,330
Kalkstein 0/56 fein	100 %	2,185		1,986		
	nachverdichtet	2,284				2,340
Kalkstein 0/56 grob	100 %	2,039		2,093		
	nachverdichtet	2,154				2,263

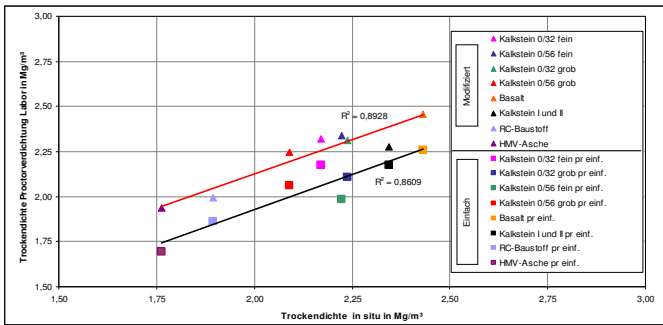


Bild 1: Vergleich der in situ und der im Labor ermittelten Lagerungsdichten

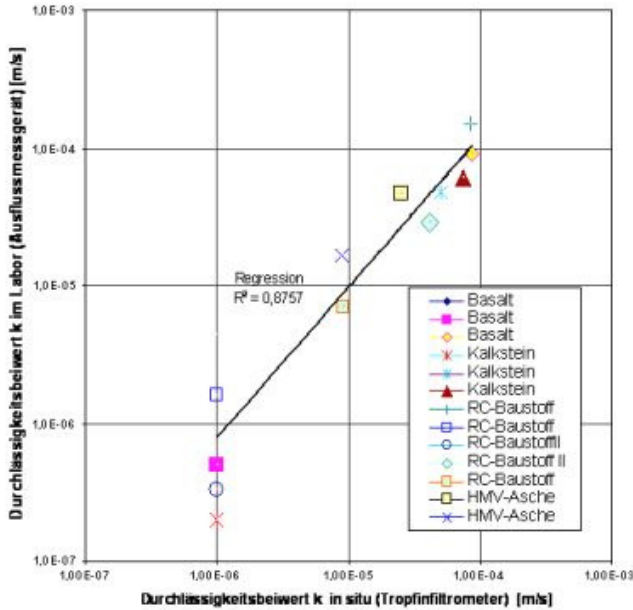


Bild 2: Gegenüberstellung der Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte im Labor und in situ

4 Folgerungen für die Praxis

Die durchgeführten Untersuchungen dieser Arbeit führten zu folgenden Schlussfolgerungen für die Praxis:

Die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit im Labor kann an nach Proctor verdichteten Proben hinreichend zuverlässig durchgeführt werden. Dabei ist die modifizierte Proctorverdichtungsarbeit als das maßgebliche Verdichtungsverfahren zu wählen. Die vergleichenden Untersuchungen in situ ergaben, dass die Trockendichten der im Labor eingebauten Proben mit den Lagerungsdichten auf der Baustelle relativ gut übereinstimmen.

Ein genereller Zusammenhang zwischen Verdichtung, Hohlraumgehalt bzw. Porenanteil sowie der Korngrößenverteilung konnte für die Gesamtheit der Prüfergebnisse nicht gefunden werden. Für die einzelnen Materialvarianten können dagegen bestimmte Gemeinsamkeiten der Einflussfaktoren auf die Wasserdurchlässigkeit abgeleitet werden. Bei der Korngrößenverteilung hat weniger die Höhe des Sandanteils Einfluss auf die Wasserdurchlässigkeit, sondern vielmehr der Gehalt an Feinkorn. Dabei sollte nicht nur die Korngrenze < 0,063 mm, sondern auch eine Betrachtung des Kornanteils zwischen 0,063 und 0,25 mm Berücksichtigung finden.

Beim Vergleich der Laborverfahren zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit hat sich das Ausflussmessgerät als ein sehr praxisnahes Messverfahren herausgestellt (Bilder 3 und 4). Der Vergleich der Messergebnisse mit dem Tropfinfiltrimeter in situ mit dem Ausflussmessgerät im Labor ergab eine

zufriedenstellende Übereinstimmung der Ergebnisse untereinander. Mit dem Ausflussmessgerät kann gegenüber dem Tropfinfiltrimeter zudem eine breitere Spannweite der Wasserdurchlässigkeitswerte erfasst werden. Ein weiterer Vorteil des Ausflussmessgeräts ist sein mobiler Einsatz auf der Baustelle.

Das Messverfahren kann aufgrund der durchgeführten Untersuchungen als ausreichend zuverlässig und genau bezeichnet werden, um in das deutsche Regelwerk für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Schichten ohne Bindemittel im Labor aufgenommen zu werden. Der Vorschlag für eine Arbeitsanweisung ist im Anhang aufgeführt. Dort wird unter anderem vorgeschlagen, dass "... der Wasserdurchlässigkeitsversuch an verdichteten Probekörpern mit fallender Druckhöhe durchgeführt wird. Das zu prüfende Baustoffgemisch befindet sich dabei im teilgesättigten Zustand. Die in den Poren noch verbleibende, eingeschlossene Luft wird nicht künstlich ausgetrieben."

Um Aussagen über die Wasserdurchlässigkeit im Hinblick auf den Verdichtungszustand in situ zu treffen, wird empfohlen, die Wasserdurchlässigkeit bei unterschiedlichen Verdichtungsarbeiten zu bestimmen.

für Schichten mit einer Mindestanforderung an den Verdichtungsgrad D_{Pr} von 100 %:

einfache Proctorverdichtung

für Schichten mit einer Mindestanforderung an den Verdichtungsgrad D_{Pr} von 103 %:

modifizierte Proctorverdichtung

zur Prüfung der Empfindlichkeit einer Überverdichtung auf die Wasserdurchlässigkeit:

modifizierte Proctorverdichtung + 100 Schläge

Um eine zukünftige Anforderung an die Wasserdurchlässigkeit für Schichten ohne Bindemittel zu formulieren, sollten mit dem Ausflussmessgerät zunächst ausreichende Erfahrungen gesammelt werden. Für die Erfassung der Laborwerte sowie der Prüfungsrandbedingungen wird die Nutzung einer Datenbank vorgeschlagen, in der neben den Ergebnissen der Wasserdurchlässigkeit auch die Angaben über die Korngrößenverteilung sowie die Verdichtungskenngrößen gesammelt werden sollten.



Bild 3: Ausflussmessgerät mit dem Standrohr

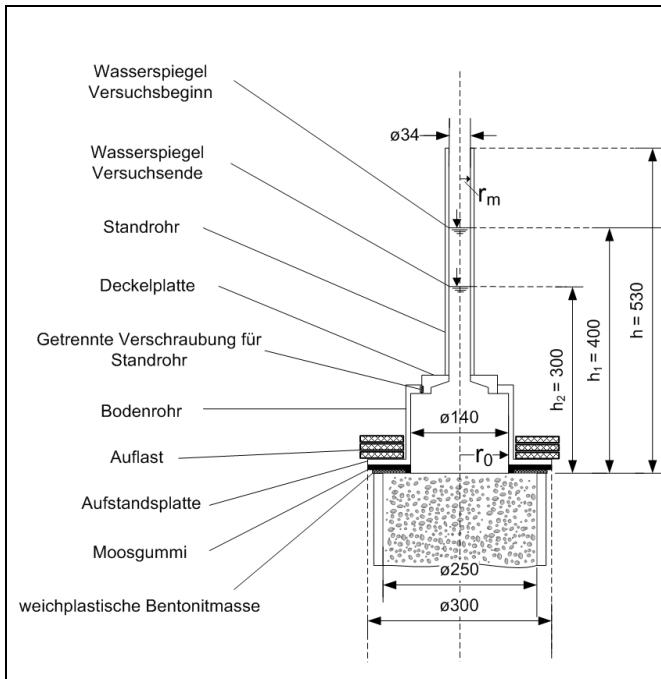


Bild 4: Prinzipskizze der Wasserdurchlässigkeitsmessung mit dem Ausflussmessgerät